

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA
INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DA VIDA E DA NATUREZA
(ILACVN) - CIÊNCIAS BIOLÓGICAS-ECOLOGIA E BIODIVERSIDADE**

BETÂNIA CRISTINA NEVES

**Efeito do uso da terra sobre o estoque de carbono orgânico e
atributos do solo na microrregião de Foz do Iguaçu**

Foz do Iguaçu

2017

BETÂNIA CRISTINA NEVES

Efeito do uso da terra sobre o estoque de carbono orgânico e atributos do solo na microrregião de Foz do Iguaçu

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas – Ecologia e Biodiversidade.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Fernando Adami

Coorientador: Prof^a. Dr^a. Giovana Secretti Vendruscolo

Foz do Iguaçu

2017

BETÂNIA CRISTINA NEVES

Efeito do uso da terra sobre o estoque de carbono orgânico e atributos do solo na microrregião de Foz do Iguaçu

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas – Ecologia e Biodiversidade.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Fernando Adami

Coorientador: Prof^a. Dr^a. Giovana Secretti Vendruscolo

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Samuel Fernando Adami

Universidade Federal da Integração Latino-Americana

Prof. Dr^a Rafaella Santos

Universidade Federal da Integração Latino-Americana

Prof. Dr. Wagner Chiba

Universidade Federal da Integração Latino-Americana

Foz do Iguaçu ____ de _____ de ____.

A Deus e a todos aqueles que fazem parte da minha vida. Dedico a todos os meus professores, pois sem eles, não existiria o conhecimento e dedico de uma maneira especial aos meus pais e irmãos, que, mesmo diante de tantas dificuldades, nunca mediram esforços para me ajudar e estarem ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UNILA pela oportunidade e auxílio financeiro.

Agradeço ao CNPq pelo financiamento de projeto de pesquisa (CNPq processo n° 446387/2014 2).

Agradeço à CAPES pela oportunidade de participar do programa Ciências sem Fronteiras.

Agradeço aos alunos Fernando Alcolea, Luccas Melo Moreira e Vinícios Fernandes, pela imensa ajuda de campo.

Agradeço ao meu amigo Jhonatan de Almeida, que sempre esteve ao meu lado quando precisei. Agradeço por toda a ajuda de campo e pelas boas discussões. Você é incrível e extremamente especial para mim.

Agradeço à ajuda das alunas Adriane Suzin e Letícia Daiana Ferreira pelo auxílio recebido em campo (nunca me esquecerei do ataque das vespas).

Agradeço de forma especial aos professores Giovana Secretti Vendruscolo, Henrique Cesar Almeida e Samuel Fernando Adami, por toda a paciência, apoio, ajuda intelectual e braçal.

Agradeço ao professor Wagner Chiba pelas dicas dadas para as análises estatísticas realizadas. Agradeço à toda a equipe do laboratório de ensino da UNILA, em especial os técnicos Paula Santos e Wagner Ferreira por toda a ajuda prestada e materiais concedidos.

Agradeço à toda a equipe do laboratório multiuso do Edifício das Águas (PTI), em especial ao Alexandre Della Flora e a Natalie Pereira Toyama, que sempre se mostraram dispostos em ajudar.

Agradeço à minha família, pois sem vocês eu não teria conseguido ter saúde mental para concluir esse trabalho. Amo vocês imensamente.

Agradeço à todos os meus amigos, principalmente à Denise Cajas, Jennifer Carolina Cajas, Beatriz Arcain e Leila Roberti, pelos bons tempos em que vivemos juntas, vocês são demais.

Agradeço à minha amiga e “irmã de outro útero” Camila Fernanda Duarte. Obrigada pela sua amizade, apoio, paciência e companheirismo. Agradeço por todas as vezes que você me salvou de atropelamentos, incêndios e todos os outros possíveis efeitos catastróficos derivados da minha distração.

Por fim, agradeço aos professores Rafaella Santos e Wagner Chiba por aceitarem a compor a banca avaliadora desse trabalho, muito obrigada.

NEVES, BETÂNIA CRISTINA. Efeito do uso da terra sobre o estoque de carbono orgânico e atributos do solo na microrregião de Foz do Iguaçu, 2017. 55 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciências Biológicas - Ecologia e Biodiversidade) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu. 2017.

RESUMO

O rápido acúmulo do dióxido de carbono na atmosfera causado pelas ações humanas tem sido apontado como o principal responsável pelo efeito estufa, por isso, a eficiência do ciclo desse elemento entre os diferentes ecossistemas terrestres e a conservação dos seus estoques naturais estão entre os principais temas discutidos na atualidade. O solo possui o maior estoque de carbono da biosfera e é fundamental para a manutenção do ciclo desse elemento, por isso, qualquer tipo de alteração no manejo do solo pode afetar propriedades físicas e químicas que estão diretamente relacionadas com a capacidade de armazenamento de carbono pelo mesmo. As principais propriedades do solo a sofrerem com a alteração do uso da terra e a afetarem o estoque de carbono são: densidade aparente do solo (DA), capacidade de troca de cátions (CTC), capacidade de saturação por bases (V), pH, porcentagem de argila (ARGI) e o teor de carbono (COS). A densidade é influenciada pela quantidade de matéria orgânica presente no solo, pois esta age como um condicionador biofísico que recupera a porosidade, dessa maneira, um solo com alta densidade indica uma menor concentração de matéria orgânica e por consequência, menor entrada de carbono. A capacidade de troca de cátions representa a quantidade de nutrientes que estão sendo liberados pela matéria orgânica morta do solo e funciona como um tampão, tornando o solo mais resistente a qualquer mudança do pH e perda de nutrientes ou carbono. A porcentagem de argila presente no solo indica a capacidade de retenção de carbono pelo substrato. A capacidade de saturação por bases representa a quantidade de nutrientes retidos pelo solo durante o processo de decomposição da matéria orgânica, sendo portanto, uma medida indireta da fertilidade do mesmo. Dessa maneira, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o impacto do uso da terra sobre o estoque de carbono e principais propriedades físicas e químicas do solo, da microrregião de Foz do Iguaçu que está formada por um mosaico de usos das terras e que possui sob o seu domínio o maior fragmento em conservação do Bioma da Mata Atlântica, o Parque Nacional do Iguaçu. Para tanto, este estudo envolveu seis tratamentos, incluindo uma floresta primária (Parque Nacional do Iguaçu), Remanescente florestal, Regeneração florestal, Monocultura e Pastagem. Os solos foram amostrados nos perfis 0-20 e 20-40 cm e as variáveis investigadas foram a DA, a CTC,

a V, o pH, a ARG1 e teor e estoque de COS. Assim como observado por outros autores houve uma maior densidade do solo nos tratamentos de rotação de soja/milho e Pastagem em ambos os perfis amostrados ($p < 0,05$) e a borda da floresta teve o maior teor e estoque de carbono em ambos os perfis analisados ($p < 0,05$). A Regeneração florestal foi o segundo tratamento a possuir a maior quantidade de carbono do solo do perfil 20-40 cm ($p < 0,05$). A Pastagem e o interior da floresta tiveram o menor teor e estoque de carbono observados nos perfis 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. A capacidade de troca de cátions, pH, densidade aparente e saturação por bases apresentaram uma maior relação com os tratamentos florestais no perfis 0-20 e 20-40 cm. Ao final deste trabalho, foi possível concluir que os diferentes usos das terras têm influenciado negativamente a densidade, o teor e o estoque de carbono orgânico do solo da microrregião de Foz do Iguaçu. Isso reflete a menor capacidade de armazenamento de carbono por ambientes alterados pelo homem, evidenciando a necessidade da conservação de ambientes de florestas naturais para a manutenção do ciclo e do estoque desse elemento na terra.

Palavras-chave: Conservação. Efeito estufa. Manejo do solo.

NEVES, BETÂNIA CRISTINA. Effects of land-use on the organic carbon stock and soil attributes of the Foz do Iguaçu microregion, 2017. 55 p. Undergraduate thesis (Bachelor degree in Biological Sciences - Ecology and Biodiversity) Federal University of Latin American Integration, Foz do Iguaçu. 2017.

ABSTRACT

The current rapid accumulation of carbon dioxide into the atmosphere caused by human actions has been pointed out as the main responsible for the greenhouse effect. For this reason the carbon cycle and the conservation of the terrestrial ecosystems are among the main topics currently discussed. The soil has the largest carbon stock of the biosphere and it is fundamental for maintaining the cycle of carbon on earth. Any kind of change in the soil management practices can affect the physical and chemical directly related to the soil carbon storage capacity. The main soil properties to be affected by the change in land use and to affect the carbon stock are: soil bulk density (BD), cation exchange capacity (CEC), base saturation capacity (V), pH, percentage of clay and carbon content (SOC). The bulk density is influenced by the amount of organic matter present in the soil. It acts as a biophysical conditioner that recovers a porosity, thus a soil with high density indicates a lower concentration of organic matter and consequently, a lower carbon input. The cation exchange capacity represents a quantity of nutrients being released by organic matter and it works as a buffer to any pH changes and loss of nutrient and carbon in the soil. The percentage of clay present in the soil indicates the carbon retention potential of soil and the base saturation capacity represents a quantity of nutrients retained by soil during the organic matter decomposition process. Thus, this work was carried out with the objective of evaluating the impact of land use on the carbon stock and the main soil properties of Foz do Iguaçu microregion. The Foz do Iguaçu microregion is formed by a mosaic of land uses and it has the largest conservation fragment of Atlantic Forest Biome (Iguaçu National Park). This study involved six treatments, including a primary forest (Iguaçu National Park), Florestal remanescent, forest in regeneration, Monoculture, and Pasture. The soil was sampled in the 0–20 and 20–40 cm layers and the variables investigated were: BD,

CEC, V, pH, clay and SOC. As observed by other authors, there was a higher soil density in the Monoculture and Pasture treatments in both sampled profiles ($p < 0.05$) and the forest edge had the highest carbon content and stock in both analyzed profiles ($p < 0.05$). Forest regeneration was the second treatment to have the highest amount of soil carbon in the 20-40 cm layer ($p < 0.05$). The Pasture and the interior of the forest have the lowest content and carbon stock observed in the profiles 0-20 and 20-40 cm, respectively. The cation exchange capacity, pH, apparent density and base saturation showed a major relationship with the forest treatments in the 0-20 and 20-40 cm layers. At the end of this work it was possible to conclude that the different land uses have directly influenced the density, the content and the soil organic carbon stock in the Foz do Iguaçu microregion. It reflects the lower capacity of carbon storage by environments altered by man, evidencing the necessity of the conservation of natural forest environments for the maintenance of the carbon cycle and the stock of this element in the earth.

Key Words: Greenhouse effect. Conservation. Soil management.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. O carbono orgânico nas florestas	9
1.2. Carbono orgânico do solo.....	10
1.3. Acúmulo e estabilidade da MOS	10
1.4. Importância da MOS para a formação e estabilidade do estoque de COS	11
1.5. Variação do estoque de COS com a profundidade do solo	12
1.5.1. Variação do estoque de COS com a sazonalidade e altitude.....	12
1.6. Fatores que afetam o estoque de COS	13
1.6.1. Desmatamento e usos das terras	13
1.6.2. Fragmentação e efeito de borda sobre o estoque de COS	13
1.6.3. Solo.....	14
1.7. Classificação dos usos das terras	16
1.7.1. Variação do estoque de COS com o uso da terra	17
1.7.2. Efeito dos usos das terras sobre Domínio da Mata Atlântica.....	18
2. OBJETIVO, PERGUNTA DE ESTUDO E HIPÓTESE	20
3. MATERIAL	21
3.1. Área de estudo	21
3.2. Descrição dos tratamentos	23
3.2.1. Parque Nacional do Iguaçu	23
3.2.2. Remanescente florestal.....	23
3.2.3. Regeneração Florestal	23
3.2.4. Monocultura	24
3.2.5. Pastagem.....	24
3.3. Desenho amostral	24
3.3.1. Coleta das amostras	26

3.4. Análise dos dados	27
3.4.1. Densidade aparente e Análises Físico-Químicas do solo.....	27
3.4.2. Teor de COS.....	27
3.4.3. Estoque de COS	28
3.4.4. Análises estatísticas.....	29
4. RESULTADOS	30
4.1. Mudança das propriedades físicas e químicas do solo com o uso da terra	30
4.2. Mudança do estoque de COS com o uso da terra	32
4.3. Resultados da análise de componentes principais	34
5. DISCUSSÃO	37
6. CONCLUSÃO	42
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

O rápido aumento da concentração de gás carbônico (CO₂) na atmosfera, tem preocupado governos e chamado a atenção da ciência para o fluxo e o estoque desse elemento na Terra (SCHARLEMANN et al., 2014). Por isso, a quantidade de carbono armazenado e emitido pelos ecossistemas terrestres, a partir do desmatamento e dos usos das terras, tem estado entre os principais temas debatidos na atualidade (PAN et al., 2011; ZATTA et al., 2014; FEDERICI et al., 2015; PAZ et al., 2016).

O desmatamento é segunda maior fonte de emissão de carbono para a atmosfera, perdendo o primeiro lugar apenas para a queima de combustíveis fósseis (FEARNSIDE & BARBOSA, 1998; IPCC, 2007; TAEROE et al., 2017). Ele está quase sempre associado com as queimadas (KAUFFMAN et al., 2009) que foram responsáveis pela perda de 4,04 Gt CO₂ ano⁻¹ entre os anos de 1991 e 2015 (FEDERICI et al., 2015). Além disso, o desmatamento tem sido apontado como o principal responsável pela diminuição e alteração da distribuição do carbono entre os ecossistemas (SCHARLEMANN et al., 2014).

1.1. O carbono orgânico nas florestas

Estima-se que, da quantidade total de carbono orgânico armazenado nas Florestas, 44% está estocado no solo, até a profundidade de 1 metro (KAUFFMAN et al., 2009; PAN et al., 2011); 42% está armazenado na forma de biomassa viva; 8% está acumulado em forma de biomassa morta não decomposta; 5% encontra-se estocado em forma de serapilheira e 1% em formas não detectáveis (PAN et al., 2011). Dentre os ecossistemas vegetais terrestres, as Florestas Tropicais destacam-se por possuírem o maior reservatório de carbono orgânico (PAZ et al., 2016), chegando a conter até 55% de todo o carbono previsto para os ecossistemas terrestres (LEWIS, 2009; PAN et al., 2011). As Florestas Boreais e Temperadas seguem esse *rank*, apresentando respectivamente, uma capacidade de armazenamento de carbono orgânico igual a 32% e 14% (PAN et al., 2011).

No entanto, embora as Florestas Tropicais e Boreais possuam os maiores estoques de carbono orgânico do meio terrestre, elas não possuirão a mesma proporção de distribuição desse elemento entre a biomassa e o solo, devido a variação da região geográfica, o tipo do solo e o regime climático na qual cada uma encontra-se inserida (BUCZKO et al., 2017). Dessa maneira, enquanto as Florestas Tropicais possuem mais da metade de todo o seu carbono orgânico

estocado em forma de biomassa (56%), a maior parte do carbono orgânico das Florestas Boreais (60%), encontra-se estocado em seu solo (PAN et al., 2011).

1.2. Carbono orgânico do solo

O solo chega a armazenar 2,3 vezes mais carbono que a atmosfera e 3,5 vezes mais carbono que a biota (DUNGAIT et al., 2012). O carbono presente no solo poderá ser encontrado tanto em sua forma inorgânica, quanto em sua forma orgânica, sendo que, este último é o mais abundante (SCHARLEMANN et al., 2014).

O carbono orgânico do solo (**COS**), é determinante para o aprimoramento das propriedades físicas e químicas do substrato, possibilitando uma maior retenção da água, estabilização dos agregados, melhorias na densidade do solo e trocas catiônicas (IWATA et al., 2010). Ele também age como uma fonte de energia para a biomassa microbiana, que atua diretamente sobre o processo de fornecimento de nutrientes para as plantas (ZATTA et al., 2014)

A entrada do carbono orgânico no solo, ocorre principalmente através da sua forma dissolvida, durante a deposição de moléculas orgânicas simples ou complexas, tais como lipídeos, fenóis, ligninas, celulose, aminoácidos e hemicelulose, que passam a ser liberadas após dois ou mais ciclos de decomposição e oxidação da matéria orgânica do solo (**MOS**) (VON LÜTZOW et al., 2007; RUMPEL & KÖGEL-KNABNER, 2011; GUNINA & KUZYAKOV, 2014).

1.3. Acúmulo e estabilidade da MOS

A **MOS** surge durante o processo de decomposição da serapilheira e é composta por uma série de resíduos de plantas, animais, minerais do solo e microrganismos, em diferentes estágios de decomposição (MÖLLER et al., 2002). Sua qualidade bioquímica dependerá de alguns fatores como, as diferentes propriedades físicas-químicas da serapilheira e a eficiência dos organismos envolvidos na decomposição desse material (ex: bactérias, fungos e invertebrados) (VEEN et al., 2015).

O acúmulo da **MOS** tende a ser favorecido por ambientes de solo argiloso (WIESMEIER et al., 2014), com alta frequência de precipitação, baixas temperaturas, boa capacidade de retenção de água no solo e alta produtividade (BARITZ et al., 2010; EMBRAPA, 2010). Mas, devido as variações físicas existente dentro de um mesmo ambiente e as diferentes

composições químicas entre os organismos e produtos que compõem a serapilheira, a **MOS** poderá apresentar diferentes graus de estabilidade (WIESMEIER et al., 2014).

A estabilidade da **MOS** pode ser inferida tanto pela proporção de isótopos estáveis de carbono no solo (^{13}C ou ^{12}C) (GUNINA & KUZYAKOV, 2014), quanto pelo fracionamento isotópico de ^{15}N durante a decomposição da matéria orgânica (CLERCQ et al., 2015). A **MOS** tende a ser mais estável nos perfis mais profundos do solo, onde a maior parte dos isótopos estáveis do carbono e nitrogênio são encontrados (WEDIN et al., 1995; KAUFFMAN et al., 2009; CLERCQ et al., 2015). No entanto, a relação entre a quantidade e estabilidade da **MOS** é inversa, pois enquanto a sua estabilidade aumenta com a profundidade, a sua concentração diminui (WEDIN et al., 1995).

1.4. Importância da **MOS** para a formação e estabilidade do estoque de **COS**

A presença da **MOS** é importante para a formação do estoque de **COS**, pois ela aumenta a capacidade de retenção de nutrientes e água pelo substrato e cria um ambiente favorável para o aumento da taxa de crescimento das plantas, que por sua vez, terão a sua eficiência de sequestro de carbono aumentada e terão uma maior produtividade, gerando em última instância, uma maior quantidade de **MOS** (DUBE et al., 2009).

Durante o processo de decomposição da **MOS**, uma parte do carbono liberado tende a ser emitido para a atmosfera em forma de gás ou perdido pela lixiviação e a outra parte tende a permanecer no solo em forma de moléculas (PAVINATO & ROSOLEM, 2008). No entanto, o tempo de permanência dessas moléculas no solo, dependerá da qualidade física e química da **MOS** (ZATTA et al., 2014).

A **MOS** pode estar formada por uma maior ou menor fração de moléculas recalcitrantes à decomposição microbiana, que por não poderem ser imediatamente utilizadas pela microbiota, permanecem estocadas por mais tempo no solo (CORREIA & DURIGAN, 2008). Dessa maneira, o estoque de **COS** é gerado por moléculas de fácil e de difícil acesso. As moléculas de fácil acesso, tais como, ácidos tânico, amins, compostos aromáticos e ácidos orgânicos, possuem um menor peso molecular e, portanto, encontram-se disponíveis para o uso imediato da microbiota, sendo cicladas rapidamente dentro do ambiente (PAVINATO & ROSOLEM, 2008). Por outro lado, moléculas como lignina, cera e compostos fenólicos, estão indisponíveis para o uso imediato dos microrganismos, pois possuem uma maior complexidade e peso molecular (CORREIA & DURIGAN, 2008) e conseqüentemente, sofrem um processo de ciclagem mais lento, formando, portanto, a fração mais estável do estoque de **COS**

(CORREIA & DURIGAN, 2008; PAZ et al., 2016). Sendo assim, a quantidade e composição química da matéria orgânica presente no solo são os fatores mais importantes para a formação e estabilidade do estoque de **COS** (TCHIENKOUA & ZECH, 2004; ZATTA et al., 2014).

1.5. Variação do estoque de COS com a profundidade do solo

A relação entre a variação do estoque de **COS** com a profundidade, dependerá do tipo de solo e da capacidade de absorção de carbono e composição química, da comunidade vegetal sobre o substrato (JOBAGY & JACKSON, 2000). Mas de maneira geral, a estabilidade e tempo de residência do carbono tende a aumentar com a profundidade (RUMPEL & KÖGEL-KNABNER, 2011; CLERCQ et al., 2015). Dessa maneira, os perfis mais profundos do solo armazenam uma maior quantidade das formas mais estáveis do carbono e possuem o estoque mais antigo desse elemento (RUMPEL & KÖGEL-KNABNER, 2011).

É bastante comum encontrar a maior parte da variação do estoque de **COS** nos primeiros 30 cm de profundidade (JOBAGY & JACKSON, 2000). No entanto, essa medida poderá variar de uma comunidade para outra. Florestas Boreais e Temperadas, por exemplo, normalmente possuem a maior parte do estoque e variação do carbono orgânico do solo até a profundidade de 1 metro (BUCZKO et al., 2017). Florestas Tropicais, por outro lado, possuem mais da metade do seu estoque de **COS** armazenado um pouco abaixo de 1 metro, podendo apresentar uma grande variação da quantidade desse elemento nessa profundidade (JOBAGY & JACKSON, 2000). Áreas expostas a outros tipos de usos, tal como áreas de cultivo e pastagem, possuem a maior variação do seu estoque até os primeiros 40-60 cm do solo (LUO et al., 2010; JAMALA & OKE, 2013; PALM et al., 2014).

1.5.1. Variação do estoque de COS com a sazonalidade e altitude

A variação da quantidade de matéria orgânica acumulada no solo, ao longo dos ciclos sazonais do ano, faz com que haja diferentes fases de acumulação do carbono orgânico no solo. Nas Regiões Tropicais, por exemplo, o pico de acúmulo de carbono no solo parece ocorrer durante a temporada de chuva, pois durante esse período há o aumento do volume das raízes das plantas e por consequência, uma maior fixação e troca de carbono entre os organismos vegetais com o solo (FEARNSIDE & BARBOSA, 1998).

A relação entre a variação do estoque de **COS** com a altitude, dependerá muito da região na qual um determinado ecossistema se encontra. Nas regiões alpinas, por exemplo, o estoque

de **COS** tende a ser menor nos picos das montanhas e maior nas áreas de encosta (DJUKIC et al., 2010). Nas áreas subtropicais, o estoque tende a ser maior nas regiões de alta altitude (DU et al., 2014), enquanto que, nas regiões temperadas, ele tende a ser maior nas áreas de baixa altitude (SHEIKH et al., 2009).

1.6. Fatores que afetam o estoque de COS

1.6.1. Desmatamento e usos das terras

O desmatamento, associado a outros usos das terras, é uma das principais causas da perda do carbono orgânico da biomassa acima e abaixo do solo (GIBBS et al., 2010; FUJISAKI et al., 2017). O estoque de **COS** superficial tende a aumentar até um ano e meio após o desmatamento, devido a grande quantidade de matéria orgânica morta no solo, mas, passado esse tempo, o mesmo começa a diminuir rapidamente, devido a mineralização do carbono (ROBERTS et al., 1998; FUJISAKI et al., 2017). Durante esse processo, a perda da biomassa em forma de vegetação e serapilheira tende a diminuir a capacidade de retenção de água e nutrientes pelo substrato e aumentar as taxas de decomposição, erosão, densidade e emissão de carbono pelo solo (CLARKE et al., 2015; MARQUES et al., 2016; SCHARLEMANN et al., 2015; FUJISAKI Et al., 2017).

Os usos das terras também podem alterar diversas propriedades físicas e químicas do solo (ex: pH, capacidade de troca de cátions, quantidade de argila, fertilidade), que em conjunto, poderão afetar tanto a diversidade quanto a atividade dos microrganismos envolvidos de forma direta ou indireta, com o processo de decomposição da **MOS** e formação do estoque de **COS** (ZATTA et al., 2014; PAZ et al., 2016; CAROLAN & FORNARA, 2016).

1.6.2. Fragmentação e efeito de borda sobre o estoque de COS

A fragmentação possui o poder de causar uma ruptura de um contínuo florestal e de criar áreas de borda que agem como fronteiras entre a formação vegetal e os usos das terras, ela também pode alterar o fluxo de energia, matéria e microrganismos entre um ambiente e o outro (HOLANDA et al. 2010; COSTA, 2015). As bordas criadas pela fragmentação possuem a capacidade de modificar diversos aspectos do ambiente, formando um gradiente abiótico de temperatura, umidade e luminosidade, que favorecerá o surgimento de um microclima distinto entre a região da borda e interior da floresta (RIES et al., 2004).

O efeito de borda causa o aumento da mortalidade de árvores, que de outra maneira, protegeriam o solo da luz e do calor intenso (LAURANCE et al., 2006; BARROS & FEARNSSIDE, 2016), ele também torna o ambiente mais propício para a invasão e proliferação de espécies pioneiras, que por sua vez, tendem a mudar a estrutura e composição da comunidade vegetal na região da borda (FARIA et al., 2009; JOLY et al., 2014), tornando-a mais heterogênea que aquela encontrada no interior da floresta (HOLANDA et al. 2010).

A borda tende a possuir uma maior produção de matéria orgânica, devido ao aumento da mortalidade das árvores dentro desse limite e uma maior entrada de carbono orgânico oriunda da decomposição da **MOS** (BARROS & FEARNSSIDE, 2016). No entanto, devido a substituição das grandes árvores por espécies de menor tamanho, a borda apresenta uma menor entrada de carbono através da respiração vegetal (FARIA et al., 2009). Sendo assim, o estoque de carbono do solo da borda em relação ao interior da floresta tende a aumentar, enquanto sua taxa de sequestro de carbono tende a diminuir (TADESSE et al., 2014; BARROS & FEARNSSIDE, 2016).

1.6.3. Solo

Existe uma série de propriedades do solo que podem afetar o estoque de carbono orgânico, estas são: a idade, a densidade aparente, a capacidade de saturação por base, a quantidade de argila, o potencial hidrogeniônico, a capacidade de troca de cátions (BARITZ et al., 2010; PAZ et. al., 2016), o estado de agregação (DOBLAS-MIRANDA et al., 2013) e a disponibilidade de água e nutrientes no solo (LADD et al., 2012). Dentre essas propriedades, a densidade aparente (DA), o potencial hidrogeniônico (pH), a capacidade de troca de cátions (CTC), a capacidade de saturação por bases, a quantidade de argila e o teor de carbono são as principais propriedades que afetam o estoque de **COS** (BARITZ et al., 2010) (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros físicos e químicos analisados no solo dos tratamentos da microrregião de Foz do Iguaçu, sudoeste do estado do Paraná e sua importância. DA= Densidade aparente do solo, CTC= Capacidade de troca de cátion, V= Porcentagem de saturação por bases e COS= Carbono orgânico do solo.

Propriedade	Unidades)	Importância
Física	DA (Mg m ⁻³)	Importante para a caracterização, identificação e quantificação do estoque de carbono no solo (EMBRAPA, 2010).
	Argila (%)	Importante para a retenção do COS e manutenção do estoque de COS (PAZ et al., 2016).

Química	CTC (cmolc/dm ³)	Importante para a estruturação e estabilidade do solo, na retenção de cátions e água. A CTC representa indiretamente o teor da matéria orgânica, então, quanto maior for a CTC, maior será o teor da MOS (RIBAS, 2010).
	pH (H ₂ O)	Importante para saber o quão ácido encontra-se o solo ea possibilidade de perda de nutrientes e de COS pela acidificação do solo. Bom preditor da variabilidade do estoque de COS (PAZ et al., 2016).
	V%	Esse valor é importante, pois a partir dele é possível dizer a porcentagem do solo que está ocupado por bases (Al e H) e por ser uma medida indireta da fertilidade do solo (EMBRAPA, 2010).
	Teor de COS (g kg ⁻¹)	Sugere o potencial de captação e armazenamento de carbono pelo solo. Com o teor de COS é possível determinar o estoque de COS . (ROSSET et al., 2014).

A DA é influenciada pela quantidade de matéria orgânica presente no solo, pois esta age como um condicionador biofísico que recupera a porosidade, dessa maneira, um solo com alta densidade indica uma menor concentração de **MOS** e por consequência, menor entrada de carbono (EMBRAPA, 2010). A DA pode ser afetada pelo tipo de uso do solo; áreas de pastagem e agricultura por exemplo, costumam possuir um solo mais denso do que áreas florestais, devido a menor produção de serapilheira, influência do pisoteio do gado e ação das máquinas utilizadas para o preparo da terra e colheita do alimento (COSTA, 2015), mas, além da DA, as primeiras propriedades do solo a sofrerem alteração pela mudança do uso da terra são o pH e a CTC (FEARNSIDE & BARBOSA, 1998; ROSSET et al., 2014).

Os solos das regiões tropicais costumam ter um pH mais baixo e a serem mais intemperizados (MACEDO, 2007), pois possuem como característica principal, o predomínio da argila do tipo caolinita, que por ter uma estrutura química mais simples apresenta uma maior dependência com o pH e, portanto, os solos dessas áreas passam a sofrer mais facilmente com o intenso processo de lixiviação, causado pela alta temperatura e incidência de chuva dessas áreas (EMBRAPA, 2010).

A acidificação do solo ocorrerá principalmente pela adição de íons de H⁺ oriundos da decomposição da **MOS** e pela troca de íons entre as raízes das plantas e colóides do solo (ROSSET et al., 2014). Ela pode também afetar de maneira direta o estoque de carbono, pois causa quando muito intensa, pode causar a diminuição da fertilidade e do teor de carbono (MACEDO, 2007). Portanto, o pH é um bom preditor da variação do estoque de **COS** (PAZ et al., 2016).

Nas florestas, o pH costuma ser mais básico devido a abundante presença da **MOS**, pois esta aumenta a CTC e a saturação por base dessas áreas (MACEDO, 2007; CORREIA & DURIGAN, 2008). A CTC representa a graduação da liberação de nutrientes durante a decomposição da matéria orgânica, dessa maneira, o maior valor de CTC, indica indiretamente uma maior quantidade **MOS** (EMBRAPA, 2010).

A CTC também funciona como um tampão, pois faz com que o solo seja mais resistente às mudanças bruscas do pH e, portanto, o ajuda perder menos nutrientes e carbono durante o processo de acidificação (VIEIRA, 2007). Os principais colóides responsáveis pela CTC nos solos tropicais são as substâncias húmicas, os óxidos de ferro e as argilas (EMBRAPA, 2010). Solos mais argilosos possuem uma maior capacidade de retenção de carbono e nutrientes (MACEDO, 2007; PAZ et. al., 2016). Uma medida indireta dos nutrientes (fertilidade) do solo é dada pelo valor da capacidade de saturação por bases (V), pois segundo a EMBRAPA (2010), solos que possuem uma saturação por bases acima de 50 % são considerados eutróficos (férteis) e, portanto, altamente eficientes para o plantio.

1.7. Classificação dos usos das terras

Identificamos como uso da terra tudo aquilo que está relacionado com a função socioeconômica de um povo, como a agricultura, habitação e proteção ambiental (BOSSARD et al., 2000). Segundo o IBGE (2013), podemos classificar os tipos de usos das terras a partir do seguinte sistema de nomenclatura: áreas antrópicas não agrícolas, áreas antrópicas agrícolas, áreas de vegetação natural, águas e outras áreas.

As áreas antrópicas não agrícolas são aquelas áreas urbanizadas, industriais, comerciais ou de comunicação e extração de minerais. Essas áreas não são utilizadas diretamente pela agricultura, mas funcionam como centro populacional de distribuição de alimento e renda. As áreas antrópicas agrícolas estão voltadas para a produção de alimentos, fibras e commodities do agronegócio. Dentro dessa classificação, estariam inseridos os usos temporários de lavoura, lavouras permanentes e pastagem, que poderão ser formados através do plantio de forragem ou utilização de áreas naturalmente campestres (IBGE, 2013).

As áreas de vegetação natural são definidas como qualquer estrutura florestal ou campestre, que esteja em um estado de formação original ou alterado (antropicamente), mas que se apresente como remanescentes de origem espontânea (não cultivado), em estágio primário ou secundário de desenvolvimento. Dentro dessa classificação é possível encontrar ainda as definições de áreas florestais e campestres. As áreas florestais são todas aquelas

formações que possuem árvores com um porte médio acima de 5 metros. No entanto, as áreas de reflorestamento incluídos em áreas agrícolas, estão fora dessa categoria. As áreas campestres são classificadas dessa maneira quando apresentam um estrato predominantemente arbustivo, distribuído sobre substrato gramíneo-lenhoso (IBGE, 2013).

As áreas de águas são compreendidas como qualquer classe de água, seja interior ou costeira, como por exemplo, rios, riachos, canais, lagoas naturais, represas artificiais, lagoas, lagunas, estuários e baías. A classificação denominada como outras áreas, é entendida como todas aquelas áreas de rochas desnudas ou praias, que poderão ter sido formadas naturalmente ou pela atividade humana (IBGE, 2013).

1.7.1. Variação do estoque de COS com o uso da terra

Ainda existe bastante conflito sobre a real variação do estoque de **COS** quanto ao uso da terra. O que se sabe é que a quantidade de carbono armazenada no solo de uma área florestal, poderá sofrer uma maior ou menor variação, dependendo do tipo de uso dado a terra após a retirada da floresta, mas de maneira geral, em ambientes tropicais, as áreas de vegetação natural apresentam uma maior quantidade de carbono orgânico estocado em sua biomassa, do que áreas sob o efeito de outros usos da terra (TADESSE et al., 2014; DWYER et al., 2009).

Segundo FUJISAKI et al. (2017), quando a floresta é substituída por pastagem, o estoque de carbono da superfície do solo tende a permanecer similar ao do solo da floresta, devido a alta capacidade de acúmulo de carbono pelas raízes das plantas do tipo C4, tal como as gramíneas, porque por possuírem um sistema complementar à via de fotossíntese C3, armazenam de maneira mais eficiente o carbono em suas raízes, contribuindo assim, para o aumento do estoque de carbono orgânico nos primeiros 40 cm do solo.

Por outro lado, quando uma área florestal é substituída por um sistema de cultivo anual, o estoque de **COS** tende a diminuir nas porções mais superficiais do solo, devido ao aumento da sua taxa de mineralização causada pelo tipo de manejo (FUJISAKI et al., 2017). No entanto, a adição de fertilizantes de áreas de cultivo, podem gerar uma falsa impressão de aumento de **COS** (KIRSCHBAUM et al., 2017).

O real estoque de **COS** das áreas de pastagem e agricultura, dependerá muito das técnicas de manejo realizadas no solo (FEARNSIDE & BARBOSA, 1998; RANGEL et al., 2017). As técnicas de rotação de piquetes de pastagem (EATON et al., 2011), cultivo direto (POEPLAU & DON, 2015) e cultivo em curva de nível (XU et al., 2015), por exemplo, têm sido citadas como manejos eficientes para a conservação das qualidades físicas e químicas do

solo e do estoque de carbono orgânico, pois possibilitam uma maior concentração de matéria orgânica sobre as camadas mais superficiais do solo e reduzem a perda de carbono associado aos usos das terras (DABNEY et al., 2001, EMBRAPA, 2010).

Por outro lado, o cultivo convencional e o modelo de pastagem tradicional (sem rotação de piquetes de pastagem), acabam causando uma diminuição da concentração de carbono orgânico e diminuição das qualidades físicas e químicas do solo (EATON et al., 2011; SINGH et al., 2015). Além disso, o cultivo convencional acaba aumentando a emissão de carbono para a atmosfera, através da queima da vegetação nativa e uso do sistema de aração, que por sua vez, expõe as camadas inferiores do solo e causa a aceleração da oxidação do carbono, diminuindo o seu estoque no substrato (SINGH et al., 2015).

O tipo de manejo realizado nas áreas de cultivo e de pastagem, também pode causar a compactação do solo, gerando assim, um falso aumento da concentração de carbono orgânico (FEARNSIDE & BARBOSA, 1998). Esse fenômeno acontece devido a menor capacidade de retenção de água, nutrientes e oxigênio do solo compactado, que em conjunto farão com que a atividade biológica nesse tipo de substrato diminua (DAVIDSON & JANSSENS, 2006; KAISER & GUGGENBERGER, 2003). Um dos maiores problemas disso é que, uma vez que a atividade dos microrganismos diminui, a taxa de decomposição e perda do carbono na superfície do solo também desce (SILVER et al., 2000).

1.7.2. Efeito dos usos das terras sobre Domínio da Mata Atlântica

No Brasil, o Domínio da Mata Atlântica encontra-se enquadrado dentro da classificação de usos das terras referente às áreas de vegetação natural (IBGE, 2013). A Mata Atlântica está distribuída da região leste do Brasil, ao sul do país, e abrange parte do norte da Argentina e leste do Paraguai (RIBEIRO et al., 2009; TABARELLI et al., 2010).

Devido a ampla escala de ocorrência desse Domínio, é possível observar altitudes variadas ao longo da sua distribuição geográfica e por consequência, diferentes zonas climáticas que alteram a fitofisionomia e as propriedades físicas e químicas do solo de uma região para outra (RIBEIRO et al., 2009). Dessa maneira, dentro do Domínio da Mata Atlântica existem diferentes formações vegetais, tais como, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Semidecidual e Decidual e ecossistemas associados, como as restingas, manguezais e campos (VIEIRA et al., 2015).

Os diferentes usos dados às terras têm afetado grandemente a Mata Atlântica através da sua substituição por áreas de agricultura, pecuária, indústria e centros urbanos (BUCZKO et al.,

2017). A exploração intensa desse Domínio e a sua transformação em outros tipos de paisagens, têm resultado na fragmentação das fisionomias deste Bioma, que atualmente possui apenas 11,7% (163,377 km²) da sua extensão original no Brasil (RIBEIRO et al., 2009), 24,9% (11,618 km²) no Paraguai (HUANG et al., 2007) e 38,7% na Argentina (DE ANGELO, 2009). A maioria dos fragmentos restantes da Mata Atlântica são formados por regenerações de crescimento secundário e encontram-se em estágios de sucessão primária ou intermediária (TABARELLI et.al., 2010; ROBINSON et al., 2015, SCARANO & CEOTTO, 2015; EISENLOHR et al., 2015).

O maior fragmento restante da Mata Atlântica é o Parque Nacional do Iguaçu (PNI), que desde 1939 é considerado oficialmente como uma área de conservação nacional. O PNI encontra-se localizado na microrregião de Foz do Iguaçu e representa 29,2% de toda a paisagem dessa área, que por sua vez, está praticamente dominada pela agricultura e pecuária (OLEGÁRIO et al., 2014). Levando-se em consideração o tamanho e maturidade do PNI, é intuitivo deduzir que o Parque Nacional do Iguaçu seria o principal ecossistema responsável pela manutenção do ciclo e estoque de carbono nessa região. Dessa maneira, para compreender a real importância dessa área de conservação para o carbono, se faz necessário um estudo comparativo entre o PNI e outras áreas sob o efeito de diferentes usos das terras para avaliar se os tipos de manejos realizados nesses ambientes têm alterado de maneira significativa o estoque de carbono e propriedades físicas e químicas do solo da microrregião de Foz do Iguaçu.

2. OBJETIVO, PERGUNTA DE ESTUDO E HIPÓTESE

O objetivo deste estudo foi investigar se há variações no estoque de carbono orgânico e propriedades do solo entre diferentes usos das terras na microrregião de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná, sul do Brasil, em dois perfis do solo. As profundidades de solo usadas neste trabalho, foram escolhidas com o objetivo de detectar qualquer variação do estoque de carbono dentro de um perfil superficial de solo mais novo (0-20 cm) e mais velho (20-40 cm).

Para tanto, abordamos três perguntas principais: (i) Existe diferença significativa nas propriedades físicas e químicas do solo entre os diferentes usos da terra; ii) O estoque de **COS** varia de maneira significativa sob a influência de diferentes usos da terra? e iii) Os tratamentos florestais e não florestais são influenciados pelas propriedades químicas e físicas do solo dos diferentes usos das terras?

Para responder estas perguntas, nós levantamos as seguintes hipóteses: i) Por possuir uma maior produção de serapilheira, os tratamentos florestais apresentarão valores significativamente maiores de pH (+ básico), saturação por bases e capacidade de troca de cátions; enquanto que os tratamentos de monocultura e pastagem apresentarão uma maior densidade aparente; ii) O tratamento Parque Nacional do Iguaçu borda apresentará o maior estoque de **COS**, enquanto que, o tratamento monocultura possuirá o menor estoque devido a possibilidade de haver uma maior taxa de mineralização do seu solo; e iii) Devido a maior produção de matéria orgânica comumente observada em áreas de floresta, espera-se que as propriedades CTC, V, pH e DA apresentem uma maior tendência de correlação com os tratamentos florestais, pois as mesmas são diretamente influenciadas pela presença da matéria orgânica no solo.

3. MATERIAL

3.1. Área de estudo

Este estudo foi realizado na microrregião de Foz do Iguaçu, localizada ao oeste do estado do Paraná, sul do Brasil, entre as coordenadas 24°30'S e 26°S e 53°30' W e 55°W, nas altitudes de 150m e 700m (Figura 1). O clima dessa microrregião está categorizado como subtropical úmido - Cfa (MAACK, 1968; ALVARES et al., 2014), com verões quentes (média 26°C) e invernos frios (média 19°C) (ALVARES et al., 2014; SOUZA et al., 2017). As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, mas sofrem uma pequena redução durante os meses mais frios do ano, entre julho e agosto (ALVARES et al., 2014).

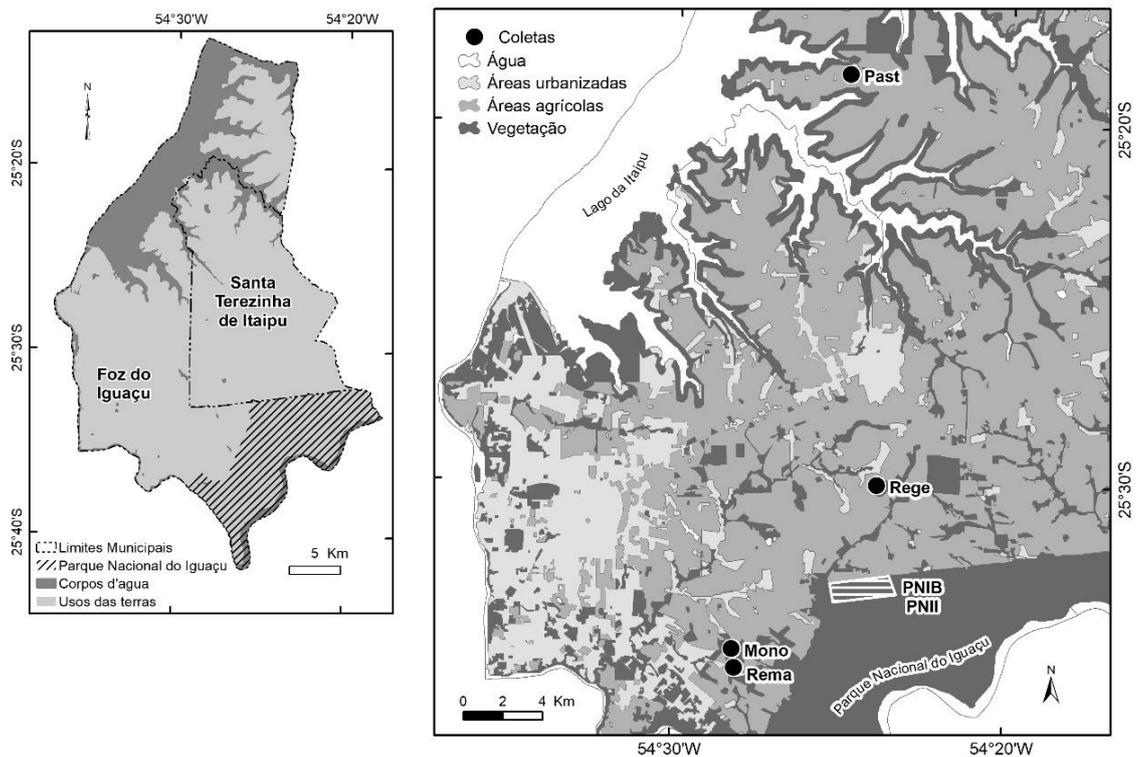


Figura 1: Localização dos tratamentos para análise de estoque de carbono do solo, distribuídos ao longo da microrregião de Foz do Iguaçu, oeste do estado do Paraná, sul do Brasil. PNIB= Parque Nacional do Iguaçu borda; PNII= Parque Nacional do Iguaçu interior; REMA= Remanescente florestal; REGE= Regeneração florestal; MONO= Monocultura e PAST= Pastagem.

O relevo é suavemente ondulado e o solo é formado sobre rochas basálticas que são em sua maior parte, do tipo Nitossolo e Latossolo Vermelho, muito argiloso, eutroférico e profundo, com um alto nível de intemperização (EMBRAPA, 2011). A vegetação encontra-se sob o Domínio da Mata Atlântica de interior e está composta majoritariamente por Floresta Estacional Semidecidual (GRIS et al., 2014).

Atualmente, 44% do território da microrregião de Foz do Iguaçu está coberto por áreas de pastagem e agricultura, 43,8% está ocupado por áreas de vegetação natural e florestas plantadas, 7,3% por superfícies hídricas e 5% está destinado para usos urbanos (OLEGÁRIO et al., 2014). Os tratamentos estudados durante esse estudo foram: Parque Nacional do Iguaçu borda, Parque Nacional do Iguaçu interior, Remanescente florestal; Regeneração florestal, Monocultura de soja/milho em plantio direto e Pastagem (Figura 2).

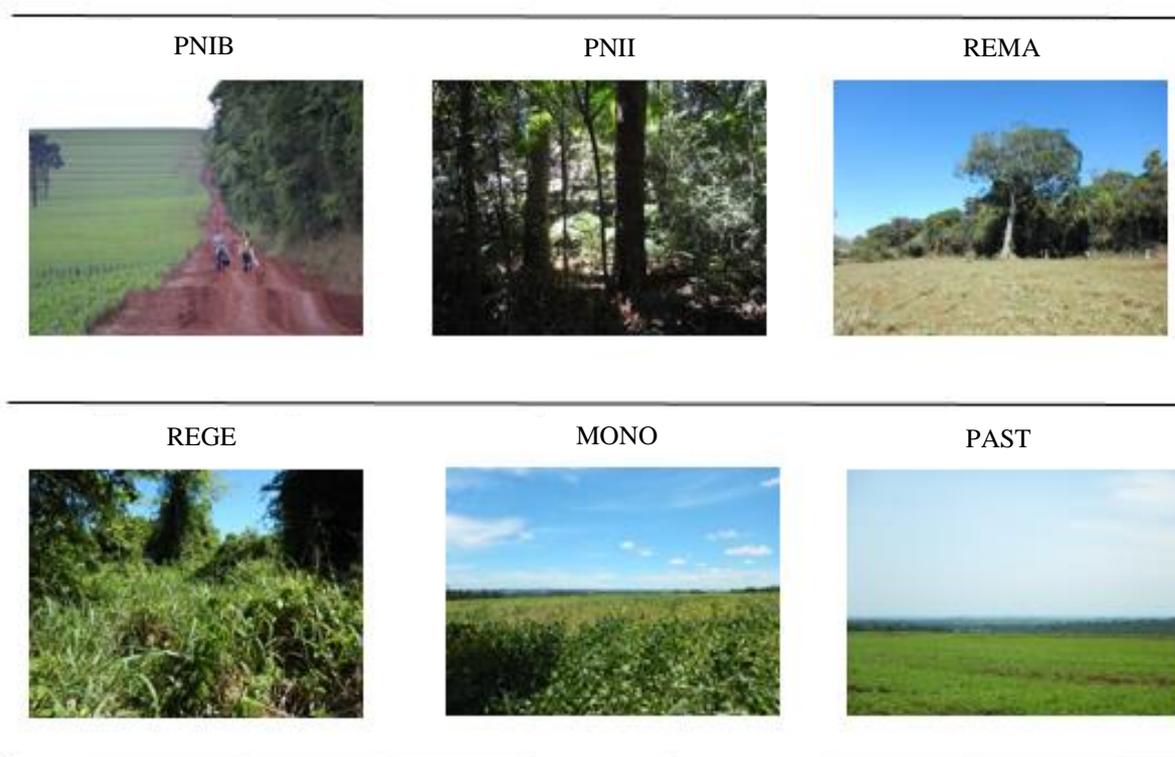


Figura 2. Tratamentos para análise do estoque de carbono do solo, amostrados na microrregião de Foz do Iguaçu, oeste do estado do Paraná, sul do Brasil. PNIB = Parque Nacional do Iguaçu borda; PNII = Parque Nacional do Iguaçu interior; REMA = Remanescente florestal; REGE = Regeneração florestal; MONO = Monocultura e PAST = Pastagem.

3.2. Descrição dos tratamentos

3.2.1. Parque Nacional do Iguaçu

O Parque Nacional do Iguaçu está localizado entre as coordenadas 25°27'38,89" S e 53°55'19,54" W. Essa área foi decretada como área de conservação em 1939, pelo decreto nº 1.035 e é considerado o maior remanescente de Floresta Estacional Semidecidual de interior da região sul do Brasil.

Com uma área total de 185.262 hectares, o Parque Nacional do Iguaçu representa sozinho 29,2% dos 43,8% das áreas ocupadas por vegetação natural e florestas plantadas na microrregião de Foz do Iguaçu (OLEGÁRIO et al., 2014). Essa área é grande relevância para a conservação das espécies florestais do sul do Brasil, que se encontram em risco de extinção, tais como, *Aspidosperma polyneuron* Müll. Arg., *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Euterpe edulis* Mart. e *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. (SOUZA et al., 2017).

A borda do Parque faz fronteira com uma área de agricultura e é possível observar em seu interior a presença de espécies herbáceas, arbóreas e trepadeiras (ex: liana). O interior do Parque parece estar majoritariamente formado por espécies arbóreas e embora seu solo tenha apresentado uma menor cobertura de matéria orgânica que a borda, ambos os tratamentos apresentaram um solo formado por pequenos agregados de fácil manipulação, pouca resistência a ruptura e com presença abundante de raízes.

3.2.2. Remanescente florestal

Esse tratamento encontra-se entre as coordenadas 25°34'58,0" S e 54°28'20,4" W. Desde 1975 o Remanescente florestal encontra-se rodeado por agricultura, seu solo possui um aspecto úmido, com presença de pequenos agregados de fácil manipulação, pouca resistência a ruptura e com presença abundante de raízes, assim como o solo dos tratamentos do Parque Nacional do Iguaçu. Foi observada a presença de clareiras e rastros de extração de espécies arbóreas.

3.2.3. Regeneração Florestal

O tratamento de Regeneração florestal encontra-se inserido em uma área bastante antropizada, entre as coordenadas 25°29'59,6"S e 54°24'03,4"W. Até o ano de 1984 essa área foi utilizada para agricultura, mas no ano de 1985 ela foi abandonada. Foi possível observar nesse tratamento uma paisagem bastante heterogênea, composta tanto por espécies arbóreas nativas como exógenas. Além disso, foi observada uma forte presença de espécies herbáceas e tipicamente pioneiras (ex: *Cecropia pachystachya* Trécul.). Em seu interior foram observadas amplas clareiras e a presença de objetos industrializados (ex: latas, plástico e sacolas). O tratamento de Regeneração florestal possui um solo duro, com agregados grandes e de difícil manipulação.

3.2.4. Monocultura

O tratamento de Monocultura está localizado nas coordenadas 25°34'43,8"S e 54°28'10,5"W, ao lado do tratamento Remanescente florestal. O tipo de manejo realizado nesse tratamento é o cultivo direto, com rotação de cultura de soja e milho. Seu solo está formado por grandes agregados de difícil manipulação e há a presença de uma fina camada de serapilheira, que está distribuída de maneira desigual pelo terreno.

3.2.5. Pastagem

O tratamento Pastagem pertence a Fazenda Cassique Agropecuária, que está localizada entre as coordenadas 25°18'34,8"S e 54°24'50,3"W. Esse tratamento possui um provável manejo de rotação de piquetes de pastagem e é utilizado para a criação de gado a mais de 30 anos. Seu solo está coberto por gramíneas e possui um aspecto seco, com presença de grandes agregados de difícil manipulação e resistência a ruptura.

3.3. Desenho amostral

Para cada um dos seis tratamentos foram estabelecidas 5 transectos, espaçados 200 metros um do outro. Os transectos dos tratamentos Remanescente florestal, Regeneração florestal, Monocultura e Pastagem foram distribuídos na distância máxima de 60 m da borda (Figura 3a). Devido ao tamanho do Parque Nacional do Iguaçu esse tratamento foi dividido entre os tratamentos borda e interior. Os transectos I, II, III, IV e V do tratamento Parque Nacional do Iguaçu borda foram dispostos em distâncias alternadas aleatoriamente desde a

borda, sendo estas distâncias iguais a 60 m, 0 m, 40 m, 60 m e 20 m, respectivamente (Figura 3b), com o objetivo de detectar qualquer influencia do possível efeito de borda sobre o estoque de carbono. Os 5 transectos do tratamento Parque Nacional do Iguaçu interior (PNII) foram instalados a 500 m da borda (Figura 3b). Durante esse estudo, foram consideradas para cada tratamento 5 réplicas da camada 0-20 cm e 5 réplicas da camada 20-40 cm, totalizando 60 amostras.

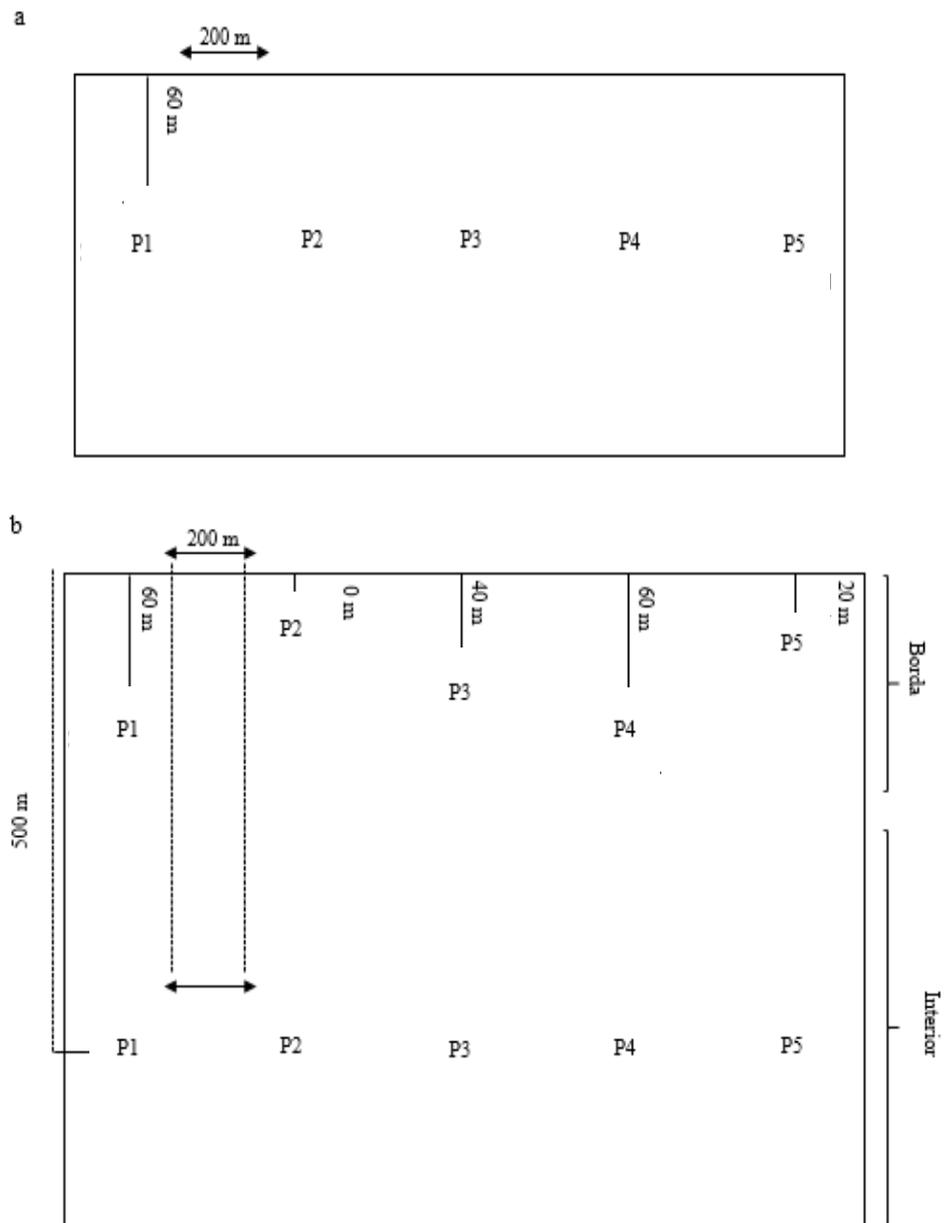


Figura 3. Desenho esquemático da amostragem dos tratamentos para análise do estoque de carbono do solo, localizados na microrregião de Foz do Iguaçu, oeste do estado do Paraná, sul do Brasil. P1= ponto 1, P2= ponto

2, P3= ponto 3, P4 = ponto 4 e P5= ponto 5. a) Desenho esquemático utilizado nos tratamentos Remanescente florestal, Regeneração florestal, Monocultura e Pastagem; b) Desenho esquemático utilizado nos tratamentos Parque Nacional do Iguaçu borda e Parque Nacional do Iguaçu interior.

3.3.1. Coleta das amostras

Para a coleta de solo foi utilizada a metodologia descrita pela EMBRAPA (2016). Para tanto, em cada um dos transectos amostrados foram coletadas duas amostras de solo para a medição da densidade; uma amostra para a determinação do carbono orgânico do solo e uma amostra para as análises físico-químicas.

De janeiro a março de 2017, foram coletadas um total de 120 amostras para determinação da densidade, utilizando um anel metálico *Kopecky*, com capacidade volumétrica de 50 cm³; 60 amostras de aproximadamente 200 g foram coletadas para a determinação do COS e 60 amostras de aproximadamente 300 g foram coletadas para a realização das análises físico-químicas do solo. Todas as coletas foram realizadas nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm. Para evitar a presença de matéria orgânica ainda não decomposta, a cobertura de serapilheira do substrato foi retirada e foi aberta uma trincheira de aproximadamente 50 cm (Figura 4). Todas as amostras foram armazenadas em sacos plásticos e identificadas.

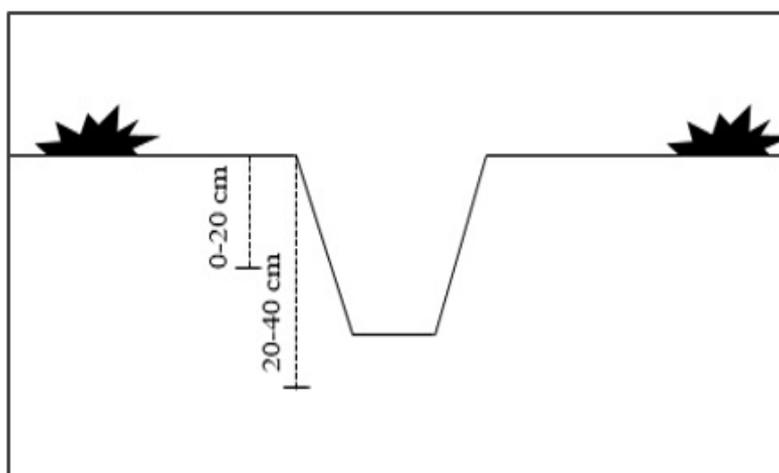


Figura 4. Desenho esquemático da coleta das amostras para a análise do estoque de carbono e propriedades físicas e químicas do solo de tratamentos localizados na microrregião de Foz do Iguaçu, oeste do estado do Paraná, sul do Brasil.

3.4. Análise dos dados

3.4.1. Densidade aparente e Análises Fisico-Químicas do solo

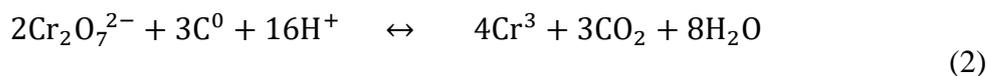
A densidade aparente foi determinada de acordo com o método do anel volumétrico descrito pela EMBRAPA (1997). Uma vez coletadas as amostras, as mesmas foram transferidas para latas de alumínio, identificadas e secas na estufa à 105°C por 24 horas (CLAESSEN, 1997). Após 24 horas, as amostras foram retiradas, pesadas e expostas ao calor da estufa por mais 24 horas. Ao final das 48 horas a densidade aparente pode ser determinada pela descrita pela Embrapa (1997) (Equação 1).

$$DA = AS / VA \quad (1)$$

Onde, DA é a densidade aparente ($Mg\ m^{-3}$), AS é o peso da amostra (g) seca a 105°C por 48 horas e VA é o volume (cm^3) conhecido do anel *Kopechy*. Uma parte das amostras coletadas foi enviada para o laboratório¹ para a realização das análises da capacidade de troca de cátions, pH, argila e porcentagem de saturação de bases.

3.4.2. Teor de COS

O carbono orgânico do solo foi determinado através da metodologia de Walkley-Black, com calor externo, descrita por ALLISON (1965) e modificada por TEDESCO et al. (1995). Durante esse processo, os compostos orgânicos são oxidados em um meio ácido pelo dicromato, que por sua vez é reduzido a $4Cr^3$ em uma reação de oxido-redução (Equação 2)



¹ Laborsolo Express Toledo/PR. Rua Barão do Rio Branco, 2854. CEP 89905-040

No entanto, a oxidação da matéria orgânica poderá ser incompleta (~ 70 a 90%) caso esta reação não seja suprida por calor externo (TEDESCO et al., 1995). Dessa maneira, para cada parcela e controle, foi pesado 0,5 g de amostra de solo de terra seca em temperatura ambiente foram trituradas e transferidas para um erlenmeyer de 250ml.

Foi adicionado 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1,25 molcL⁻¹ e 20 mL de H_2SO_4 concentrado e a solução foi aquecida até 150°C e deixada em repouso por 15 minutos. Após esse intervalo, foram adicionados 50 mL de água destilada à solução e com o auxílio de uma proveta o volume foi ajustado para 100 mL. Para a titulação com $FeSO_4$ 0,025 molcL⁻¹, foram transferidos 50 mL da solução sobrenadante para um becker de 250 mL e adicionadas 3 gotas de indicador ferroin (complexo de ortofenantrolina- $FeSO_4$ 0,025 molcL⁻¹).

Para a quantificação do teor de **COS** foi considerada a quantidade de $FeSO_4$ gastos na titulação, pois esse possui uma relação inversa a quantidade de carbono presente na amostra, dessa maneira, quanto mais mL de $FeSO_4$ gastos na titulação da amostra, menor a quantidade de carbono presente na amostra (Equação 3).

$$COS = \frac{(\text{mmol}_cL^{-1}Cr_2O_7^{2-} - \text{mmol}_cL^{-1}Fe^{2+}) \times 0,003 \times 100 \times 1,25}{\text{g de solo}} \quad (3)$$

Onde, **COS** é o teor do carbono orgânico no solo (g kg⁻¹), $\text{mmol}_cL^{-1}Cr_2O_7^{2-}$ é a concentração de $K_2Cr_2O_7$ multiplicada pela volume utilizado na amostra, $\text{mmol}_cL^{-1}Fe^{2+}$ é o $FeSO_4$ gastos na titulação (Equação 4).

$$\text{mol}_cL^{-1} = \frac{12,5}{\text{mLFeSO}_4 \times 2} \quad (4)$$

3.4.3. Estoque de COS

Para a determinação do estoque de carbono orgânico do solo, foi utilizada a densidade aparente, o teor de carbono orgânico e a espessura da camada (0-20 cm) É importante ressaltar que, para tornar o estoque de **COS** comparável entre os diferentes tratamentos, foi necessário diluir o efeito da compactação do solo dos tratamentos não florestais, utilizando a densidade de um tratamento referência (PNII), tal como descrito por FEARNSSIDE & BARBOSA (1998) e

EMBRAPA (2016). Para tanto, foi utilizado o cálculo de correção de massa descrito por SISTI et al. (2004) e simplificado abaixo (Equação 5).

$$ECOS = COS \times DA \times CS \quad (5)$$

Onde ECOS é o estoque de **COS** ($Mg \text{ ha}^{-1}$), COS é o teor de carbono orgânico ($g \text{ kg}^{-1}$), DA é a densidade aparente ($Mg \text{ m}^{-3}$), e CS é a profundidade de solo amostrada (cm).

3.4.4. Análises estatísticas

Todos os testes estatísticos e gráficos foram realizados através do programa estatístico *PAST* versão 3.16. Foi realizado o teste de normalidade *Shapiro-Wilk* sobre o conjunto de dados e aplicados o teste paramétrico de variância unifatorial *ANOVA* e o teste de comparação entre pares *Tukey's*. Todos os testes de significância foram aplicados primeiramente para o conjunto de dados da camada 0-20 cm e posteriormente para o conjunto de dados da camada 20-40 cm. O intervalo de confiança considerado foi de 95%, com $df=5$ e $p<0,05$.

As variáveis capacidade de troca de cátions, capacidade de saturação por bases, pH, porcentagem de argila, teor de carbono e densidade foram padronizadas e foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) biplot, para a identificação do padrão de covariância, diminuição da dimensionalidade dos parâmetros analisados, organização dos fatores por sua variância e identificação das variáveis mais relacionadas ao padrão encontrado.

4. RESULTADOS

4.1. Mudança das propriedades físicas e químicas do solo com o uso da terra

Dentre as propriedades físicas (densidade e argila) analisadas, apenas a densidade aparente do solo apresentou diferença significativa entre os diferentes tratamentos, nos perfis 0-20 cm (*ANOVA*, $F_{5,24} = 9,37$; $p < 0,01$) e 20-40 cm (*ANOVA*, $F_{5,24} = 26,09$; $p = 0,01$). A densidade aparente dos tratamentos Monocultura e Pastagem foi significativamente maior do que os tratamentos florestais nos perfis 0-20 cm (*Tukey's*, $p < 0,01$) e 20-40 cm (*Tukey's*, $p < 0,01$) (Tabela 2). O tratamento Remanescente florestal apresentou os maiores valores de desvio padrão de densidade na profundidade mais superficial do solo e o Parque Nacional do Iguaçu interior apresentou a maior variação do conjunto de dados da densidade aparente do solo no perfil 20-40 cm (Tabela 2).

Tabela 2. Propriedades físicas do solo (média \pm desvio padrão) dos tratamentos analisados na microrregião de Foz do Iguaçu, oeste do estado do Paraná, sul do Brasil: PS= perfil do solo; PNIB=Parque Nacional do Iguaçu borda; PNII=Parque Nacional do Iguaçu interior; REMA= Remanescente florestal; REGE= Regeneração florestal; MONO= Monocultura; PAST= Pastagem; DA= Densidade aparente; ARG= Argila. Letras diferentes representam os tratamentos que tiveram diferença significativa em relação aos outros tratamentos, as letras iguais apontam que não houve diferença estatística entre os tratamentos (*ANOVA* e o subsequente teste *Tukey's*, $p > 0,05$).

Propriedades físicas	PS (cm)	Tratamentos					
		PNIB	PNII	REMA	REGE	MONO	PAST
DA (Mg m ⁻³)	0-20	1,14 \pm 0,10 ^c	1,09 \pm 0,08 ^c	1,04 \pm 0,14 ^c	1,20 \pm 0,04 ^c	1,47 \pm 0,11 ^a	1,28 \pm 0,05 ^b
	20-40	1,17 \pm 0,06 ^c	1,14 \pm 0,15 ^c	1,11 \pm 0,06 ^c	1,22 \pm 0,08 ^c	1,40 \pm 0,02 ^a	1,30 \pm 0,02 ^b
ARG%	0-20	63,80 \pm 2,28 ^a	62,20 \pm 7,29 ^a	65,60 \pm 10,14 ^a	72,33 \pm 8,80 ^a	70,60 \pm 4,34 ^a	71,80 \pm 6,18 ^a
	20-40	80,40 \pm 2,19 ^a	78,40 \pm 4,98 ^a	77,20 \pm 7,56 ^a	74,80 \pm 3,35 ^a	81,20 \pm 1,79 ^a	82,60 \pm 6,07 ^a

Não houveram diferenças significativas das propriedades químicas CTC (*Tukey's* $p = 0,35$), pH (*Tukey's*, $p = 0,57$) e V (*Tukey's*, $p = 0,12$) dos perfis de solo 0-20 e 20-40 cm do solo entre os tratamentos. Em ambas as profundidades de solo estudadas, o tratamento Parque Nacional do Iguaçu borda apresentou a maior capacidade de troca de cátions e de saturação por bases e os tratamentos Monocultura e Pastagem apresentam os menores valores de capacidade de troca de cátions e a Pastagem apresentou a menor saturação por bases em ambos os perfis

amostrados. O pH do perfis 0-20 cm e 20-40 cm não variou de maneira notória entre os tratamentos (Tabela 3).

O teor de **COS** foi significativamente diferente entre os tratamentos nos perfis 0-20 cm (ANOVA, $F_{5,24} = 17,47$; $p < 0,001$) e 20-40 cm (ANOVA, $F_{5,24} = 7,62$; $p = 0,002$). O teor de **COS** do tratamento Parque Nacional do Iguaçu borda foi significativamente maior que o teor de **COS** dos tratamentos Parque Nacional do Iguaçu interior, Remanescente florestal, Regeneração florestal, Monocultura e Pastagem (Tukey's, $p < 0,001$) no perfil 0-20 cm. No perfil 20-40 cm, o tratamento Parque Nacional do Iguaçu borda e Regeneração florestal apresentaram um teor de **COS** significativamente maior que os demais tratamentos (Tukey's, $p < 0,001$). Os tratamentos Parque Nacional do Iguaçu borda, Remanescente florestal e Monocultura, apresentaram os maiores teores de **COS** do perfil 0-20 cm, enquanto que, os tratamentos Parque Nacional do Iguaçu borda, Remanescente florestal e Regeneração florestal apresentaram os maiores teores de **COS** no perfil 20-40 cm (Tabela 3).

Tabela 3. Propriedades químicas do solo (média \pm desvio padrão) dos tratamentos analisados na microrregião de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná, Brasil. PS= perfil do solo; PNIB=Parque Nacional do Iguaçu borda; PNII=Parque Nacional do Iguaçu interior; REMA= Remanescente florestal; REGE= Regeneração florestal; MONO= Monocultura; PAST= Pastagem; CTC= Capacidade de troca de cátions; V= Porcentagem de saturação por bases e COS= Carbono orgânico do solo. Letras diferentes representam os tratamentos que tiveram diferença significativa (Tukey's $p < 0,05$) em relação aos outros tratamentos e letras iguais indicam que não houveram diferenças significativas entre os tratamentos (ANOVA e o subsequente teste Tukey's, $p > 0,05$).

Propriedades químicas	OS (cm)	Tratamentos					
		PNIB	PNII	REMA	REGE	MONO	PAST
CTC (cmolc/dm ³)	0-20	16,18 \pm 2,83 ^a	13,97 \pm 6,51 ^a	15,93 \pm 6,96 ^a	11,42 \pm 2,35 ^a	9,87 \pm 1,97 ^a	10,20 \pm 3,11 ^a
	20-40	9,54 \pm 1,54 ^a	7,87 \pm 2,53 ^a	9,41 \pm 3,33 ^a	9,56 \pm 1,93 ^a	6,59 \pm 0,85 ^a	6,41 \pm 2,04 ^a
pH%	0-20	6,52 \pm 0,31 ^a	6,46 \pm 0,58 ^a	6,51 \pm 0,46 ^a	6,53 \pm 0,14 ^a	6,59 \pm 0,18 ^a	6,32 \pm 0,47 ^a
	20-40	6,63 \pm 0,19 ^a	6,39 \pm 0,50 ^a	6,60 \pm 0,52 ^a	6,44 \pm 0,30 ^a	6,55 \pm 0,10 ^a	6,24 \pm 0,35 ^a
V%	0-20	82,04 \pm 6,29 ^a	75,73 \pm 14,16 ^a	78,58 \pm 13,66 ^a	76,89 \pm 5,52 ^a	74,82 \pm 5,65 ^a	70,39 \pm 10,49 ^a
	20-40	74,85 \pm 5,97 ^a	65,65 \pm 14,27 ^a	71,69 \pm 16,28 ^a	71,80 \pm 8,07 ^a	66,47 \pm 4,01 ^a	59,13 \pm 12,04 ^a
COS (g kg ⁻¹)	0-20	4,67 \pm 0,67 ^a	2,29 \pm 0,08 ^b	2,45 \pm 0,33 ^b	2,17 \pm 0,26 ^b	2,31 \pm 0,36 ^b	2,01 \pm 0,80 ^b
	20-40	2,65 \pm 0,41 ^a	1,39 \pm 0,18 ^c	1,54 \pm 0,19 ^c	2,14 \pm 0,47 ^b	1,76 \pm 0,40 ^c	1,68 \pm 0,30 ^c

4.2. Mudança do estoque de COS com o uso da terra

Houve diferença significativa do estoque de **COS** entre os tratamentos avaliados nos perfis 0-20 cm (ANOVA, $F_{5,24} = 10,27$; $p = 0,001$) e 20-40 cm (ANOVA, $F_{5,24} = 7,64$; $p = 0,002$). Nos perfis 0-20 cm e 20-40 cm, o tratamento Parque Nacional do Iguaçu borda apresentou um estoque de **COS** significativamente maior que os tratamentos Parque Nacional do Iguaçu interior, Remanescente florestal, Regeneração florestal, Monocultura e Pastagem (Tukey's, $p < 0,001$). No perfil 20-40 cm, o tratamento Regeneração florestal apresentou um estoque de **COS** significativamente maior que o Parque Nacional do Iguaçu interior (Tukey's, $p = 0,02$).

Os tratamentos com os maiores estoques de **COS** nos perfis 0-20 e 20-40 cm foram Parque Nacional do Iguaçu borda e Remanescente Florestal. Os tratamentos que apresentam o menor estoque de **COS** nos perfis 0-20 e 20-40 cm foram a Pastagem e o Parque Nacional do Iguaçu interior (Tabela 4). As maiores variações do estoque de COS encontradas dentro do conjunto de dados do perfil 0-20 cm pertencem aos tratamentos Parque Nacional do Iguaçu borda e Pastagem (Figura 5 a). No perfil do solo 20-40 cm, os tratamentos que mais apresentaram variação do estoque de **COS** encontrado dentro do conjunto de dados foram Regeneração florestal, Monocultura e Parque Nacional do Iguaçu borda (Figura 5 b). Dentre todos os tratamentos, o Parque Nacional do Iguaçu interior apresentou a menor variação do estoque de **COS** em ambas os perfis amostrados.

Tabela 4. Estoque de carbono dos tratamentos analisadas (média \pm desvio padrão) na microrregião de Foz do Iguaçu, oeste do estado do Paraná, sul do Brasil. ECOS= estoque de carbono orgânico do solo; PS= profundidade do solo; PNIB = Parque Nacional do Iguaçu Borda; PNII = Parque Nacional do Iguaçu interior; REMA= Remanescente florestal; REGE= Regeneração Florestal; MONO =Monocultura e PAST= Pastagem. As letras diferentes representam os tratamentos que tiveram diferença significativa em relação aos outros tratamentos e as letras iguais apontam que não houveram diferenças significativa entre os tratamentos (ANOVA e o subseqüente teste Tukey's, $p > 0,05$).

Atributo	PS (cm)	Tratamentos					
		PNIB	PNII	REMA	REGE	MONO	PAST
ECOS (Mg ha ⁻¹)	0-20	101,81 \pm 14,64 ^a	49,92 \pm 1,76 ^b	53,41 \pm 7,12 ^b	47,31 \pm 5,72 ^b	50,36 \pm 7,89 ^b	43,82 \pm 17,60 ^b
	20-40	60,42 \pm 9,33 ^a	31,69 \pm 4,19 ^c	35,11 \pm 4,39 ^c	48,79 \pm 10,63 ^b	40,13 \pm 9,05 ^c	38,30 \pm 6,87 ^c

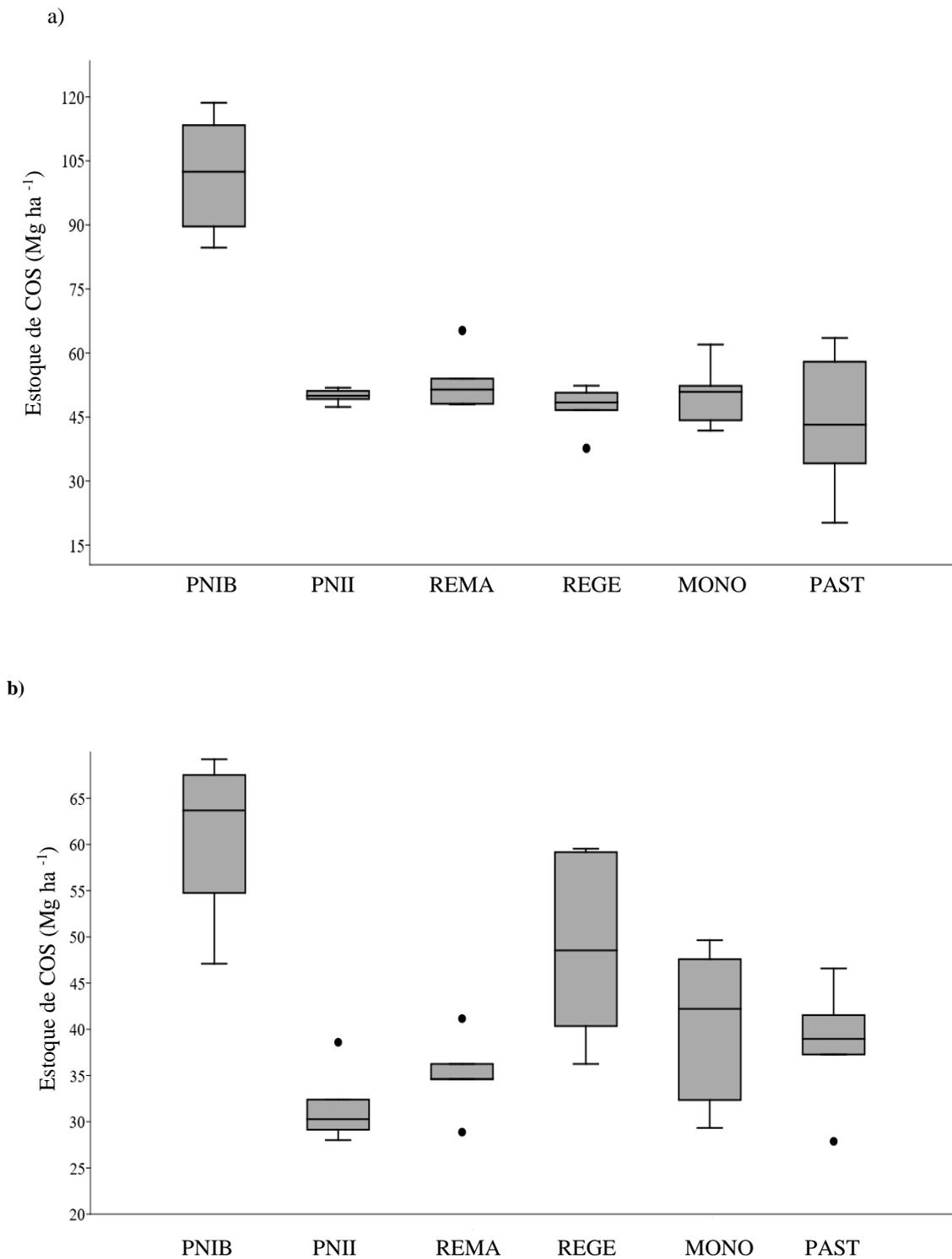


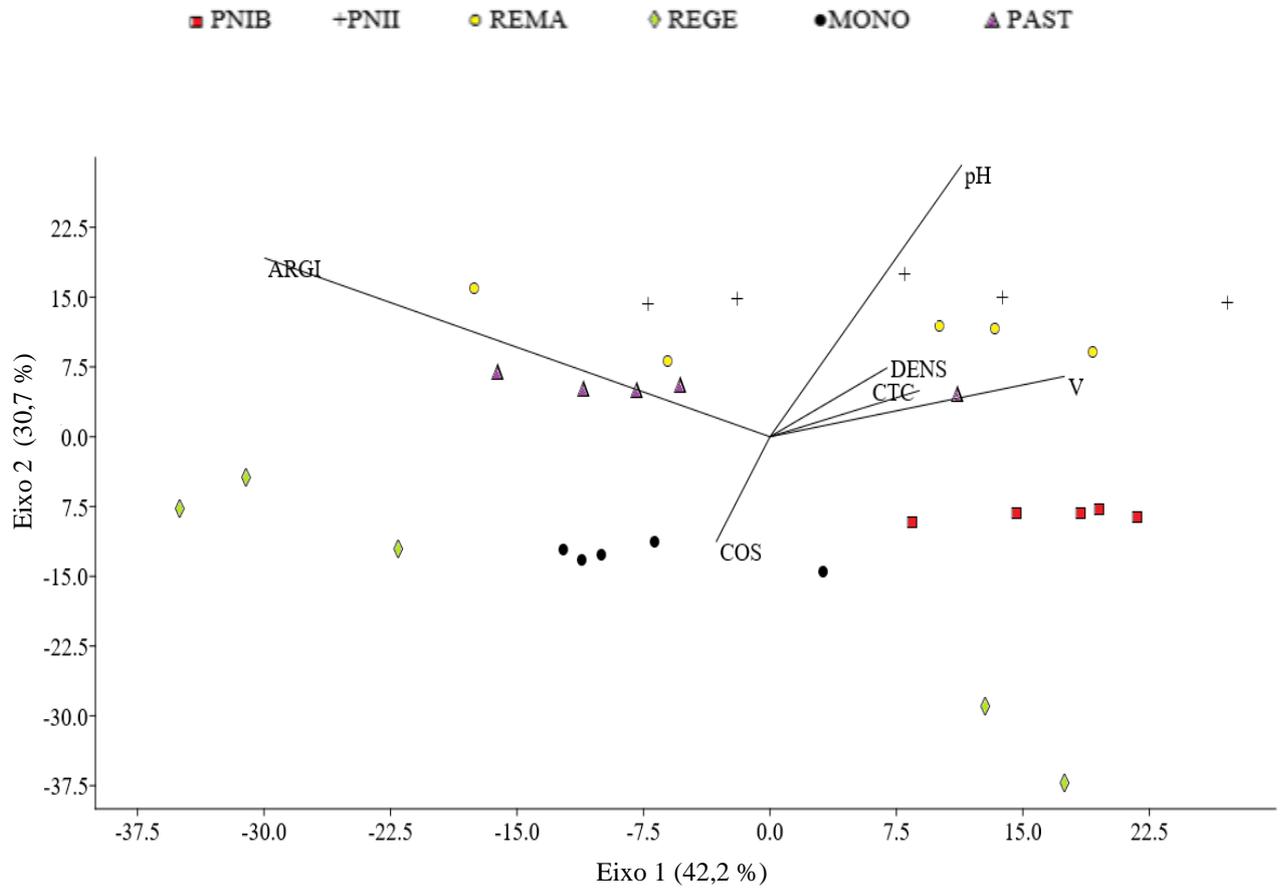
Figura 5. Boxplot do estoque de **COS** dos tratamentos analisados na microrregião de Foz do Iguaçu, oeste do estado do Paraná, sul do Brasil. **(a)** estoque de **COS** do perfil 0-20 cm e **(b)** estoque de **COS** do perfil 20-40 cm. Tratamentos: PNIB= Parque Nacional do Iguaçu borda; PNII= Parque Nacional do Iguaçu interior; REMA= Rmanescente florestal; REGE= Regeneração florestal; MONO= Monocultura de soja e milho e PAST= Pastagem.

4.3. Resultados da análise de componentes principais

No primeiro eixo da PCA do perfil 0-20 cm foi observado um gradiente no qual, os tratamentos Parque Nacional do Iguaçu borda, Parque Nacional do Iguaçu interior e Remanescente florestal apresentaram uma maior tendência de relação com as variáveis densidade, capacidade de troca de cátions, capacidade de saturação por bases e pH. Por outro lado, os tratamentos Regeneração florestal, Pastagem e Monocultura, foram positivamente influenciados pela argila e pelo teor de carbono orgânico do solo. Além disso, os tratamentos Regeneração florestal, Pastagem e Monocultura apresentaram uma maior similaridade quanto as variáveis analisadas, devido a maior proximidade entre os mesmos ao longo do gradiente formado pela PCA (Figura 6 a).

O gradiente observado no primeiro eixo da PCA do perfil 20-40 cm indicou uma relação positiva das variáveis densidade aparente do solo, capacidade de saturação por bases, pH e argila com os tratamentos Parque Nacional do Iguaçu borda, Parque Nacional do Iguaçu interior, Remanescente florestal e Regeneração florestal. Houve a formação clara de cinco grupos neste perfil: 1) Pastagem; 2) Monocultura; 3) Parque Nacional do Iguaçu borda; 4) Regeneração florestal; e 5) Parque Nacional do Iguaçu interior e Remanescente florestal. Dentre esses agrupamentos foi possível observar uma maior similaridade entre os tratamentos florestais (Figura 6 b).

a)



b)

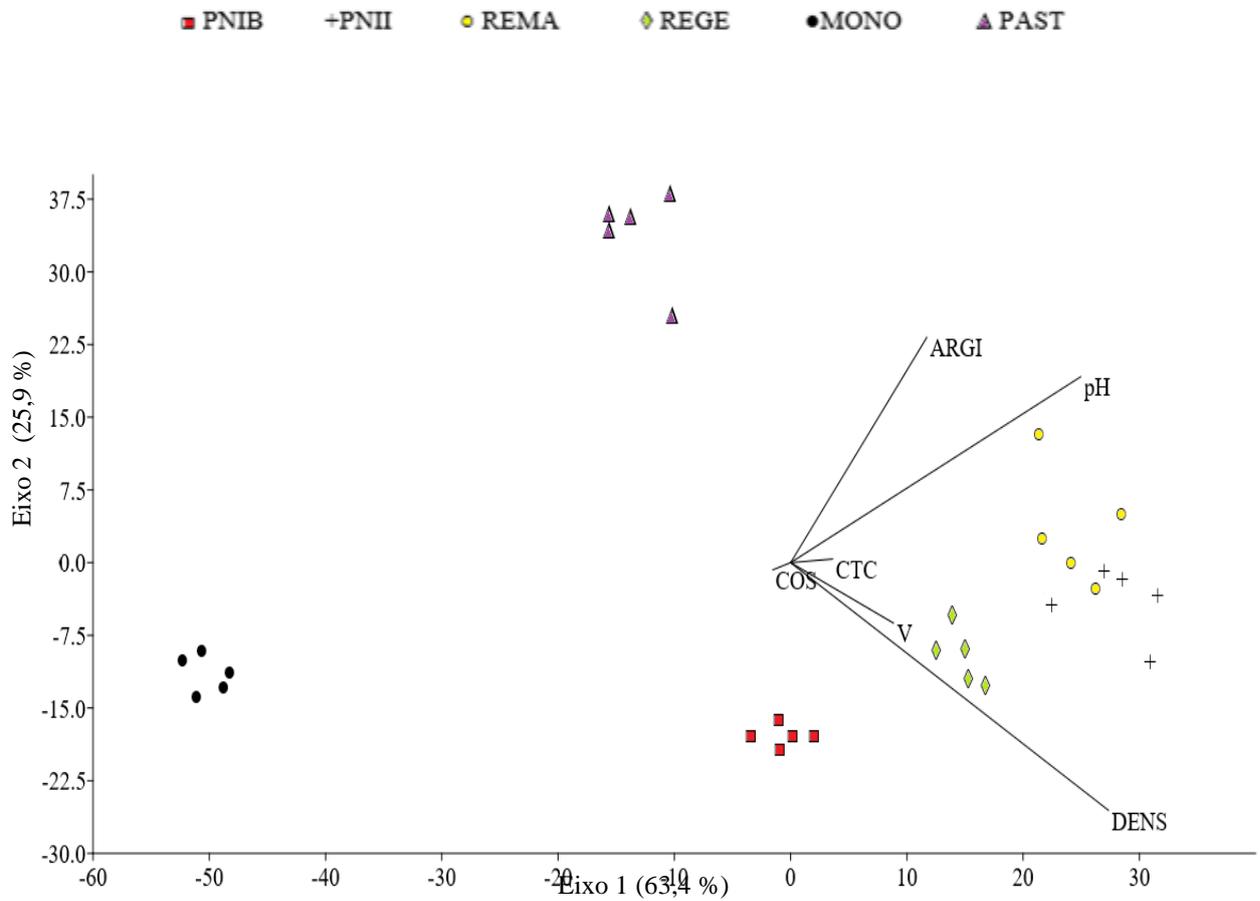


Figura 6. Análise de Componentes Principais (PCA) biplot das variáveis concentração de carbono orgânico do solo (COS), densidade aparente (DA), saturação por bases (V), capacidade de troca de cátions (CTC), pH e concentração de Argila encontradas nas réplicas de solo dos tratamentos de Pastagem (PAST), Monocultura de soja e milho (MONO), Remanescente Florestal (REMA), Regeneração Florestal (REGE), Parque Nacional do Iguaçu borda (PNIB) e interior (PNII), microrregião de Foz do Iguaçu, oeste do Paraná, sul do Brasil. **a)** perfil 0-20 cm; **b)** perfil 20-40 cm.

5. DISCUSSÃO

Assim como esperado e descrito por outros autores, como ORAL et al. (2013) e MASCARENHAS et al. (2017), o solo dos tratamentos de Pastagem e Monocultura apresentou uma densidade significativamente maior que os demais tratamentos. Essa maior densidade é comumente encontrada na literatura (FEARNSIDE & BARBOSA, 1998; BALDOTTO et al., 2010; CAROLAN & FORNARA, 2016), devido a influência do pisoteio do gado e da utilização de máquinas pesadas no manejo e preparação da terra. O solo do tratamento Monocultura apresentou os maiores valores de densidade no perfil mais superficial, indicando que o uso frequente de máquinas pesadas para o auxílio da preparação da terra na agricultura tem sido mais prejudicial do que o tipo de manejo realizado no solo da Pastagem quanto à densidade, que por sua vez faz o uso de maquinário apenas quando existe a necessidade de reforma do pasto.

De acordo com JAKELAITIS et al. (2008) e SILVA et al. (2015), solos com densidade aparente maior que $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$, tal como encontrado neste trabalho para a Monocultura, são mais restritivos ao crescimento radicular das plantas, pois possuem uma menor eficiência de absorção e retenção de água e nutrientes. No entanto, embora a Monocultura tenha apresentado uma densidade acima da esperada para um solo fértil e uma menor capacidade de saturação por bases, quando comparada com os tratamentos florestais, a mesma ainda apresenta valores de pH e de saturação por bases considerados ótimos para a agricultura, segundo os padrões estabelecidos pela EMBRAPA (2010).

Esse resultado mostra que o solo da Monocultura vem sofrendo um manejo direcionado para o seu melhor rendimento, que neste caso, ocorre através da aplicação de nutrientes e correção do pH. O mesmo pode ser dito para a Pastagem, que por possuir um manejo de rotação de piquetes de pastagem consegue manter uma maior concentração de matéria orgânica e, portanto, assegurar uma maior qualidade física e química do solo (EATON et al., 2011). Por isso, não foram encontradas diferenças significativas entre a capacidade de troca de cátions, saturação por bases, argila e pH entre os tratamentos florestais e não florestais.

Mesmo não havendo diferença significativa, a menor capacidade de troca de cátions observada nos tratamentos Monocultura e Pastagem nos perfis 0-20 e 20-40 cm e a menor saturação por bases apresentada pela Pastagem, em ambos os perfis amostrados, indicam indiretamente uma menor taxa de formação da matéria orgânica no solo desses tratamentos, quando comparados com os tratamentos florestais. Esse tipo de resposta já era esperado pois, segundo CAROLAN & FORNARA (2016), devido a menor cobertura vegetal encontrada

nesses ambientes, a temperatura do solo aumenta e conseqüentemente, a taxa de decomposição da matéria e o intemperismo aumenta, diminuindo ainda mais a concentração de matéria orgânica.

Conforme dito pela EMBRAPA (2010), a densidade do solo, a capacidade de troca de cátions e a capacidade de saturação por bases estão diretamente relacionadas com a quantidade de matéria orgânica no solo. Dessa maneira, mesmo não havendo diferença significativa dessas variáveis entre os tratamentos estudados, os maiores valores de desvio padrão observados para a variável densidade no perfil 0-20 cm e para a capacidade de troca de cátion e capacidade de saturação por bases nos perfis 0-20 e 20-40 cm do Remanescente florestal indicam indiretamente uma maior variação da quantidade de matéria orgânica presente no solo desse tratamento.

Por outro lado, o tratamento Parque Nacional do Iguaçu borda, que possui a maior extensão de borda, apresentou mesmo que sem diferença estatística, a maior capacidade de troca de cátions e capacidade de saturação por bases nos perfis 0-20 e 20-40 cm. A capacidade de troca de cátions é uma medida indireta da quantidade de nutrientes sendo liberados pela decomposição da **MOS** e a capacidade de troca de cátions é uma medida indireta da fertilidade do solo (EMBRAPA, 2010). Neste trabalho, assim como também observado por BARROS & FEARNSSIDE (2016), a borda do Parque Nacional do Iguaçu também apresentou valores significativamente maiores de estoque e teor de **COS** nos perfis 0-20 e 20-40 cm. Regiões de borda florestal possuem maior taxa de formação e decomposição da matéria orgânica no solo e o efeito de borda aumenta o estoque e teor de **COS**, pois ele gera o aumento da taxa de mortalidade das árvores e conseqüentemente, ele estimula uma maior formação de serapilheira e uma maior taxa de decomposição da matéria orgânica (LAURANCE et al. 2006; BARROS & FEARNSSIDE 2016).

No entanto, mesmo havendo diferenças significativas do teor e estoque de carbono entre os tratamentos nos perfis 0-20 cm e 20-40 cm, foi observado que, de maneira geral, houve uma maior similaridade entre os valores de estoque de carbono dos tratamentos no perfil 0-20 cm do que entre os valores de estoque e teor do perfil 20-40 cm. Esse resultado demonstra que a capacidade de aporte de na superfície do solo permanece similar entre carbono entre ambientes sob diferentes manejos das terras. Por outro lado, essa capacidade tende a diferenciar-se de maneira mais enfática com o aumento da profundidade.

O estoque de carbono orgânico do tratamento Parque Nacional do Iguaçu borda apresentou a maior variação observada para o perfil 0-20 e uma das maiores variações do perfil 20-40 cm. Esse resultado sugere que, devido a maior heterogeneidade da comunidade vegetal presente na borda, a matéria orgânica formada no solo possui uma composição bioquímica menos homogênea, podendo apresentar uma maior ou menor fração de moléculas recalcitrantes, que farão com que a taxa de decomposição e entrada de carbono no solo tenha uma maior variação ao longo do território desse tratamento (HOLANDA et al. 2010; COSTA, 2015).

Assim como a borda do Parque, a Regeneração florestal também apresentou um estoque de carbono do solo significativamente maior que os demais tratamentos, por estar em estágio inicial de regeneração. A Regeneração florestal possui no perfil 20-40 cm um estoque e teor de carbono orgânico significativamente maior que interior do Parque. De acordo com o histórico da área, a mesma foi utilizada para monocultura até o ano de 1984. Dessa maneira, a maior quantidade de carbono orgânico encontrado no perfil que armazena o estoque de carbono mais antigo que aquele encontrado na profundidade 0-20 cm pode ser na realidade, o estoque formado pela monocultura. Outra possível explicação para o resultado observado seria dada por PAZ et al. (2016), que afirma que florestas que colonizam áreas agrícolas abandonadas tendem a recuperar em poucas décadas o estoque de carbono, devido a maior quantidade de nutrientes deixados no solo pela agricultura.

O menor estoque de carbono do solo encontrado para a profundidade 0-20 cm do tratamento de Pastagem pode ser um reflexo da menor produção de matéria orgânica comumente encontrada nesse tipo de uso da terra (FEARNSIDE & BARBOSA, 1998). A segunda maior variação do estoque de carbono na profundidade 0-20 cm também pertence ao tratamento de Pastagem. Esse resultado indica a instabilidade do estoque de carbono orgânico do perfil mais superficial do solo da Pastagem, pois segundo FEARNSIDE & BARBOSA (1998), os solos de áreas de pastagem tendem a apresentar uma maior perda de carbono orgânico, devido a maior exposição desse solo ao sol, que por sua vez, estimula o aumento da taxa de oxidação do carbono, que passa a ser perdido rapidamente para a atmosfera.

O interior do Parque apresentou o menor estoque de carbono do perfil 20-40 cm e a menor variação de carbono em ambos os perfis amostrados (0-20 e 20-40 cm). Esse resultado sugere que o tempo de residência do carbono no solo do interior da floresta é maior que nos demais tratamentos. De acordo com OLIVEIRA et al. (2004) e BARROS & FEARNSIDE (2016) é comum o estoque de carbono ser menor em áreas do interior da floresta, pois a comunidade vegetal dessas regiões possui uma maior dominância de espécies arbóreas robusta,

que devido a maior proporção de lignina em sua composição apresentam uma taxa de decomposição mais lenta. Quando a decomposição da matéria orgânica é mais lenta, o carbono passa a ser armazenado por mais tempo em forma de decompostos intermediários no solo. Normalmente essas árvores possuem ciclos de vida longos e apresentam uma maior capacidade de armazenamento de carbono em sua biomassa (COSTA, 2015). Dessa maneira, o estoque de carbono presente no solo do interior da floresta é menor e mais estável, pois a maior parte do carbono encontra-se armazenado na biomassa viva.

No início deste trabalho, esperou-se uma maior tendência de relação das variáveis capacidade de troca de cátions, saturação por bases, pH e densidade aparente com os tratamentos florestais e apesar dessas variáveis não terem apresentado diferenças significativas entre os tratamentos, essa hipótese pode ser corroborada pela PCA biplot. Estas variáveis estão diretamente correlacionadas com a maior ou menor concentração de **MOS** em um ambiente (EMBRAPA, 2010), já o **COS** possui uma relação negativa com a densidade e o pH porque a sua concentração tende a ser menor em solos com maior densidade e pH ácido e a ser maior em solos com densidade menor e pH mais básico (PAZ et al. 2016).

A maior relação das variáveis pH e capacidade de saturação por bases com os tratamentos florestais observada nos perfis 0-20 e 20-40 cm já havia sido reportada por LOSS et al. (2014) e GUIDOLINI (2015), anteriormente. Segundo LOSS et al. (2014), as variáveis CTC, pH, DA e saturação por bases estão relacionadas positivamente com a quantidade de **MOS** presente no ambiente e com a ciclagem de nutrientes. Dessa maneira, a relação positiva dessas variáveis com os tratamentos florestais indica uma maior produção de **MOS** e ciclagem de nutrientes nesses tratamentos. Por outro lado, os tratamentos Mocultura, Pastagem e Regeneração foram influenciadas principalmente pela argila no perfil 0-20 cm. Esse resultado pode ser um reflexo da maior compactação apresentada pelos solos desses tratamentos em relação aos demais. Desta forma, a densidade, por sua vez, apresentou relação positiva com os tratamentos florestais, devido a menor compactação apresentada no solo destes tratamentos.

No perfil 20-40 cm a maior semelhança apresentada pelos tratamentos Parque Nacional do Iguaçu borda, Parque Nacional do Iguaçu interior, Remanescente florestal e Regeneração florestal está relacionada com a densidade aparente do solo, a capacidade de saturação por bases, o pH e a argila. Esse resultado indica que todas essas variáveis tenderam a variar de maneira semelhante para o perfil 20-40 cm desses tratamentos. Por outro lado, a relação negativa dessas variáveis com o agrupamento dos tratamentos Pastagem e Monocultura, parece

sugerir que de fato, o tipo de manejo realizado nesses tratamentos tem alterado as propriedades físicas e químicas do solo.

Em resumo, os resultados obtidos sobre as propriedades físicas e químicas do solo, assim como o estoque de carbono determinado para os diferentes tratamentos ao longo deste trabalho, tem mostrado que os diferentes usos das terras dentro da microrregião de Foz do Iguaçu têm tido influência sobre a densidade, o teor e o estoque de carbono do solo. Mesmo que existam evidências sobre o manejo voltado para o bom rendimento dos tratamentos Pastagem e Monocultura, esses ambientes demonstraram uma menor capacidade de retenção de carbono em relação aos tratamentos florestais. Esse resultado evidencia a necessidade da conservação de ambientes de florestas naturais maduras e em regeneração para a manutenção do ciclo e do estoque desse elemento na terra.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que houveram variações estatisticamente significativas da densidade e do teor e estoque de **COS** entre as diferentes categorias de usos das terras na microrregião de Foz do Iguaçu, localizada ao oeste do estado do Paraná, no sul do Brasil. No entanto, embora a hipótese levantada sobre a maior densidade dos tratamentos Monocultura e Pastagem tenha sido confirmada em ambos os perfis amostrados (0-20 e 20-40 cm), a hipótese de que os tratamentos florestais apresentariam valores significativamente maiores de pH (+ básico), saturação por bases e capacidade de troca de cátions não foi corroborada. Assim como esperado no começo deste trabalho, capacidade de troca de cátions, pH, densidade aparente e saturação por bases tenderam a exercer uma correlação positiva com os tratamentos florestais nos perfis 0-20 e 20-40 cm. Dessa maneira, há o indício de que os tratamentos florestais possuem uma maior produção de matéria orgânica e uma maior ciclagem de nutrientes, sendo portanto, essenciais para a manutenção e bom funcionamento do ciclo do carbono.

O estoque e o teor de carbono orgânico do solo variaram de maneira significativa sob a influência dos diferentes usos das terras e assim como levantado como hipótese inicial, o tratamento borda do Parque Nacional do Iguaçu apresentou o maior estoque de **COS** observado para as profundidades 0-20 e 20-40 cm. Por outro lado, a hipótese de que o tratamento Monocultura possuiria o menor estoque de carbono orgânico do solo foi refutada. O tratamento Regeneração florestal apresentou um estoque de carbono significativamente maior que o interior do Parque. O interior do Parque obteve um dos menores valores de estoque de carbono do perfil 0-20 cm e o menor estoque de carbono do perfil 20-40 cm. No entanto, A menor variação do estoque de carbono em ambas as profundidades no interior Parque Nacional do Iguaçu indicou uma maior estabilidade desse elemento dentro desse ambiente, além disso, segundo a literatura, a maior parte do estoque de carbono do interior da floresta encontra-se estocado em forma de biomassa viva.

Dessa maneira, justamente por possuir uma maior quantidade de carbono estocado em sua biomassa, qualquer alteração no interior da floresta poderá liberar mais carbono do que as bordas ou regenerações poderiam estocar, sendo, portanto, sua conservação de extrema importância para a manutenção do ciclo e do estoque de carbono na terra. Sobretudo em um quadro cujo, a expectativa de mudança climática causado pelo acúmulo de CO₂ na atmosfera, tem estado em alta.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLISON, L.E. 1965. Organic carbon. In: Black, C.A. et.al., Eds. Methods of soil analysis. **Agronomy serie n° 9**. ASA. Madson. Wisc., p. 1367-1379.
- ALVARES, C. L. et al., 2013. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711–728. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- BARROS.H.S. & FEARNSIDE, P.M. 2016. Soil carbon stock changes due to edge effects in central Amazon forest fragments. **Forest Ecology and Management**, v. 379, p. 30-36. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.08.002.
- BARITZ, R. et al., 2010. Carbon concentrations and stocks in forest soils of Europe. **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 262–277. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.03.025.
- BOSSARD, M.; FERANEC, J.; OTAHEL, J. (Org.). 2000. Corine land cover technical guide: addendum 2000. Copenhagen: European Environment Agency (Technical report, n. 40). Project manager: Chris Steenmans; European Environment Agency. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/tech40add>. Acesso em: setembro. 2017.
- BUCZKO, U. et al., 2017. Variability of soil carbon stocks in a mixed deciduous forest on hydromorphic soils. **Geoderma**, v. 307, p. 8–18. DOI: 10.1016/j.geoderma.2017.07.015.
- CAROLAN, R. & FORNAB, D.A. 2016. Soil carbon cycling and storage along a chronosequence of re-seeded grasslands: Do soil carbon stocks increase with grassland age? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 218, p. 126–132. DOI: 10.1016/j.agee.2015.11.021.
- CLARKE, N. et al., 2015. Influence of different tree-harvesting intensities on forest soil carbon stocks in boreal and northern temperate forest ecosystems. **Forest Ecology and Management**, v. 351, p. 9–19. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.04.034.
- CLAESSEN, M.E.C. (Org.). 1997. Manual de métodos de análises de solo. 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 212 p. (Embrapa-CNPS. Documentos, 1).
- CLERCQ, T.D. et al., 2015. Predicting soil organic matter stability in agricultural fields through carbon and nitrogen stable isotopes. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 88, p. 29-38. DOI: 10.1016/j.soilbio.2015.05.011.
- CORREIA, N. M. & DURIGAN, J.C. 2008. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema de plantio direto (SPD). **Bioscience Journal**, v. 24, p. 20-31.
- COSTA, K.M. 2015. O estoque de carbono na vegetação e no solo em fragmentos florestais de paisagens tropicais. São Paulo, Universidade de São Paulo, 58 p. (Tese de Mestrado).

- DABNEY, S.M., DELGADO, J.A. & REEVES, D.W. 2001. Using winter cover crops to improve soil a water quality. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 32, p. 1221-1250. DOI: 10.1081/CSS-100104110
- DAVIDSON, E.A. & JANSSENS, I.A. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. **Nature**, v. 440, p. 165–173. DOI: 10.1038/nature04514.
- DE ANGELO, C. 2009. El paisaje del Bosque Atlántico del Alto Paraná y sus efectos sobre la distribución y estructura poblacional del jaguar (*Panthera onca*) y el puma (*Puma concolor*). Ph.D. Dissertation, Buenos Aires, p. 252.
- DJUKIC, I. et al., 2010. Soil or- ganic-matter stocks and characteristics along an alpine elevation gradient. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v.173, p. 30–38. DOI: 10.1002/jpln.200900027.
- DOBLAS-MIRANDA, E. et al., 2013. Soil carbon stocks and their variability across the forests, shrublands and grasslands of peninsular Spain. **Biogeosciences**, v. 10, p. 8353–8361. DOI: 10.5194/bg-10-8353-2013.
- DUBE, F. et al., 2009. The influence of land-use change on the organic carbon distribution and microbial respiration in a volcanic soil of the Chilean Patagonia. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 1695–1704. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.01.044.
- DUNGAIT, J.A.J. et al., 2012. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. **Global Change Biology**, 18, 1781–1796. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2012.02665. x.
- DU, B. et al., 2014. Soil organic carbon stock and chemical composition along an altitude gradient in the Lushan Mountain, subtropical China. **Ecological Research**, v.29, p.433–439. DOI 10.1007/s11284-014-1135-4.
- DWYER, J.M. et al., 2009. Carbon for conservation: Assessing the potential for win–win investment in an extensive Australian regrowth ecosystem. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 134, p. 1–7. DOI: 10.1016/j.agee.2009.06.003.
- EATON, D.P. 2011. Rotational Grazing of Native Pasturelands in the Pantanal: an effective conservation tool. **Tropical Conservation Science**, v.4, p.39-52. DOI: 10.1177/194008291100400105.
- EISENLOHR, P.V., OLIVEIRA-FILHO, A.T. & PRADO, J. 2015. The Brazilian Atlantic Forest: new findings, challenges and prospects in a shrinking hotspot. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, p. 2129–2133. DOI: 10.1007/s10531-015-0995-4.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- _____. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. 1. ed. Campinas, SP: EMBRAPA, 2010. 30 p.
- _____. Caracterização dos solos em áreas experimentais com gravílea, no estado do Paraná. 1.ed. Colombo PR: EMBRAPA, 2011. 32 p.
- _____. Protocolo para avaliar o potencial de sistemas agrícolas no sequestro de C e acúmulo de N no solo. 1.ed. Seropédica, RJ: EMBRAPA, 2016. 23 p.
- FARIA, D. et al, 2009. Forest structure in a mosaic of rain forest sites: the effect of fragmentation and recovery after clear cut. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 2226–2234. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.02.032.
- FEARNSIDE, P.M. & BARBOSA, R.I. 1998. Soil carbon changes from conversion of forest to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 108, p. 147–166. DOI: 10.1016/S0378-1127(98)00222-9.
- FEDERICI, S. et al., 2015. New estimates of CO₂ forest emissions and removals: 1990–2015. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 89–98. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.04.022.
- FUJISAKI, K. et al., 2017. Soil organic carbon changes after deforestation and agrosystem establishment in Amazonia: An assessment by diachronic approach. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 245, p. 63-73. DOI: 10.1016/j.agee.2017.05.011.
- GIBBS, H.K. et al., 2010. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980 and 1990. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, p. 16732–16737. DOI: 10.1073/pnas.0910275107.
- GUIDOLINI, J.F. 2015. Atributos físicos e químicos de um argissolo sob diferentes sistemas de uso da terra (SUTs). Universidade Estadual Paulista – UNESP Campo Jaboticabal. (Tese de Mestrado).
- GRIS, D.; TEMPONI, L.G. & DAMASCENO JUNIOR, G.A. 2014. Structure and floristic diversity of remnant semideciduous forest under varying levels of disturban. **Acta Botânica Brasilica**, v. 28, p. 569-576. DOI: 10.1590/0102-33062014abb3432.
- GUGGENBERGER, G. & ZECH, W. 1999. Soil organic matter composition under primary forest, pasture, and secondary forest succession, Región Huetar Norte, Costa Rica.

- Forest Ecology and Management**, v.124, p. 93–104. DOI: 10.1016/S0378-1127(99)00055-9.
- GUNINA, A. & KUZYAKOV, Y. 2014. Pathways of litter C by formation of aggregates and SOM density fractions: Implications from ^{13}C natural abundance. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 71, p. 95-104. DOI: 10.1016/j.soilbio.2014.01.011.
- HOLANDA, A. et al., 2010. Estrutura de espécies arbóreas sob efeito de borda em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual em Pernambuco. **Revista Árvore**, v.34, p.103-114. DOI: 10.1590/S0100-67622010000100012.
- HUANG, C.Q. et al., 2007. Rapid loss of Paraguay's Atlantic Forest and the status of protected areas – a landsat assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 106, p. 460–466. DOI: 10.1016/j.rse.2006.09.016.
- IWATA, B de F. et al., 2010. Dinâmica sazonal do carbono orgânico total e da biomassa microbiana em sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 13.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8., 2010, Guarapari. Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro: anais. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 4.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2013. Manuais Técnicos em Geociências: manual técnico de uso da terra. 3.ed. Rio de Janeiro, n° 7. 171 p.
- IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.
- JAKELAITIS et al., 2008. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical (UFG)**, v. 38, p. 118-127.
- JAMALA, G. Y. & OKE, D.O. 2013. Humic substances and mineral associates soil organic carbon as influenced by land use in Southeastern Adamawa State, Nigeria. **Journal of Environmental Science**, v. 5, p. 59-70. DOI: 10.9790/2402-0655970.
- JOBAGY, E.G. & JACKSON, R.B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. **Ecological Application**, v. 10, p. 423–436. DOI: 10.1890/1051-0761(2000)010[0423: TVDOSO]2.0.CO;2.

- JOLY, C, METZGER & JP, TABARELLI, M. 2014. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204, p. 459–473. DOI: 10.1111/nph.12989.
- KAISER, K. & GUGGENBERGER, G. 2003. Mineral surfaces and soil organic matter. **European Journal of Soil Science**, v. 54, p.219–236. DOI: 10.1046/j.1365-2389.2003.00544.
- KAUFFMAN, J.B., HUGHES, R.F. & HEIDER, C. 2009. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the Neotropics. **Ecological Applications**, v.19, p. 1211–1222. DOI: 10.1890/08-1696.1.
- KIRSCHBAUM, M.U.F. et al., 2017. The trade-offs between milk production and soil organic carbon storage in dairy systems under different management and environmental factors. **Science of the Total Environment**, v.577, p. 61–72. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.055.
- LADD, B. et al., 2012. Estimates of soil carbon concentration in tropical and temperate forest and woodland from available GIS data on three continents. **Global Ecology and Biogeography**, v.22, p.461-469. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2012.00799. x.
- LAURANCE, W.F. et al., 2006. Rapid decay of tree-community composition in Amazonian forest fragments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, n. 103, v. 50, 19010–19014.
- LEWIS, S.L., 2009. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. **Nature**, v. 457, p.1003–1006. DOI: 10.1038/nature07771.
- LOSS, A. et al., 2014. Fertilidade do solo e matéria orgânica em Vertissolo e Argissolo sob cobertura florestal e pastagem. **Comunicata Scientiae**, v. 5, p.1-10.
- LUO, Z. et al., 2010. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.139, p.224–231. DOI: 10.1016/j.agee.2010.08.006.
- MAACK, R. 1968. Geografia Física do Estado do Paraná. Curitiba: Banco de Desenvolvimento do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas.
- MACEDO, M.de O. 2007. Estoque de Carbono, Nitrogênio e Fertilidade do Solo em Áreas em Recuperação com Leguminosas e em um Sistema de Agricultura Itinerante de Alta Produtividade. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 95 p. (Tese de Doutorado).

- MARQUES, J.D.O. et al., 2016. Oil organic carbon, carbon stock and their relationships to physical attributes under forest soil in central Amazonia. **Revista Árvore**, v.40, p.197-208. DOI:10.1590/0100-67622016000200002.
- MÖLLER, A.; KAISER, K. & ZECH, W. 2002. Lignin, carbohydrate, and amino sugar distribution and transformation in the tropical highland soils of northern Thailand under cabbage cultivation, Pinus reforestation, secondary forest, and primary forest. **Australian Journal of Soil Research**, v.40, p.977-998. DOI: 10.1071/SR01030.
- OLIVEIRA, M.A. et al, 2004. Forest edge in the Brazilian Atlantic forest: drastic changes in tree species assemblages. **Oryx**, v. 38, p. 389-394. DOI: 10.1017/S0030605304000754.
- OLEGÁRIO, P. T. et al., 2014. Levantamento dos usos e coberturas das terras para mapeamento de unidades de paisagem na microrregião de Foz do Iguaçu/PR. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2014, Gramado/RS. **XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia**, v. 1.
- ORAL, H. et al., 2013. The impact of hazelnuts in land-use changes on soil carbon and in situ soil respiration dynamics. **Journal of Environmental Management**, v. 129, p. 341-349. DOI: 20.1016/j.jenvman.2013.07.014.
- PALM, C. et al., 2014. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.187, p.87–105. DOI: 10.1016/j.agee.2013.10.010.
- PAN, Y. et al., 2011. A large and persistent Carbon Sink in the world's forests. **Science**, v.333, p.988-993. DOI: 10.1126/science.1201609.
- PAVINATO, P.S. & ROSOLEM, C.A. 2008. Disponibilidade de nutrientes no solo-decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.911-920. DOI: 10.1590/s0100-06832008000300001.
- PAZ, C.P. et al., 2016. Soil types influence predictions of soil carbon stock recovery in tropical secondary forests. **Forest Ecology and Management**, v.376, p.74–83. DOI: 10, 1016/j.foreco.2016.06.007.
- POEPLAU, C. & DON, A. 2015. Sensitivity of soil organic stocks and fractions to different land use changes across Europe. **Geoderma**, v.192, p.189-20. DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.08.003.

- MASCARENHAS, A.R.P et al., 2017. Atributos físicos e estoques de carbono do solo sob diferentes usos da terra em Rondônia, Amazônia Sul-Occidental. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.35, p.19-37. DOI: 10.4336/2017.pfb.37.89.1295.
- RIBEIRO, M.C. et al., 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v.142, p.1141–1153. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.02.021.
- RIES, L. et al., 2004. Ecological responses to habitats edges: mechanisms, models, and variability explained. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, v.35, p.491-522. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.35.112202.130148.
- ROBERTS, B.A. et al., 1998. Effects of intensive harvesting on forest floor properties in *Betula papyrifera* stands in Newfoundland. **Journal of Vegetation Science**, v.9, p.521–528. DOI: 10.2307/3237267.
- ROBINSON, S.J.B. et al., 2015. Factors influencing early secondary succession and ecosystem carbon stocks in Brazilian Atlantic Forest. **Biodiversity and Conservation**, v.24, p. 2273–2291. DOI: 10.1007/s10531-015-0982-9.
- ROSSET, et al., 2014. Carbon stock, chemical and physical properties of soils under management systems with different deployment times in western region of Paraná, Brazil. **Ciências Agrárias**, v.35, p.3053-3072. DOI: 10.5433/1679-0359.1014v35n6p3053.
- RUMPEL, C. & Kögel-Knabner, I. 2011. Deep soil organic matter—a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. **Plant Soil**, v.338, p.143–158. DOI: 10.1007/s11104-010-0391-5.
- SCARANO, F.R. & CEOTTO, P. 2015. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. **Biodiversity and Conservation**, v.24, p.2319-2331. DOI: 10.1007/s10531-051-0972-y.
- SCHARLEMANN, J.P.W. et al., 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, v.5, p.81–91. DOI: 10.4155/cmt.13.77.
- SHEIKH, M.A., KUMAR, M. & BUSSMANN, R.W. 2009. Altitudinal variation in soil organic carbon stock in coniferous subtropical and broadleaf temperate forests in Garhwal Himalaya. **Carbon Balance and Management**, v. 4, p. 1-6. DOI: 10.1186/1750-0680-4-6.

- SILVA, A. H. et al., 2015. Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais. In: Parron, L. M. et al. Serviços ambientais em sistemas agrícola e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF: EMBRAPA, p. 71-83.
- SILVER, W.L., OSTERTAG, R. & LUGO, A.E. 2000. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. **Restoration Ecology**, v.8, p. 394–407. DOI: 10.1046/j.1526-100x.2000.80054. x.
- SINGH, P. et al., 2015. Tillage and crop residue management methods had minor effects on the stock and stabilization of topsoil carbon in a 30-year field experiment. **Science of the Total Environment**, v. 518-519, p. 337–344. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.027.
- SISTI, C. P. J. et al., 2004. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.76, p.39-58. DOI: 10.1016/j.still.2003.08.007.
- SOUZA, et al., 2017. Fitossociologia da vegetação arborea do Parque Nacional do Iguaçu. **Ciência Florestal**, v.27, p.853-869. DOI: 10.5902/1980509828635.
- TABARELLI, M. et al., 2010. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, v.143, p.2328–2340. DOI: 10.106/j.biocon.2010.02.005.
- TADESSE, G., ZAVALETA, E. & SHENNAN, C. 2014. Effects of land-use changes on woody species distribution and above- ground carbon storage of forest-coffee systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.197, p.21–30. DOI: 10.1016/2014.07.008.
- TAEROE, A. et al., 2017. Do forests best mitigate CO₂ emissions to the atmosphere by setting them aside for maximization of carbon storage or by management for fossil fuel substitution? **Journal of Environmental Management**, v.197, p.117-129. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.03.051.
- TEDESCO, M.J. et al., 1995. Análises de solo plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Boletim Técnico n°5, 170 p.
- TCHIENKOUA, M. & ZECH, W. 2004. Organic carbon and plant nutrient dynamics under three land-uses in the highlands of West Cameroon. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 104, p. 673–679. DOI: 10.1016/j.agee.2003.10.007.

- VEEN, G.F. et al., 2015. Environmental factors and traits that drive plant litter decomposition do not determine home-field advantage effects. **Functional Ecology**, v.29, p.981–991. DOI: 10.1111/1365-2435.12421.
- VIEIRA, F.C.B. 2007. Estoques e labilidade da matéria orgânica e acidificação de um Argissolo sob plantio direto afetado por sistemas de cultura e adubação nitrogenada. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 123p. (Tese de Doutorado).
- VIEIRA, L.T.A. et al., 2015., Geographical patterns of terrestrial herbs: a new component in planning the conservation of the Brazilian Atlantic Forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, p. 2181-1298. DOI: 10.1007/s10531-015-0967-8.
- VON LÜTZOW, M. et al., 2007. SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. **Soil Biology & Biochemistry**, v.39, p.2183-2207. DOI: 10.1016/j.soilbio.2007.03.007.
- XU, G. et al., 2015. Impact of soil and water conservation on soil organic carbon content in a catchment of the middle Han River, China. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, p. 6503–6510. DOI: 10.1007/s12665-015-4749-0.
- WEDIN, D.A. et al., 1995. Carbon isotope dynamics during grass decomposition and soil organic matter formation. **Ecology**, v.76, p. 1383-1392. DOI: 10.2307/1938142.
- WIESMEIER, M. et al., 2014. Quantification of functional soil organic carbon pools for major soil units and land uses in southeast Germany (Bavaria). **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.185, p. 208–220. DOI: 10.1016/j.agee;2013.12.028.
- ZATTA, A. et al., 2014. Land use change from C3 grassland to C4 Miscanthus: effects on soil carbon content and estimated mitigation benefit after six years. **GCB Bioenergy**, v. 6, 360–370. DOI: 10.1111/gcbb.12054.