

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

NILSON MARCOS BALIN

**ATRIBUTOS DO SOLO SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE
RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2016

NILSON MARCOS BALIN

**ATRIBUTOS DO SOLO SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE
RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL**

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

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar
Conceição

Co-orientador: Dr. Vitor Cauduro Girardello

PATO BRANCO

2016

Balin, Nilson Marcos
Atributos do solo sob modelos em estágio inicial de restauração de floresta subtropical / Nilson Marcos Balin.
Pato Branco. UTFPR, 2016
103.f. : il. ; 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição
Coorientador: Prof. Dr. Vitor Cauduro Girardello
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco, 2015.
Bibliografia: f.

1. Uso e Manejo. 2. Vegetação. I. Conceição, Paulo Cesar, orient. II. Girardello, Vitor cauduro, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.
CDD: 633

Ficha Catalográfica elaborada por:
CRB
Biblioteca da UTFPR Câmpus Pato Branco



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



TERMO DE APROVAÇÃO

ATRIBUTOS DO SOLO SOB MODELOS EM ESTÁGIO INICIAL DE RESTAURAÇÃO DE FLORESTA SUBTROPICAL

por

NILSON MARCOS BALIN

Dissertação apresentada às 14 horas 00 min. do dia 23 de março de 2016 como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – Produção Vegetal, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo designados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho _____.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Fernando Bechara
UTFPR

Prof. Dr. Carlos Alberto Casali
UTFPR

Dr. Vitor Cauduro Girardello
UFPR

Prof. Dr. Paulo Cesar Conceição
UTFPR
Orientador

Prof. Dr. Giovani Benin
Coordenador do PPGA

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa”

Dedico essa dissertação primeiramente a Deus que me permitiu vivenciar esse momento, a toda minha família e esposa pelo apoio incondicional, ao meu orientador Paulo Cesar Conceição pela grande parceria de anos de trabalhos com pesquisa. Dedico aos meus amigos e ao grupo de pesquisa em ciências do solo pelo apoio direto na construção da dissertação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pai criador, pelas graças concedidas. Ao professor Paulo Cesar Conceição pela orientação e disponibilidade constante para o desenvolvimento desse trabalho. Aos demais professores que de alguma forma contribuíram para o encaminhamento desse trabalho. Ao grupo de pesquisa de ciência do solo pelo apoio nas atividades de campo e laboratoriais. A todos os colegas do grupo de pesquisa pelo convívio e amizade nesse período. A Juliana Brufati Balin minha esposa pela força, compreensão e carinho nesse período de trabalho. A minha família pelo grande apoio concedido em todos os momentos. Ao laboratório de solos pelo apoio no processamento das análises.

RESUMO

BALIN, Nilson Marcos. Atributos do solo sob modelos em estágio inicial de restauração de floresta subtropical. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

A substituição da vegetação nativa por outros usos do solo é um dos principais agentes degradantes do ecossistema, sendo ele o mais importante componente dos ambientes terrestres, naturais ou com diferentes níveis de antropização, além de ser o principal substrato utilizado pelas plantas para obtenção de condições edáficas para seu desenvolvimento. Nesse contexto, tem-se a necessidade de adotar sistemas de uso e manejos sustentáveis da terra. O estudo teve como objetivo avaliar qual é sistema de restauração florestal de áreas degradada mais eficiente, com base no potencial de recuperação dos atributos físicos, químicos, carbono e atividade biológica no solo. O trabalho foi conduzido em uma área de restauração florestal na UTFPR-Câmpus dois vizinhos, cujo experimento foi implantado em outubro de 2010. O delineamento experimental é inteiramente casualizado, com quatro repetições e parcela experimental de 40 m de largura por 54 m de comprimento (2160 m²) e foram coletados seis pontos amostrais por parcela. O solo é classificado como um Latossolo Vermelho. Os modelos avaliados são: 1 - Regeneração natural ou passiva; 2 - Nucleação; 3 - Plantio de árvores em área total sob linhas de preenchimento e diversidade (Plantio total); 4 – área de Referência (floresta). A coleta das amostras de solo nas camadas de 0,0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m foi realizada em outubro de 2013 e avaliados os atributos físicos de textura, densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo e estabilidade de agregados em água, atributos químicos, além de carbono orgânico total do solo (COT) e fracionamento físico granulométrico e atividade biológica do solo. Para encontrar o melhor modelo de restauração florestal, foi elaborado um Índice Ponderado de Qualidade de Restauração para cada variável analisada. A regeneração natural e o Plantio total apresentaram de modo geral a melhor agregação do solo acima de 0,10 m e a nucleação volume de porosidade similar a floresta para essas camadas. Não ocorreram diferenças entre os modelos abaixo de 0,10 m para as variáveis de agregação e porosidade do solo. O modelo nucleação apresentou a menor densidade do solo, mas sendo superior a densidade da floresta na camada 0,05-0,10 m, no entanto, foi similar abaixo de 0,10 m do solo. Os modelos apresentaram atributos químicos similar ou maior que a floresta. A floresta apresentou o maior estoque de COT e carbono associado aos minerais (CAM), mas, a regeneração natural foi similar para o carbono orgânico particulado (COP) nas camadas superficiais do solo (0-0,10 m), abaixo dos 0,10 m, a floresta apresentou maior estoque de COT e COP no solo. O maior pico de emissões de C-CO₂ ocorreu no intervalo de 28-35 dias onde o Plantio total foi similar a floresta. Após quatro anos de experimento, verificou-se que o efeito dos modelos de restauração florestal nos atributos físicos e carbono do solo se restringem até 0,10 m de profundidade.

Palavras-chave: Carbono. Fertilidade. Nucleação. Regeneração. Plantio total.

ABSTRACT

BALIN, Nilson Marcos. Attributes areas of soil degraded under restoration of forestry models. 103 f. Project Dissertation (MSc in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Area of Concentration: Vegetable Production), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

The replacement of native vegetation by other land uses is one of the main degrading ecosystem agents, being the most important component of terrestrial environments, natural or with different levels of human disturbance, besides being the main substrate used by plants to obtain conditions soil for its development. In this context, there is the need to adopt the use and sustainable management of land systems. The study aimed to evaluate what is forest restoration system more efficient degraded areas, based on the potential recovery of physical, chemical, carbon and biological activity in the soil. The work was conducted in a forest restoration area UTFPR- Campus two neighbors, whose experiment was established in October 2010. The experimental design is completely randomized, with four replications and experimental plot of 40 m wide by 54 m long (2160 m²) were collected and six sampling points per plot. The soil is classified as a Typic. The models evaluated are: 1 - natural or passive regeneration; 2 - Nucleation; 3 - Planting trees in the total area under lines fill and diversity (total planting); 4 - Reference area (forest). The collection of soil samples in layers of 0.0-0.05, 0.05-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.40 m was carried out in October 2013 and evaluated physical attributes of texture, bulk density, total porosity, microporosity and soil macroporosity and stability of water in households, chemical properties, and total organic carbon (TOC) and physical particle size fractionation and soil biological activity. To find the best forest restoration model, we designed a Restoration Quality Weighted Index for each variable analyzed. Natural regeneration and total plantation showed generally better soil aggregation over 0.10 m and nucleation volume of similar porosity the forest for these layers. There were no differences between the models below 0.10 m for the variables aggregation and soil porosity. The nucleation template had the lowest bulk density, but being greater than the density in the layer forest 0.05-0.10 m, however, was similar to below 0.10 m above the ground. The models had chemical properties similar to or greater than the forest. The forest had the highest stock of COT and carbon associated with minerals (CAM), but natural regeneration was similar to the particulate organic carbon (POC) in the superficial layers of the soil (0-0.10 m), below 0, 10 m, the forest showed higher stock of COT and COP on the ground. The highest peak of C-CO₂ emissions occurred in the 28-35 day range where the total plantation was similar to forest. After four years of experiments, it was found that the effect of restoration methods on physical attributes and soil carbon restricted to 0.10 m deep.

Keywords: Carbon. Fertility. Nucleation. Regeneration. Total planting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Disposição espacial dos modelos dentro da área de restauração florestal e dos blocos na área de floresta ombrófila mista em transição com floresta estacional semidecidual em estágio médio de regeneração. UTFPR, Pato Branco -PR, 2015..34

Figura 2- Amostra de solo em anel volumétrico para determinação de porosidade e densidade. UTFPR, Pato Branco -PR, 2015.....39

Figura 3- Teor de carbono orgânico total (COT) de carbono orgânico particulado (COP) em g kg^{-1} de solo. Para as camadas de solo 0,0-0,05 m (A), 0,05-0,10 m (B), 0,10-0,20 m (C) e 0,20-0,40 m (D). Onde: letras minúsculas comparam o teor de COT e letras maiúsculas comparam o teor de COP no solo, pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. * tratamento referência. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015. 43

Figura 4 - Diâmetro médio ponderado (DMP) para agregados do solo na camada 0,0-0,05 m (A), 0,05-0,10 m (B), 0,10-0,20 m (C) e 0,20-0,40 m (D). Onde: Letras minúsculas comparam pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. * tratamento referência. UTFPR, Pato Branco -PR, 2015.....52

Figura 5- Evolução de C-CO₂ do solo (em dias pós-incubação) nos modelos de restauração florestal e * tratamento referência. UTFPR, Pato Branco -PR, 2015.....78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classe granulométrica do solo nos modelos de restauração ecológica e na floresta. UTFPR, Pato Branco -PR, 2015.....	31
Tabela 2- Caracterização físico química do solo realizada em 2010, antecipando a implantação dos modelos de restauração florestal na área a ser recuperada.	32
Tabela 3- Estoque de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) carbono orgânico associado aos minerais (CAM) e relação de COP no COT em uma área submetida a modelos de restauração florestal. Campus Pato Branco-PR, 2015.	45
Tabela 4- Macroagregados >0,25mm (Ma), microagregados <0,25mm(Mi) e percentual de agregados > que 2 mm em uma área submetida a modelos de restauração florestal. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2015.	54
Tabela 5- Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) em uma área submetida a modelos de restauração floresta. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2015.	57
Tabela 6- Nitrogênio total (NT) e relação Carbono/Nitrogênio no solo em uma área submetida a modelos de restauração florestal.UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2015.	61
Tabela 7- Parâmetros de acidez do solo: acidez ativa (pH-H ₂ O), acidez potencial (H+Al) e alumínio trocável (Al ³⁺), em uma área submetida a modelos de restauração florestal. Campus Pato Branco-PR, 2015.....	63
Tabela 8- Atributos químicos do solo em uma área submetida a modelos de restauração florestal. Campus Pato Branco-PR, 2015.....	67
Tabela 9- Soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação da CTC por bases (V%) em uma área submetida a modelos de restauração florestal. Campus Pato Branco-PR, 2015.	71
Tabela 10- Emissão de C-CO ₂ durante período de incubação (em intervalo de dias) nos modelos de restauração florestal e na floresta. UTFPR. Pato Branco, 2015.....	75
Tabela 11- Índice Ponderado de Qualidade de Restauração nos modelos de restauração florestal e na floresta. UTFPR. Pato Branco, 2015.....	79

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

APP	Área de preservação permanente
C	Carbono
CAM	Carbono associado aos minerais
C-CO ₂	Dióxido de carbono
CFL	Carbono da fração leve
Cmic	Carbono da biomassa microbiana
COP	Carbono orgânico particulado
COT	Carbono orgânico total
CTA	Capacidade de troca de aníons
CTC	Capacidade de troca de cátions
DMG	Diâmetro médio geométrico
DMP	Diâmetro médio ponderado
DS	Densidade
IEA	Índice de estabilidade de agregados
MA	Macroporosidade
MI	Microporosidade
MOS	Matéria orgânica do solo
PC	Plantio convencional
PD	Plantio direto
PR	Paraná
PT	Porosidade total
RL	Reserva legal
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VPT	Volume de porosidade total

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 GERAL	15
2.2 ESPECÍFICOS	15
3 REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 DEGRADAÇÃO DO ECOSISTEMAS FLORESTAIS E DO SOLO	16
3.2 RESTAURAÇÃO DE ECOSISTEMAS FLORESTAIS	18
3.3 MODELOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL DE ÁREAS DEGRADADAS	19
3.4 CARBONO	20
3.4.1 Fracionamento Físico Granulométrico	24
3.5 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	24
3.6 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	27
3.7 ATIVIDADE BIOLÓGICA	29
4 MATERIAL E MÉTODOS	31
4.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	31
4.2 AMOSTRAGEM E PROCESSAMENTO DO SOLO	35
4.3 ANÁLISES LABORATORIAIS	35
4.3.1 Teor De Carbono	35
4.3.2 Fracionamento Físico Granulométrico	36
4.3.3 Agregados	36
4.3.4 Densidade e Porosidade do Solo	37
4.3.5 Textura do Solo	39
4.3.6 Análises Químicas	40
4.3.7 Análise Biológica	40
4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
5.1 CARBONO ORGÂNICO DO SOLO	42
5.2 PARÂMETROS FÍSICOS	51
5.2.1 Agregados	51
5.2.2 Densidade e Porosidade do solo	56
5.3 PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO	60
5.3.1 Nitrogênio total e relação C/N	60
5.3.2 Acidez Ativa (pH-H ₂ O), Acidez Potencial (H+Al) e Alumínio Trocável (Al ³⁺)	63

5.3.3 Atributos Químicos (P, K, Ca, Mg, SB, CTC e V%).....	64
5.4 AVALIAÇÃO BIOLÓGICA DO SOLO.....	73
5.5 ÍNDICE PONDERADO DE QUALIDADE DE RESTAURAÇÃO.....	79
6 CONCLUSÕES.....	81
7 REFERÊNCIAS.....	82

1 INTRODUÇÃO

A substituição da vegetação nativa por outros usos do solo é o principal agente de degradação dos ecossistemas florestais e de todos seus recursos, especialmente na região de mata atlântica que tem menos de 7% de floresta remanescente. A supressão da floresta muitas vezes ocorre de forma ilícita e sem plano de manejo da área, onde o resultado é aumento significativo de paisagens degradadas, que não promovem benefícios positivos para a sociedade, pelo contrário, contribui para o aumento do desequilíbrio ambiental, social e econômico em decorrência de se tornarem áreas improdutivas.

As intervenções antrópicas são responsáveis pelas grandes alterações nos ecossistemas naturais, através das práticas de monoculturas, pastagens mal manejadas e a agricultura mecanizada intensiva, fatores que intensificam a degradação dos solos no Brasil (SILVA et al., 2011). Em nível nacional, mais de 140 milhões de ha estão em processos de degradação ou muito susceptíveis a se tornarem degradadas, sendo 16,5% do território nacional, dessa forma, impactando diretamente no desenvolvimento do país, e de milhões de brasileiros (MMA, 2012).

A degradação do solo é resultado do mau uso e manejo do solo, o que incide numa baixa produtividade da área, apresentando como consequência o aumento da pobreza. Existe uma alta correlação entre áreas degradadas e pobreza, sendo que 40% dos solos degradados do mundo estão em regiões com alto índice de pobreza. Dessa forma, o ranking dos países com população rural afetada com a degradação dos solos apresenta a China em primeiro lugar com 457 milhões de pessoas, em segundo a Índia com 177 milhões de pessoas, terceiro Indonésia com 86 milhões, Bangladesh em quarto com 72 milhões e em quinto lugar está o Brasil com 46 milhões de pessoas afetadas pelos efeitos das áreas degradadas (FAO, 2013).

Os modelos de restauração convencional de áreas degradadas são os que consistem nos plantios de espécies arbóreas em linhas sob área total. Esses métodos apresentam bosque desenvolvido em volume de madeira, entretanto, baixa diversidade de espécies vegetais, bem como, formas de vida e regeneração (SOUZA & BATISTA, 2004). Todos os modelos buscam a restauração ecológica da área, mas o processo de regeneração da paisagem acima do solo depende inicialmente da recuperação do sistema solo e de seus atributos e do carbono (C). Nesse contexto, a

matéria orgânica do solo (MOS) é fonte de adição de C no solo que é considerado o principal reservatório temporário desse elemento em um ecossistema. Entretanto, o C é um componente dinâmico e extremamente sensível ao sistema de manejo aplicado ao solo. Ele encontra-se estável no solo quando as condições para sua conservação são adequadas, como a vegetação natural. Porém, após a perda do equilíbrio natural do sistema pela introdução de sistemas de cultivos e preparo do solo, geralmente ocorre uma redução no teor de C, resultado das novas taxas de adição e de perda desse elemento no solo.

Já a qualidade física do solo está relacionada com processos de infiltração, retenção e disponibilidade de água para as culturas, trocas gasosas e o bom desenvolvimento radicular das plantas, que são os responsáveis pela resiliência aos processos de degradação do solo. As propriedades físicas do solo são fundamentais para o desenvolvimento das culturas, sendo sensíveis e influenciadas quanto às mudanças no sistema de manejo (FERREIRA et al., 2010; CUNHA et al., 2012).

As alterações na composição vegetal de ecossistemas naturais são atribuídas a fatores como exploração agrícola, pecuária ou florestas plantadas, e podem trazer consequências não só em relação à biodiversidade, mas também, a deterioração do solo, comprometendo a sua conservação, sendo que essas alterações inevitavelmente ocasionam perda de fertilidade e conseqüentemente a capacidade produtiva (CHAVES et al., 2012).

A perda da fertilidade do solo compromete o desenvolvimento vegetal, porém, essa perda pode ser suprimida pela adição de fertilizantes minerais ou através do processo de mineralização da MOS. Desse modo, os atributos biológicos do solo têm grande importância, pois, a atividade da microbiota do solo é responsável pela decomposição dos compostos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia do solo.

Nesse contexto, vários modelos de restauração florestal existem, todas com o intuito de promover a restauração parcial ou total da área, promovendo a sucessão ecológica, entre eles o plantio de mudas em área total, condução de regeneração natural ou restauração passiva e modelos mais complexos e dinâmicos que se assemelham com a floresta como a nucleação, salientando que cada modelo, visa situações e condições diferenciadas de recuperação.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar modelos de restauração florestal em áreas degradadas, com ênfase no efeito sobre o carbono, atributos físicos, químicos e microbiológico do solo.

2.2 ESPECÍFICOS

- Determinar o melhor modelo de restauração de áreas degradadas, comparativamente com um ecossistema natural (floresta);
- Determinar o estoque e teores de carbono do solo e a sua compartimentalização.
- Avaliar os atributos físicos do solo [Diâmetro médio ponderado (DMP), macroagregados, microagregados e agregados >2 mm; porosidade total, macroporosidade e microporosidade; densidade e textura].
- Avaliar os atributos químicos do solo;
- Determinar a respiração microbiana no solo;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 DEGRADAÇÃO DO ECOSISTEMAS FLORESTAIS E DO SOLO

Uma área é conceituada como degradada quando perdeu a capacidade de se regenerar de maneira rápida e sem que haja intervenções humanas (VIEIRA, 2004). As causas da degradação podem estar relacionadas à perda ou retiradas do solo, uso do solo, fogo, supressão da vegetação, invasão biológica e isolamento das áreas em decorrência da fragmentação florestal, e quanto maior for à degradação, aumenta a dificuldade de sucessão natural (BECHARA, 2006).

A qualidade do solo influencia diretamente nas diferentes formações vegetais, pois, o solo consiste em um importante componente dos ambientes terrestres, sejam eles naturais ou com diferentes níveis de antropização, além de ser o principal substrato utilizado pelas plantas para o desenvolvimento, pelo fornecimento de água, nutrientes e ar, também atuando no armazenamento e infiltração de água (RODRIGUES et al., 2010).

As alterações na composição vegetal de ecossistemas naturais são atribuídas a fatores como exploração agrícola, pecuária ou florestas plantadas, e podem trazer consequências não só em relação à biodiversidade, mas também, a deterioração do solo, comprometendo a sua conservação, sendo que essas alterações inevitavelmente ocasionam perda de fertilidade e conseqüentemente a capacidade produtiva (CHAVES et al., 2012).

Segundo Lal (1999), o solo pode estar passando por um processo de degradação, sem que apresente sintomas visuais como a perda por processos erosivos, mas, ocorrendo perda da fertilidade e redução da atividade biológica. Afirma ainda que os processos de degradação do solo podem ser divididos em químicos, biológicos e físicos, onde a degradação química inicia-se pela perda de fertilidade natural, acidificação, lixiviação, salinização, redução de CTC e aumento de CTA. A degradação biológica consiste basicamente da redução da atividade biológica, pela falta de condições mínimas para manutenção da biologia do solo, e por fim, a degradação física atua principalmente através dos processos de erosão, atrelado a desestruturação dos agregados, compactação, redução de porosidade, ela tende de ser a mais resiliente nos solos com alto teor de argila.

As formas de manejo do solo influenciam os processos de degradação e recuperação do solo, sendo que a taxa com que esses fatores agem, está relacionado com a estrutura do solo. Portanto, os processos de recuperação e conservação do solo são afetados diretamente pelo tipo de manejo empregado ao longo do tempo de uso, juntamente com o tipo de solo (REINERT, 1998).

As ações antrópicas, especialmente as formas de manejo e uso do solo, são as grandes responsáveis pelas alterações nos atributos do solo, bem como, as práticas agropecuárias promovem uma redução da biodiversidade da fauna do solo. Para Andreola (1996), solos em sistemas naturais apresentam atributos e condições agronômicas desejáveis, considerados como sistemas sustentáveis. A partir do momento em que se faz o manejo e altera o uso do solo, esse sistema vai sofrendo alterações nos atributos, sendo que, quanto mais intensivo for o cultivo e com manejo inadequado, maiores serão as alterações negativas.

A degradação do solo pode resultar também na queda dos níveis de fertilidade, principalmente pela redução nos teores e na qualidade da MOS e pela redução nos teores dos macros e micronutrientes, sendo essa perda altamente relacionada a processos erosivos, decorrência do mau uso e manejo do solo (GONÇALVES et al., 2003).

A substituição de ecossistemas naturais por áreas cultivadas segue uma grande crescente nos últimos tempos, em decorrência do avanço das fronteiras agrícolas. Esse avanço que ocorre de forma inadequada acaba promovendo muitas alterações no solo e na MOS. Nesse contexto, o carbono da biomassa microbiana (C_{mic}) e o carbono da fração leve (CFL) são os mais sensíveis quanto às alterações dos diferentes sistemas de manejos (RANGEL & SILVA., 2007).

O uso e manejo empregado no solo são fatores que reflete na conservação e manutenção da sua capacidade produtiva, e mais, definem se o solo sofrera algum tipo de degradação. De acordo com Effgen (2008), a destruição da cobertura vegetal causada pelo manejo incorreto e pela exploração desordenada, intensifica os processos erosivos, promove a perda da fertilidade e posteriormente acaba por ocorrer o abandono dessa área pelos produtores, visto que a mesma perde sua capacidade produtiva.

O sistema plantio convencional (PC) é um dos grandes responsáveis pela degradação dos solos brasileiros ao longo do tempo, pois são tradicionalmente conhecidos pelo grande ciclo de preparo e mobilização de solos, práticas essas que

apresentam como consequência, uma grande redução da MOS e aumento dos processos erosivos (LEITE et al., 2010; TEIXEIRA et al., 2010).

Para reduzir os processos degradativos dos solos, passou-se a adotar práticas conservacionistas, que apresentam como pressupostos, a redução da mobilização do solo, manutenção dos resíduos, proteção física da MOS em agregados e uso de técnicas de consorciação de culturas que contribui para a redução de processos erosão e conservação da água no solo (ZOTARELLI et al., 2012). Essas práticas, contribui para o incremento de COT (CONCEIÇÃO et al., 2008), pois, fornece proteção física para o solo aos fenômenos climáticos (MIELNICZUK, 1988). Desse modo, o plantio direto (PD), surgiu como uma importante ferramenta de conservação e manutenção do solo, quando respeitadas todas as suas premissas (DENARDIN et al., 2001).

Nos sistemas agrícolas a redução do estoque de MOS é acelerada pelo maior nível de revolvimento do solo, que favorece a decomposição da MOS, em decorrência do rompimento dos agregados e maior exposição do solo aos agentes climáticos, no entanto, os sistemas com premissas mais conservacionistas tendem a aumentar os teores de MOS (CONCEIÇÃO, 2006).

3.2 RESTAURAÇÃO DE ECOSISTEMAS FLORESTAIS

Restauração de ecossistemas significa dar início a um processo de sucessão, com a maior semelhança possível ao que ocorre nos processos naturais (REIS et al. 2003; BECHARA, 2006). Nesse contexto, torna-se importante conhecer alguns conceitos como resiliência que tem como definição simples, a capacidade que um ecossistema possui de se recuperar de perturbações interna naturais ou de ordem antrópica. Ecossistema perturbado é aquele ambiente que após sofrer perturbações, consegue regenerar-se naturalmente. Área degradada é aquela que após sofrer um impacto, perdeu a capacidade de retornar naturalmente ao seu estado de origem, e não consegue atingir um equilíbrio dinâmico, ou seja, perdeu sua resiliência (MARTINS, 2010).

A restauração ecológica deve incluir metas a serem alcançadas no longo prazo, baseadas na recriação de um ecossistema auto-sustentável, estável e resiliente (ENGEL & PARROTA, 2003). Seu objetivo é ampliar as possibilidades da sucessão natural de se expressar, criando condições para uma biodiversidade

elevada e com estrutura mais próxima possível das comunidades naturais. Segundo Rodrigues e Gandolfi (2001), diferentes práticas podem ser adotadas para a execução de um projeto de recuperação de áreas degradadas, tais como: isolamento da área, eliminação seletiva de espécies invasoras, adensamento de espécies, retirada dos fatores de degradação, indução da regeneração natural, implantação de espécies pioneiras atrativas a fauna e implantação de consórcio de espécies.

3.3 MODELOS DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL DE ÁREAS DEGRADADAS

O modelo de regeneração natural é um processo no qual as florestas tem a capacidade de se recuperarem de distúrbios naturais ou antrópicos e consiste na condução das diferentes formas de vida capazes de nascerem e reproduzirem naquele ambiente degradado, e por ser o modelo mais barato, comumente é mais utilizado. Entretanto, a sua resposta enquanto restauração daquele ecossistema é muito dependente da matriz vegetacional, e de maneira geral, é um processo mais lento (MARTINS, 2010). Segundo Rodrigues (1999), a capacidade de regeneração das espécies em um determinado sítio é variável no espaço e no tempo, podendo ocorrer a restauração parcial ou total da vegetação.

Outro modelo de restauração florestal é a nucleação, que se caracteriza por um conjunto de técnicas que tem como premissas, levar núcleos de diversidade para a área degradada e são modelos que visam a semelhança com a natureza. É indicada para grandes extensões de áreas com o intuito de reduzir custo de implantação e manutenção da composição florística, atuando como núcleo de expansão da vegetação, estrutura de comunidades, núcleos de diversidades e banco de sementes do solo (REIS et.al., 2003; BECHARA et. al. 2005; MARTINS et al., 2008). Dessa forma, também mostra a complexidade e capacidade do modelo, onde uma espécie tem a função promover melhorias e atrair novas espécies para a área, assim, tornando um sistema com maior biodiversidade e dinâmico para sustentabilidade (YARRANTON & MORRISON, 1974). Para Reis et al. (2010), o modelo de nucleação é um princípio sucessional na colonização de áreas em formação.

Essas são algumas técnicas que podem estar contidas na nucleação: poleiros naturais e artificiais, abrigos, plantio de mudas, transposição do banco de sementes do solo, chuva de sementes, grupo de Anderson entre outras, todas têm

como principal objetivo, aumentar a biodiversidade, acelera o processo de sucessão ecológica, atrair vida biológica e contribuir para proliferação das espécies dentro da área (BECHARA et. al., 2005; MARTINS, 2010). Dessa forma, o ecossistema pode se recuperar dentro das condições da paisagem trabalhada (VIEIRA, 2004).

Um dos fatores mais relevantes na nucleação em relação aos demais modelos é a inclusão de grande biodiversidade na área, permitindo o processo de sucessão natural assemelhar a ambientes equilibrados ou/e com alto nível de conservação. Outro fator que gera grande diferencial nesse modelo, está relacionado com o custo de implantação e manutenção, que custa cerca de 30% mais barato em relação ao plantio de árvores em área total (BECHARA, 2006). A nucleação também envolve princípios de facilitação, prepara condições ideais para a sucessão (TRES et al., 2006; MIRANDA NETO et al., 2010; RODRIGUES et al., 2010).

Outro modelo indicado é o plantio em linhas com espécies de preenchimento e de diversidade (RODRIGUES et al., 2010). As espécies de preenchimento têm como objetivo, fornecerem condições favoráveis para o desenvolvimento das espécies de diversidade. Fornecem sombra, umidade e nutrientes para as plantas superiores que são mais exigentes do ecossistema. Entretanto, esse modelo tem custo mais elevado em função de ser em área total e apresentar maior demanda de práticas de manutenção (REIS et al., 2003)

3.4 CARBONO

O C é encontrado no solo na forma mineral e orgânica, sendo o principal componente da MOS. Dessa forma, apresenta relação direta com os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (BAYER & MIELNICZUK, 2008). A formação e retenção do C no solo ocorre basicamente por fatores ambientais externos ao solo, como clima, topografia, quantidade e qualidade dos resíduos das plantas, além de fatores internos, como índices de agregação do solo, textura e mineralogia do solo (RESCK et al., 2008).

Grande parte do C existente no planeta encontra-se no solo e nas florestas que são os grandes reservatórios temporários de C no ecossistema terrestre, tendo maior estoque que a própria atmosfera (DIXON et al., 1994). O C do solo é um dos atributos mais sensíveis e influenciados quanto às alterações no sistema de uso e manejo do solo, sendo muito usado como indicador de qualidade do solo (SANTOS,

2012). O mesmo atua de forma direta na formação e estabilidade de agregados, ciclagem de nutrientes, CTC, densidade e porosidade do solo. (RANGEL & SILVA, 2007; BAYER & MIELNICZUK, 2008).

A proporção de C encontrada na massa da MOS varia entre 48 e 58% (NELSON e SOMMERS, 1982), sendo liberado no processo de decomposição da MOS, onde basicamente ocorre uma redução das moléculas maiores em estrutura pequenas e mais simples, através da despolimerização e oxidação. Nesse processo de mineralização o C é convertido para forma mineral de CO₂ (SOLLINS et al., 1996).

A MOS é um dos principais indicadores de qualidade do solo, visto que atua como fonte de nutrientes, aumenta a retenção de cátions, complexação de metais, além ser, fonte de C e energia aos microrganismos do solo, contribuindo para a infiltração e retenção de água no solo, funcionando como componente básico na manutenção da sustentabilidade dos solos (MIELNICZUK, 2008; VEZZANI & MIELNICZUK, 2009). Desse modo, Braida et al. (2011), destaca que a MOS tem influência direta na física do solo, em função da grande área superficial específica e indireta pela interferência no comportamento físico pelos efeitos na agregação, consistência do solo, poros e sua estabilidade.

O conteúdo e a composição da MOS são resultado de fatores tais como: o tipo de vegetação, topografia, clima e o tempo, sendo que o acúmulo ou a redução passam pela atuação da atividade biológica, que por sua vez, é influenciada por alterações edafoclimáticas (KIEHL, 1979). Esses fatores influenciam o acúmulo de húmus no solo, pois, alteram o equilíbrio entre os processos de mineralização e humificação da MOS. A humificação da MOS resulta na formação de húmus, que apresenta uma coloração mais escura e corresponde 50 a 80% da MOS, com uma relação C/N, cerca de 10/1, e o processo de mineralização a transformação da MOS em nutrientes minerais (KIEHL, 1979).

A MOS é originária do acúmulo de resíduos de plantas e animais deixados em superfície do solo, que vão sendo incorporada ao longo do tempo, pelos microrganismos ou práticas de manejos. A MOS tem caráter transitório e contínuo em função do processo de decomposição e adição de novos resíduos pelas plantas e animais (Vargas & Hungria, 1997), tem influência direta e indireta em todos os atributos do solo, de modo, que sua redução está associada à degradação dos solos (WENDLING et al., 2012).

A MOS é uma importante fonte de N, sendo que, no seu processo de decomposição pelos microrganismos, o solo recebe dois elementos, o N e C dos quais, não contem na sua composição de material de origem (LUCHESE et al., 2002 apud SANTOS, 2007). O mesmo autor destaca, que a relação C/N no solo é um indicador do estado de humificação da MOS.

A redução da MOS no solo promove uma redução nas concentrações de C e nitrogênio total (NT) no solo (LOSS et al., 2013). Isso ocorre devido uso de práticas de manejo inadequadas e retirada cobertura florestal, resultando em grandes perdas de C, transformando o solo em fonte de C para atmosfera, deixando de ser dreno (DENARDIN et al.,2014). Os mesmos destacam o maior equilíbrio que existe em sistemas florestais, mantendo a MOS mais estável no solo. Por outro lado, as perdas de N, resultam no baixo metabolismo das plantas, refletindo no desenvolvimento e produtividade das espécies (VIEIRA et al.,2014).

A conversão de ecossistemas naturais em sistemas cultivados alteram as condições de taxa de adição e decomposição da MOS, sendo encontrada a maior taxa de decomposição em sistemas onde ocorreram perturbações físicas, especialmente o rompimento dos macroagregados do solo, pois de acordo com Alvarenga et al.(1999) a substituição de uma floresta por outro sistema, seja ele qual for, cultivo perene, convencional ou semeadura direta, promove uma redução no estoque de C do solo por retirar a proteção física da MOS e expor para o ataque dos microrganismos do solo (ZINN et.al., 2005). No entanto, quanto maior a diversidade e abundância da fauna edáfica, maior será a contribuição para aumento da fertilidade do solo, pois agem no processo de decomposição dos resíduos orgânicos e ciclagem de nutrientes, proporcionando melhorias nos processos de aeração e infiltração de água, facilitando assim o desenvolvimento radicular (BARETTA et al., 2011).

A MOS é componente originado de diferentes materiais orgânicos, onde durante o processo de decomposição sofre muitas transformações químicas e físicas, tendendo a se ligar com partículas minerais, formando agregados estáveis. Essa associação dará proteção física para a MOS, sendo que o nível de proteção dependerá do tipo de manejo (KEMPER & ROSENAU, 1986).

Essencialmente a manutenção e ou acúmulo da MOS é resultado de três mecanismos básicos de proteção: recalcitrância molecular, proteção física e proteção coloidal (CHRISTENSEN, 1996). A recalcitrância molecular consiste em uma resistência própria da molécula em relação à ação microbiana. Os compostos mais

relevantes quanto à proteção são os derivados de ligninas ou compostos humificados, por apresentarem uma forte energia de ligação no seu anel e relação às cadeias alifáticas de carboidratos. A proteção física consiste basicamente em uma barreira física por oclusão em agregados, o que dificulta a ação dos micro-organismos e de suas enzimas (BALDOCK et al., 1992).

Outra forma importante de proteção é a coloidal, aonde mesmo os organismos tendo a possibilidade entrar em contato com o substrato orgânico, tem dificuldades de remover do lugar no qual está presente (CHRISTENSEN, 1996).

A MOS é fundamental para a fertilidade do solo, Portanto, o conhecimento sobre a fertilidade influencia no manejo adequado, pois a MOS se destaca com uma das principais fontes de nutrição para as plantas (BONINI., 2010). De acordo com Portugal et al. (2010), a MOS tem uma tendência em reduzir o seu teor com o aumento da profundidade, em decorrência de MOS concentrar mais nas camadas superficiais do solo.

Com o aumento da profundidade, as formas de uso e manejo do solo tendem a reduzir o efeito, bem como, os atributos do solo também tendem a reduzir, como agregação e C. Nesse caso, em maiores profundidades, o C fica mais influenciado pela taxa de entrada no sistema, que pelo próprio manejo do solo (CAMPOS et al., 2011).

Em estudos realizado por Rozane et al. (2010) comparando diferentes uso e manejos do solo, sendo os três sistemas (mata, pastagem com 'capim Tanzânia' (*Panicum maximum cv*) e milho (*Zea mays*) em um Latossolo vermelho, constatou que não houve diferenças entre os tratamentos para C. Entretanto, o maior acúmulo de C foi encontrado nas camadas superficiais do solo.

O processo degradativo de uma área promove grandes alterações nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, mas a perda da MOS é que mais sofre influência, dificultando o processo sucessional (Reis et al., 2003b), pois é fonte de C, energia e nutrientes para os microrganismos do solo (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

A MOS é de fundamental importância para as avaliações de áreas degradadas. De acordo com Conceição et al. (2005), a MOS do solo é um indicador de qualidade, pois influencia diretamente os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Entretanto, quantificar somente os estoques de C total ou de suas frações, ou seja, somente o atributo MOS isoladamente não fornece valores extrapoláveis para diferentes situações de manejo, locais, climas e solos (NICOLOSO et al., 2008). Desta

maneira, para uma avaliação apresentar dados mais precisos nas análises químicas do solo de uma área deve-se ter base na maior quantidade possível de indicadores, recomendando-se, entre eles, a MOS (MELLONI et al., 2008).

3.4.1 Fracionamento Físico Granulométrico

Segundo Cambardella e Elliott (1992), a MOS é separada em duas frações básicas pelo fracionamento físico granulométrico: carbono orgânico particulado (COP) e o carbono orgânico associado aos minerais (CAM). O COP sendo o material presente na fração areia ($> 53 \mu\text{m}$), composto por materiais que ainda apresentam tecidos intactos, tais como, resíduos de plantas e hifas de fungos. Por outro lado, as partículas correspondentes ao CAM são associadas às frações silte e argila ($<53 \mu\text{m}$) e apresentam formas de proteção que possibilitam um longo tempo de ciclagem no solo.

O carbono orgânico particulado (COP) é formado ou constituído de restos vegetais, além de resíduos da microbiota e microfauna, em estágios iniciais de decomposição, muitas vezes podendo ser visto a olho nu (MOLLOY e SPEIR, 1977).

O CAM é formado por materiais orgânicos em estágios avançado de decomposição e permanece fortemente ligada aos minerais (CHRISTENSEN, 1992). Esse autor também define que essa fração é a mais estável, portanto sendo caracterizada como baixa taxa de ciclagem, sendo assim, contribuindo para o maior acúmulo de C no solo.

O fracionamento da MOS solo pode ser usado como um bom indicador de alterações de manejos do solo, bem como, a própria qualidade ambiental, pois os diferentes tipos de manejos empregados alteram as concentrações de C no solo, assim como, a labilidade da MOS. Essa maior labilidade tende a estar associada com o maior aporte de material vegetal (FIGUEIREDO et al., 2010; SALTON et al., 2011).

3.5 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

A qualidade física do solo é um fator que tem ligação direta com processos hídricos como infiltração, retenção e disponibilização de água para as culturas, possibilita a ocorrência das trocas gasosas entre atmosfera e plantas, permitindo o desenvolvimento e crescimentos das raízes. A qualidade física do solo é

influenciada pelo tipo de manejo do solo, sendo que o aumento da qualidade do solo confere uma maior resiliência aos processos de degradação do solo (FERREIRA et al.,2010).

A estrutura do solo é uma das propriedades mais importantes, consiste no arranjo de partículas de solo com espaço poroso e são variáveis quanto ao tamanho e forma de agregados, formando partículas primárias não estáveis (FERREIRA, 2010). Os agregados são componentes da estrutura do solo, determinantes nos processos de manutenção da porosidade, aeração e infiltração de água no solo, mecanismos que ajudam a fornecer uma estabilidade e contribui para redução de processos erosivos (OADES, 1984).

Nesse contexto, as práticas de manejos promovem alterações na sua estabilidade (ARAÚJO et al., 2010), onde, as técnicas de manejo com maior mobilização e exposição do solo para fenômenos climáticos, juntamente com processos de umedecimento e secagem, que resultam na redução de agentes cimentantes, especialmente a MOS, promovendo redução na estabilidade de agregados (VASCONCELOS et al., 2010).

De acordo com Reinert et al. (1984) o incremento da MOS promove o aumento do processo de agregação do solo, bem como, influencia no tamanho e forma de agregados no solo (CASTRO FILHO et al.,1998). Estudos realizados por Vezzani & Mielniczuk (2011), revelam que as práticas de cultivos agrícolas com uso intensivo do solo, acrescentado de uma baixa taxa de adição de resíduos, influenciam negativamente o percentual de agregados, quando equiparados a áreas vegetação nativas. Desse modo, o manejo influencia na estabilidade de agregados do solo e na sua distribuição no perfil do solo, influenciando na produtividade vegetal, pois (ROZANE et al., 2010).

Um fator importante para a formação de agregados, bem como, a sua estabilidade é a densidade de raízes, pois sistemas que apresentam baixas densidades de raízes ou sistema radicular pouco agressivo reduzirão a formação e estabilidade de agregados (SILVA et al., 2011e VEZZANI & MIELNICZUK, 2011).

Segundo Andrade et al. (2009), o uso de culturas de cobertura, especialmente as gramíneas, favorecem a formação e aumento do tamanho de agregados nas camadas superficiais do solo. Assim como, o uso de práticas de manejo que visem à menor mobilização do solo é primordial para que se tenha uma maior estabilidade de agregados. Sendo indicado como melhor sistema a mata nativa,

PD, e sendo o sistema que mais reduz a agregação do solo é o PC pela desestruturação mecânica do solo (PORTELLA et al., 2012).

O aumento da qualidade do solo promove um aumento da produção de fitomassa aérea e radicular, portanto, tem a capacidade de realimentar o sistema, através de ciclagem, aumentando a MO e formação de agregados do solo (VEZZANI, 2001). Das práticas de manejos, possivelmente o preparo do solo é o que mais influência na física do solo, em decorrência de atuar diretamente na estrutura do solo (OLIVEIRA et al., 2003).

Para determinação do tamanho e estado dos agregados no solo, geralmente são usados índices como diâmetro médio ponderado (DMP), que está relacionado diretamente com o percentual de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores (>2mm). O diâmetro médio geométrico (DMG) representa uma estimativa do tamanho das classes de agregados grandes e sua maior ocorrência, sendo um parâmetro indicativo de qualidade de solo (CASTRO FILHO et al., 1998).

Quando um sistema de uso ou manejo promove alteração nos espaços porosos do solo, isso resulta em alteração na densidade, que representa como está a estrutura do solo. A densidade é um importante indicador de compactação do solo, onde os solos argilosos apresentam valores de 0,9 a 1,7 g cm⁻³ e podendo apresentar alguma restrição ao desenvolvimento radicular das plantas em uma faixa acima de 1,45 g cm⁻³ (REINERT & REICHERT, 2006).

A densidade é determinada com base do volume e massa do solo segundo Klein (2008), sendo afetada pelo tipo de manejo, cobertura vegetal, quantidade de resíduos sob a superfície do solo e MO (SPERA et al., 2004; GUARIZ et al., 2009).

A porosidade consiste no espaço no solo não ocupado por sólidos, mas sim, por água e ar, sendo responsável pelas trocas gasosas do solo (REINERT & REICHERT, 2006). Os microporos atuam no armazenamento de água disponível no solo e os macroporos no processo de infiltração de água (PORTUGAL et al., 2008). Porém, quando ocorre a redução de microporos no solo, pode promover uma redução do armazenamento de água no solo. O aumento da microporosidade associado com a redução da macroporosidade pode ser um indicativo de solo compactado (FONSECA et al., 2007).

A porosidade do solo é muito dependente da composição granulométrica e da estruturação do solo, assim, valores de macroporos inferiores a 0,10 m³m⁻³

podem comprometer as trocas gasosas e dificultar o crescimento radicular de boa parte das culturas (SILVEIRA JUNIOR et al.,2012). De modo geral, nas camadas agricultáveis são encontrados valores de porosidade entre 40 a 65% em solos argilosos, o que equivale a um volume de poros 0,40 a 0,65 m³m⁻³ de solo (PREVEDELLO, 1996). Entretanto, podem ser encontrados valores superiores de porosidade total e macroporosidade na superfície, em função do preparo do solo (BERTOL et al., 2004)

Os sistemas de uso do solo com maior eficiência em conservarem a cobertura natural sob o solo, como a mata nativa, vão apresentar condições adequadas dos seus atributos físicos, como porosidade, estabilidade de agregados, densidade e permeabilidade do solo (ANDREOLA et al., 2000). Por outro lado, o preparo do solo, reduz a densidade e aumenta a porosidade, mesmo reduzindo o teor de MO no solo (PEREIRA et al., 2010).

3.6 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

O processo de degradação do solo tem início com a retirada da cobertura natural, pois, a ausência de vegetação aumenta a deterioração do solo (SANTOS & SALCEDO, 2010). Essa alteração na composição vegetal promove instabilidades no ciclo de nutrientes, sendo, intensificado pelos processos de erosão do solo, o que resulta em perda da fertilidade natural (ARCOVERDE, 2011).

O manejo do solo e o da cultura são importantes condicionadores da variabilidade de atributos do solo, pois, solos de mesma classe taxonômica, considerados relativamente homogêneos, podem apresentar variação em seus atributos como resultado da aplicação de diferentes práticas de manejo (CAVALCANTE et al., 2007). Da mesma maneira, solos de classes diferentes, submetidos ao mesmo manejo, podem apresentar atributos semelhantes (BOUMA et al., 1999).

Segundo Gonçalves et al. (2003), a degradação do solo pode resultar na queda de seus níveis de fertilidade, principalmente pela redução nas concentrações e na qualidade da MOS e pela redução na concentração dos macros e micronutrientes, sendo essa perda altamente relacionada a processos erosivos, sendo muito comum, ocorrer um aumento nas concentrações de alumínio (Al) e Magnésio (Mg), em função

da elevação do pH no solo. Os atributos químicos do solo são mais sensíveis quanto às alterações no uso e manejo em relação aos físicos (BOTTEGA et al., 2013).

A CTC do solo apresenta uma relação direta com a MOS, pois solos com maiores teores de MOS tendem a apresentar maiores valores de CTC, uma vez que, além da grande importância que a MOS apresenta em função da complexação de elementos como alumínio, contribui diretamente na entrada de nutrientes no solo, oriundo da mineralização da serapilheira, sendo que, ambas tendem a reduzir com o aumento da profundidade (RODRIGUES et al., 2007).

Um cátion de grande importância é o potássio (K), tem grande atuação na planta, desde a ativação de sistemas enzimáticos voltados a processos de fotossíntese e respiração até a regulação osmótica, é um elemento considerado abundante no solo, no entanto, 2% apenas está na forma disponível para as plantas, sendo de todas as formas de K, a forma trocável que está ligada as cargas negativas no solo, a mais importante para as plantas, em função de repor o que foi retirado da solução do solo (SPARKS & HUANG, 1985).

O K é o segundo elemento mais exigido pelas plantas e apresenta uma grande mobilidade dentro da planta, independente da concentração, translucandose via xilema, floema e tecido celular, podendo ser lavado pela ação das chuvas da copa para a base da planta (ROSOLEM et al., 2006).

O fósforo (P) é um dos micronutrientes mais limitantes na produção de biomassa em solos bem intemperizados, pode ser encontrado de duas formas, na forma orgânica (Po) e inorgânica (Pi), sendo essa, a forma mais estudada para determinação da fertilidade, pois, se trata da fração disponível para absorção das plantas, no entanto, a fração orgânica é uma importante fonte de P para as plantas (NOVAIS & SMYTH, 1999).

A adsorção do P é maior em solos com predomínio de hidróxidos de Fe e Al, características de solos argilosos, esses cátions geram um saldo líquido positivo de cargas positivas, essas cargas tendem a fazer a adsorção de ânions como o P (VILAR et al., 2010). Segundo Valladares et al. (2003) a presença de hidróxidos de ferro e alumínio apresentam cargas líquidas positivas em decorrência do pH elevado em solos agrícolas.

Em solos muito intemperizados e argilosos o P inorgânico disponível tende a ser bem reduzido, interpretado como teores “muito baixos”, pois, esse tipo de solo, tende a fixar muito P, reduzindo a disponibilidade para as plantas, dessa forma,

o solo que era fonte de P, torna-se dreno pela competição que faz com as plantas pelo elemento (ZAIA et al., 2008).

Desse modo, as plantas absorveriam o que mineralizasse da serapilheira ou do P orgânico do solo (NOVAIS & SMYTH, 1999). No entanto, sistemas que consigam acumular MOS, tais como, florestais e agroflorestais, tende a ser fornecer de modo equilibrado P disponível para absorção das plantas (GAMA-RODRIGUES et al., 1999).

O Ca e Mg são bases que competem pelos sítios de adsorção no solo, alterando o pH, aumentando a fertilidade e produtividade do solo, no entanto, sua principal forma de reposição no solo é pela aplicação de calcário, mas a escolha desse pode provocar alterações no balanço entre Ca/Mg, o calcário calcítico apresenta cerca de 45% de CaCO₃ e o dolomítico 20-40% de MgO (GUIMARÃES JÚNIOR et al., 2013).

3.7 ATIVIDADE BIOLÓGICA

A comunidade dos organismos é alterada pelas variações de estrutura e das interações complexas existentes no sistema heterogêneo que é o solo, onde os organismos regem e são regidos por essas interações, influenciando na qualidade do solo (OSAKI, 2008). Dessa forma, a comunidade de organismos no solo tem responsabilidade direta na fertilidade e na capacidade produtiva do solo.

Estudos com estimativas da biomassa microbiana têm sido usados para verificação do fluxo de C e N, ciclagem de nutrientes e produtividade de plantas em diferentes sistemas terrestres, possibilitando ainda a associação da quantidade de nutrientes imobilizados e a atividade da biomassa microbiana com a fertilidade e o potencial de produtividade do solo (SILVA et al., 2010). Ainda com relação a ciclagem de nutrientes, estas avaliações são importantes pois a ciclagem só ocorre como consequência da atividade microbiana e é especialmente importante em ecossistemas de baixa fertilidade (LOSS et al., 2013), como áreas degradadas em processo de recuperação.

Dentre as diversas formas de avaliarmos a atividade microbiana do solo pode-se citar a medição da sua biomassa, da atividade de certas enzimas no solo, medidas da respiração basal (TÓTOLA; CHAER, 2002), entre outras. Mas, é importante salientar que semelhante ao que ocorre em outros processos metabólicos, a respiração é dependente do estado fisiológico da célula microbiana e sofre influência

de diversos fatores do solo, como: a umidade, a temperatura, a estrutura, a disponibilidade de nutrientes, a textura, a relação C/N, a presença de resíduos orgânicos, entre outros (SILVA et al., 2010).

Um dos métodos mais tradicionais e mais utilizados para avaliar a atividade metabólica da população microbiana do solo é a quantificação de CO₂ liberado pela respiração dos microrganismos (ZIBILSKE, 1994). Sendo assim, é possível evidenciar modificações decorrentes dos diferentes sistemas de uso do solo por meio da evolução de C-CO₂ (Dióxido de Carbono) gerado pela respiração microbiana (PEÑA et al., 2005; LOSS et al., 2013). Desta maneira, altas taxas de respiração podem significar maior ciclagem de C e nutrientes para as plantas (D'ANDRÉA et al., 2002), mas, é importante entender que taxas elevadas podem ser um indicativo de um distúrbio ecológico ou até mesmo de um alto nível de produtividade do ecossistema (LOSS et al., 2013).

Sabe-se que ao adicionarmos ao solo uma fonte de C, estimula-se a respiração microbiana do mesmo (LOSS et al., 2013). Sendo assim, os sistemas de manejo que aumentem a adição de resíduos vegetais e a retenção de C no solo se constituem em alternativas importantes para aumentar a capacidade de dreno biológico de C-CO₂ atmosférico e mitigação do aquecimento global (BAYER et al., 2006; COSTA et al., 2008).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área experimental está situada entre as coordenadas geográficas 25°41'37" - 25°41'49"S e 53°06'23" - 53°06'07"W (VOGEL et al.,2015), com altitude média de 502 m acima do nível do mar, no campus da UTFPR, Dois Vizinhos. De 1993 a 2005, o uso do solo foi com culturas anuais de inverno (aveia, *Avena strigosa* e trigo, *Triticum spp.*) e verão (feijão, *Phaseolus vulgaris L*; milho, *Zea mays* e soja (*Glycine max L*). De 2006 a 2008 a área foi plantada com mudas de pastagem (capim estrela africana; *Cynodon nlemfuensis*) para bovinocultura. Em 2009, o local voltou a ser usado com culturas anuais até a última colheita realizada em 15 de outubro de 2009. Após, a área permaneceu em "repouso" (sem uso) até outubro de 2010, quando a mesma foi roçada com auxílio de trator. Se caracteriza por uma degradação florestal pela influência antrópica, na qual foi feito a supressão da floresta e destinado o solo para o uso com fins agropecuários, todas no sistema semeadura direta, mas com preparo da área, devido ao pisoteio animal no pastejo da aveia.

O clima da região é definido como Cfa (subtropical úmido) conforme a classificação de ALVARES et al. (2013). A época de maior precipitação é no verão (média anual de 1800 a 2000 mm), contudo sem estação seca definida (CAVIGLIONE, 2000). A temperatura média no mês mais frio é inferior a 18°C (mesotérmico), com ocorrência de geadas a cada dois anos e temperatura média no mês mais quente é acima de 22°C, com verões quentes. O solo da área é classificado como um Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006). A granulometria do solo é muito argilosa (Tabela1) segundo a classificação de COMISSÃO...(2004).

Tabela 1- Classe granulométrica do solo nos modelos de restauração florestal e na área de floresta. UTFPR, Pato Branco -PR, 2015.

TRATAMENTOS	GRANULOMETRIA *		
	Areia	Silte	Argila
	-----%-----		
Reg. Natural	23,0	10,6	66,4
Nucleação	20,4	11,4	68,2
Plantio total	23,3	11,3	65,4
Floresta	29,9	10,0	60,1

*Método da pipeta

Antes da implantação dos modelos foi realizado uma caracterização química do solo, para permitir acompanhar a evolução da fertilidade do solo sob os três modelos de restauração florestal (Tabela2).

Tabela 2- Caracterização físico química do solo realizada em 2010, antecipando a implantação dos modelos de restauração florestal na área a ser recuperada.

Prof.(cm)	MOS	P	K	Ca	Mg	pH	V	Densidade
	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----Cmol _c dm ⁻³ -----				%	g dm ⁻³
0-5	43,51	6,42	0,72	4,71	3,34	5,22	67,81	1,11
5-10	35,90	3,31	0,49	4,21	2,72	5,11	63,82	1,21
10-20	31,80	1,83	0,29	3,73	2,61	5,22	61,82	1,20
0-20	35,50	3,63	0,45	4,14	2,83	5,15	63,83	1,16

O delineamento experimental é inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo que cada parcela experimental possui dimensões de 40 m de largura por 54 m de comprimento, totalizando 2.160 m² de área de parcela, com espaçamento médio de 13 m entre parcelas. Os modelos foram implantados em dezembro de 2010, sendo os tratamentos: 1 - Regeneração natural ou passiva; 2 - Nucleação; 3 - Plantio de árvores em área total sob linhas de preenchimento e diversidade (Plantio total); 4- área de Referência (floresta).

Foram coletados seis pontos amostrais por parcela, sendo que a área experimental é composta por 12 parcelas (3 modelos x 4 repetições = 12 parcelas) na área de restauração florestal (Figura 1). No tratamento de referência a floresta foi coletada o mesmo número amostral de pontos para cada parcela e quatro repetições por parcela (Figura 1). As camadas de solo avaliadas foram 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

O modelo de regeneração natural ou passiva consistiu no isolamento das parcelas experimentais, com o intuito de impedir ou mitigar as intervenções ou ações antrópicas e de animais domésticos sobre as mesmas. Nestas parcelas foi realizada apenas uma roçada mecanizada no início do experimento (outubro de 2010). Nesse espaço de tempo ocorreu o surgimento natural de espécies espontâneas ou pioneiras que recobriram toda a área, como gramíneas, herbáceas, arbustos e arvores de crescimento e recobrimento rápido do solo.

O modelo de restauração florestal através da nucleação consistiu na implantação de um conjunto de técnicas as quais foram dispostas em núcleos, locadas sistematicamente por toda a parcela e ocupam 1/3 da área total. Onde foram implantados: poleiros artificiais para avifauna; abrigos artificiais para atração da fauna

terrestre; plantio de placas de mudas procedentes de banco e chuva de sementes de floresta em estágio médio de sucessão; plantio de árvores em grupos de Anderson de cinco mudas, sob espaçamento 1 x 1 m (em forma cruz) onde as quatro plantas laterais foram sombreadoras (12 espécies pioneiras) e a planta central foi sombreada (24 espécies não-pioneiras); núcleo de 3 x 4 m com cobertura de feijão-guandú (*Cajanus cajan* (L.) Huth); e plantio de bromélias (*Bromelia antiacantha* Bertol) em grupos de Anderson de cinco mudas, sob espaçamento 0,5 x 0,5 m em formato de cruz. O conjunto de técnicas foram implantadas em faixas de 3 x 40 m, onde foi feita a limpeza através de roçadas, capinas químicas, sendo realizadas semestralmente.

Em cada parcela, foram implantados 62 núcleos, os quais sofreram intervenções (coroamento, adubação, irrigação, etc.). As áreas da parcela que não fazem parte do núcleo não foram submetidas a qualquer intervenção antrópica, onde foi permitida a expressão da regeneração natural, a qual será fruto do sistema de interações entre as técnicas nucleadoras.

Para implantação das técnicas nucleadoras, a área passou por uma gradagem e aragem do solo, bem como adubação de base e de cobertura, todas essas práticas ocorreram apenas nas faixas de nucleação. No momento do plantio das técnicas nucleadoras de acordo com o boletim de recomendação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, e baseado na recomendação para eucalipto, de acordo com os dados da análise inicial (Tabela 2) determinou-se a adubação de base (30, 120 e 60 kg/ha de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente) e cobertura (30 kg/ha de N (uréia), com formulado 05-20-10, com dose de 600 kg/há (COMISSÃO..., 2004).

O modelo plantio de árvores em área total sob linhas de preenchimento e diversidade (Plantio total) consistiu no plantio de diferentes espécies arbóreas em linhas, utilizando o espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre plantas. Foram usadas somente árvores nativas, sendo 10 espécies de preenchimento e 60 espécies de diversidade.

Foram alternadas as espécies na linha e na coluna “plantas de preenchimento” (espécies pioneiras de rápido crescimento e copa densa) com “plantas de diversidade” (espécies pioneiras e não pioneiras). Para o plantio das espécies de árvores, as linhas de plantio foram escarificadas com subsolador de cinco hastes (em uma profundidade de 0,40 m) e realizado a adubação de base. Durante a fase de manutenção do modelo foram feitas práticas de coroamento, monitoramento de formigas cortadeiras, adubação de cobertura e roçadas realizadas

semestralmente. No momento do plantio do modelo 3x2 de acordo com o boletim de recomendação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, e baseado na recomendação para eucalipto, determinou-se a mesma adubação de base utilizada para o tratamento da nucleação, mas, somente nas técnicas banco de sementes, chuva de sementes, parcelas de guandu e plantio de mudas, sendo 360g do NPK por muda (cova) (COMISSÃO..., 2004).

A área de referência (floresta) está situada em uma zona de transição entre Floresta Ombrófila Mista com Floresta Estacional Semidecidual, em estágio médio de regeneração com aproximadamente 30 anos (GORENSTEIN, 2010). Nesse contexto, presume-se que a área seja um modelo (referência) ideal de equilíbrio ecossistêmico e dos componentes que nela está inserida como, floresta, biodiversidade e solo que é objeto de estudo. A sistematização espacial das parcelas na área de floresta, ocorreram de modo que, caracterizem não somente a vegetação, mas também, a posição fitogeográfica e características de solo.

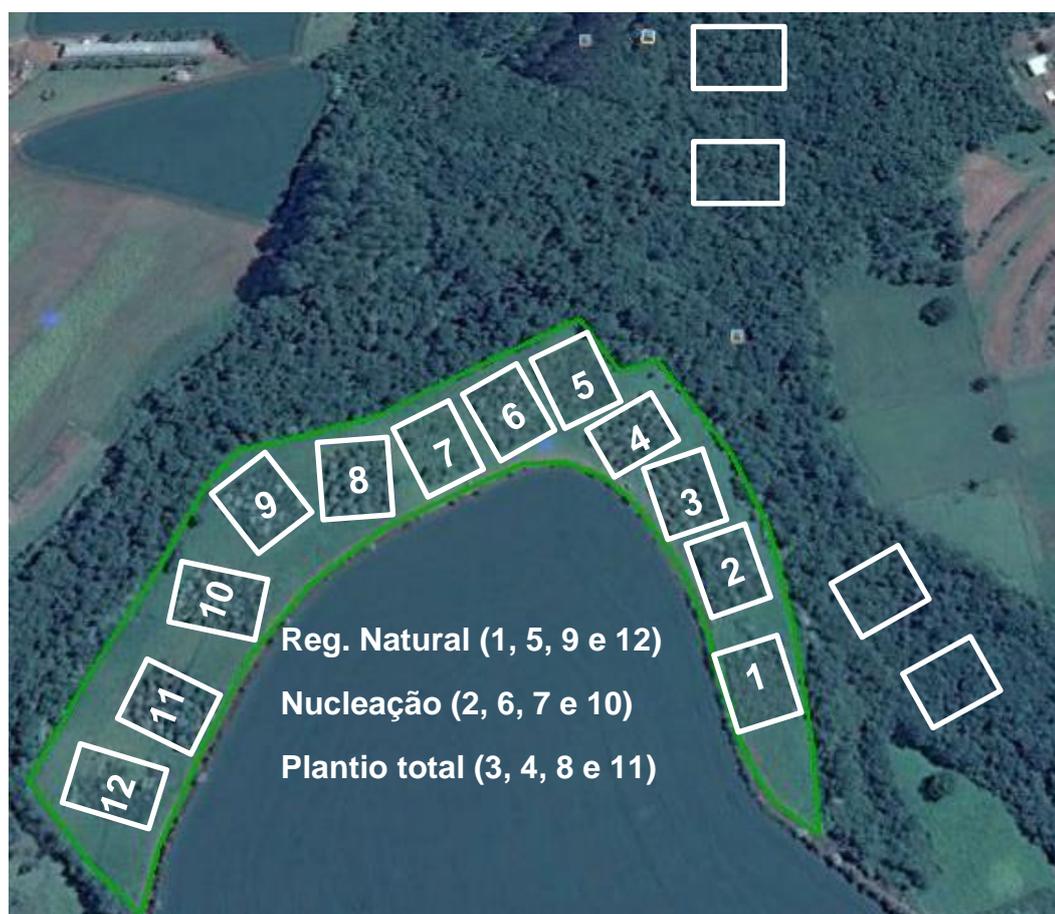


Figura 1- Disposição espacial dos modelos dentro da área de restauração florestal e dos blocos na área de floresta ombrófila mista em transição com floresta estacional semidecidual em estágio médio de regeneração. UTFPR, Pato Branco -PR, 2015.

4.2 AMOSTRAGEM E PROCESSAMENTO DO SOLO

A coleta das amostras de solo foi realizada no mês outubro 2013, nas camadas de 0,0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Foram avaliados os seguintes atributos físicos: textura, densidade do solo, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo e estabilidade de agregados em água.

Após abertura das trincheiras, foi coletada amostras de agregados, indeformados do solo, nas dimensões de 5x10x10 cm aproximadamente, que foram desagregadas manualmente nos pontos de fraqueza, reduzindo o tamanho das estruturas até que passassem em peneira de 9,51mm.

Para determinação da densidade do solo, porosidade total, microporos e macroporos as amostras foram obtidas com anéis volumétricos, com volume conhecido. Os anéis foram introduzidos no solo e feito a retirada da amostra indeformada.

Para determinação dos parâmetros químicos do solo foi usado os mesmos pontos amostrais e contemplando as mesmas camadas amostradas que os parâmetros físicos do solo. As amostras foram acondicionadas em saco plástico e após moídas para análises laboratoriais. Das mesmas amostras foram retirados sub amostras para determinação do C e sua compartimentalização.

Para a análise biológica coletou-se uma camada de solo de 0,0 -0,05 m no mesmo ponto de amostragem para as análises químicas e físicas. As amostras biológicas foram armazenadas em uma câmara fria com temperatura controlada, ficando até o momento em que foram analisadas.

4.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

4.3.1 Teor De Carbono

O teor de COT foi determinado de acordo com a metodologia descrita em Yeomans e Bremner (1988), com o uso do bloco de digestão. Foram pesados 0,3 gramas de solo moído a 2 mm, colocada em tubos de ensaios, adicionada a solução digestora Dicromato de Potássio ($K_2Cr_2O_7$) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) e levado os tubos ao bloco de digestão pré-aquecido a 150 °C, permanecendo por 30 minutos em digestão, até o ponto de viragem para tom esverdeado fraco. Posteriormente foi feito

a titulação com sulfato ferroso e determinado o teor de COT. O cálculo do teor de COT foi realizado pelas fórmulas 5 e 6:

$$\text{COT (g kg}^{-1}\text{)} = A * 0,5 * 3 * 1000 / \text{peso da amostra (mg)} \quad (5)$$

Onde:

0,5 = molaridade do sulfato ferroso, 3 = relação de equivalência do carbono, 1000 = fator de diluição. Para a determinação do fator A, foi seguida a fórmula (6):

$$A = [(V_{ba} - V_{am}) (V_{bn} - V_{ba}) / V_{bn}] + (V_{ba} - V_{am}) \quad (6)$$

Onde:

A = volume de sulfato ferroso, V_{ba} = volume de sulfato ferroso gasto na titulação do branco aquecido, V_{am} = volume de sulfato ferroso gasto na titulação da amostra, V_{bn} = volume do sulfato ferroso gasto na titulação do branco normal, sem aquecimento. Adicionando o parâmetro densidade do solo no cálculo, obteve-se o estoque de COT em g cm^{-3} de solo.

4.3.2 Fracionamento Físico Granulométrico

Para determinação do fracionamento físico granulométrico foi adotado a metodologia descrita em Cambardella e Elliott (1992). Foram pesados 20 gramas de solo, colocados em frascos tipo “snap-cap” de 100 mL e adicionados 60 mL de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}). As amostras foram agitadas durante 15 horas em agitador horizontal (150 oscilações por minuto) e a suspensão passada em peneira de 0,053 mm. O material retido na peneira 0,053 mm foi transferido para recipientes de 100 mL, seco em estufa a 50°C , por 48 horas e pesado. Posteriormente a amostra foi moída para análise do teor de C do material que ficou na peneira correspondendo ao carbono orgânico particulado (COP). O carbono associado aos minerais (CAM) foi obtido por diferença entre o COT e o COP.

4.3.3 Agregados

A determinação dos agregados estáveis em água no laboratório foi baseada na metodologia descrita por Carpernedo e Mielniczuk (1990). Amostras com 50 gramas de solo foram pesadas, dispostas em papel filtro, adicionados 100 ml de água destilada, com a finalidade de umedecer o solo durante um período de 12 horas via capilaridade. Após esse período as amostras foram colocadas no agitador de agregados em água, e separadas cinco classes (4,76-2,00, 2,00-1,00, 1,00- 0,50, 0,50-0,25 mm), através das sequencias de peneiras do agitador, com processo de agitação de 150 oscilações por minuto durante 15 minutos.

Os agregados foram transferidos de cada peneira e secos em estufa a 105 °C, por 48 horas. Após esse período as amostras foram pesadas e determinada a estabilidade de agregados no solo. Para reduzir os erros amostrais e laboratoriais, foram feitas análises duplicata para cada amostra.

Para o cálculo do índice de diâmetro médio ponderado (DMP) foi utilizada a fórmula 1:

$$DMP = \sum (mAGRi * ci) / \sum mAGRi \quad (1)$$

Onde DMP = diâmetro médio ponderado (mm), mAGRi = massa total de agregados da classe i, $\sum mAGRi$ = massa total de agregados das n-classes, ci = valor médio da classe de agregado obtido por $ci = (\text{malha superior} + \text{malha inferior}) / 2$.

4.3.4 Densidade e Porosidade do Solo

A porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo foram determinadas pelo método descrito em Embrapa (1997), utilizando anéis volumétricos de volume conhecido (figura 8). Para determinação da porosidade total as amostras foram completamente saturadas durante 12 horas em recipiente com água e feito a pesagem da amostra totalmente saturada.

A porosidade total foi determinada por (formula 2).

$$VPT (m^3m^{-3}) = (Vt-VS)/Va \quad (2)$$

Onde:

VPT= Volume de porosidade total

V_t =Solo saturado

V_s = Solo seco

V_a = Volume do anel volumétrico (69.25 cm³)

Para determinação da microporosidade do solo foi utilizado o método da mesa de tensão. Após obter o peso das amostras saturadas, foram acondicionadas sob a mesa de tensão, e submetidas a uma tensão de 60 cm de coluna de água, para a sucção de água dos macroporos. Após um tempo de 48 horas, as amostras foram retiradas, pesadas e levadas para a estufa a 105 °C por 48 horas e feito a pesagem das amostras para obtenção da massa de solo seco.

Calculo para microporosidade (3)

$$\text{MICROPOROSIDADE} = (A - V_s) / V_a \quad (3)$$

Onde:

A = peso da amostra após ser submetida a uma tensão de 60 cm de coluna de Água.

V_s = peso da amostra seca a 105°C (g).

V_a = volume do cilindro

O produto da diferença entre solo saturado e solo seco fornece os valores de porosidade total em m³m⁻³, idem formula 2. O volume de microporosidade contidos na amostra, foi determinado através da formula 3 com valores em m³m⁻³.

A macroporosidade foi obtida através do cálculo da diferença entre porosidade total e a microporosidade do solo. Volume do solo que corresponde aos poros com $\varnothing \geq 0,05$ mm.

Para a determinação da densidade aparente do solo utilizou-se a formula 4.

$$\text{DENSIDADE APARENTE (g cm}^{-3}\text{)} = V_s / V_a \quad (4)$$

Onde:

V_s = peso da amostra seca a 105°C (g)

V_a = volume do anel ou cilindro (cm⁻³)



Figura 2- Amostra de solo em anel volumétrico para determinação de porosidade e densidade. UTFPR, Pato Branco -PR, 2015.

Fonte: O autor (2014).

4.3.5 Textura do Solo

A textura foi determinada pelo método da pipeta descrito em EMBRAPA (1997), foram usados seis pontos amostrais por tratamento para retirar as sub amostras e feito uma amostragem composta das profundidades de 0,0-0,40 m (as sub amostras foram retiradas do material coletado para as análises químicas). Após dispersão das amostras em NaOH, foi pesado 20g de solo, transferido para proveta de 1.000 ml, adicionando 100 ml de água, 10 ml de solução de hidróxido de sódio, agitado com bastão de vidro e deixado para repousar uma noite. Foi passada a amostra por peneira de 0,053 mm para retirada da fração areia e secado em estufa a 105 °C. Após a retirada da fração areia, a solução coletada em um recipiente foi transferida para proveta de 1.000 ml, completando com água até 1.000ml, onde foi agitado por 20 segundos e deixado em repouso por tempo tabelado de acordo com a temperatura da amostra em branco.

Para a determinação da fração argila foi pipetado 50 ml do material suspenso até a profundidade de 5 cm levado para secar em estufa a 105 °C e pesado.

As frações pesadas definem os percentuais de areia e argila. O silte é obtido por diferença das frações areia e argila em relação à amostra original.

4.3.6 Análises Químicas

Para as análises químicas do solo foram medidos os valores do pH-H₂O, além de serem quantificados a concentração de N, P e K extraídos por solução Mehlich, o P disponível foi determinado por Murphy e Riley, (1962), alumínio trocável, cálcio trocável (Ca) e magnésio trocável (Mg) extraídos por KCl, conforme Tedesco (1995). Foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC (pH 7,0)), a saturação por bases (V%) e a acidez potencial (H+Al), em função do SMP.

4.3.7 Análise Biológica

Para as análises biológicas calculou-se a respiração basal do solo (RBS) em cada período (7, 14, 21, 28 e 35 dias) e o acúmulo de C-CO₂ ao final do processo, sendo que para isso foi estimada a respiração microbiana do solo pela quantidade de C-CO₂ liberado nas avaliações durante o período de incubação. Procedeu-se à incubação colocando-se 50 g de solo (com umidade corrigida e padronizada para todas as amostras) de cada amostra em frascos de vidro, após colocou-se um copinho plástico contendo 10 mL de NaOH 1,0 mol L⁻¹ sobre o solo dentro de cada frasco de vidro. Os potes foram hermeticamente fechados e colocados para o processo de incubação em uma câmara controlada. As avaliações foram feitas semanalmente, por meio de titulação do excesso de NaOH com HCl 0,5 mol l⁻¹. Sendo as leituras executadas aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias pós-incubação (DPI). Para as titulações foi utilizado HCl 0,5 mol L⁻¹ (ANDERSON, 1982).

4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram analisados através da análise de variância e teste de Dunnett, para comparação de médias ao nível de 5% de significância, para essa etapa foi utilizado o programa computacional Assistat 7.6 Beta (SILVA & AZEVEDO et al., 2006).

Para encontrar o melhor modelo de restauração florestal, foi elaborado um Índice Ponderado de Qualidade de Restauração para cada variável analisada, atribuindo peso um para o modelo que apresentou a variável na condição de igualdade ou qualidade superior ao tratamento floresta (referencia), utilizando-se a diferenciação estatística a partir de cada variável em cada profundidade. Sendo totalizado no final a soma da pontuação, permitindo chegar ao modelo com maior Índice que expressa o maior potencial de restauração dos parâmetros avaliados. Esse método é válido para esse fim, pois todas as variáveis passaram por análises estatísticas, sendo assim, não comprometem a acurácia e os princípios da estatística. Vale salientar que, o Índice é de qualidade, portanto, quando se refere igual ou maior que a referência (Floresta), não necessariamente está condicionado a maiores valores numéricos, e sim, a interpretação do efeito positivo ou negativo para os modelos de restauração florestal.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARBONO ORGÂNICO DO SOLO

Na camada 0,0-0,05 m, os modelos de restauração florestal não apresentaram diferenças entre si para o teor de COT e COP no solo, no entanto, todas apresentaram valores inferiores ao da floresta, exceto a regeneração natural que foi similar no teor de COP. A floresta obteve o maior teor de COT no solo, sendo 95,8% mais alto em relação ao solo dos demais modelos (Figura 9 A).

Esse maior acúmulo de COT especialmente na superfície do solo da floresta, ocorre pela taxa de deposição de serapilheira e de forma contínua, bem como, o maior equilíbrio entre entrada e saída de C do solo, somado com a melhor interação dos demais atributos do solo. Silva et al, (2013) salienta que de forma geral, todos os atributos tendem a serem maiores na floresta. Portugal et al. (2008) encontrou maior acúmulo de C ocorre na mata em todas as camadas.

O modelo Plantio total apresentou o menor teor de COT na camada 0,05-0,10 m. Os modelos nucleação e regeneração natural não apresentaram diferenças estatísticas entre si, entretanto, todos os modelos apresentaram-se inferiores ao teor de COT da floresta sendo 47,9% mais alto quando equiparado ao Plantio total na camada 0,05-0,10 m.

Para o teor de COP na camada 0,05-0,10 m os modelos não apresentaram diferenças, no entanto, o Plantio total foi inferior 51,1% em relação ao COP do solo sob floresta (Figura 9 B).

O fato do Plantio total ter apresentado o menor teor COT no solo em relação a floresta, pode estar condicionado às práticas de manutenção da área que acabam promovendo a aceleração dos processos de degradação da MOS, em decorrência do revolvimento do solo e fragmentação dos resíduos.

Quando analisado os teores de COT entre as camadas 0,0- 0,10 m, pode-se verificar que a floresta apresentou uma redução de 42,5% do teor COT na camada 0-05-0,10 m em relação a camada de 0,0-0,05 m, sendo que entre os modelos para essas mesmas camadas, a redução média dos três modelos foi 12,4% (Figura 9 A e 9 B).Essa diferença ocorre basicamente em decorrência da maior concentração de resíduos na superfície do solo da floresta, comprovado pelo maior estoque de COT

na camada 0,0-0,05 m (Tabela 3), pois, o estoque de MOS aumenta em área não manejada, e tende a reduzir quando manejada (SILVA et al.,1994).

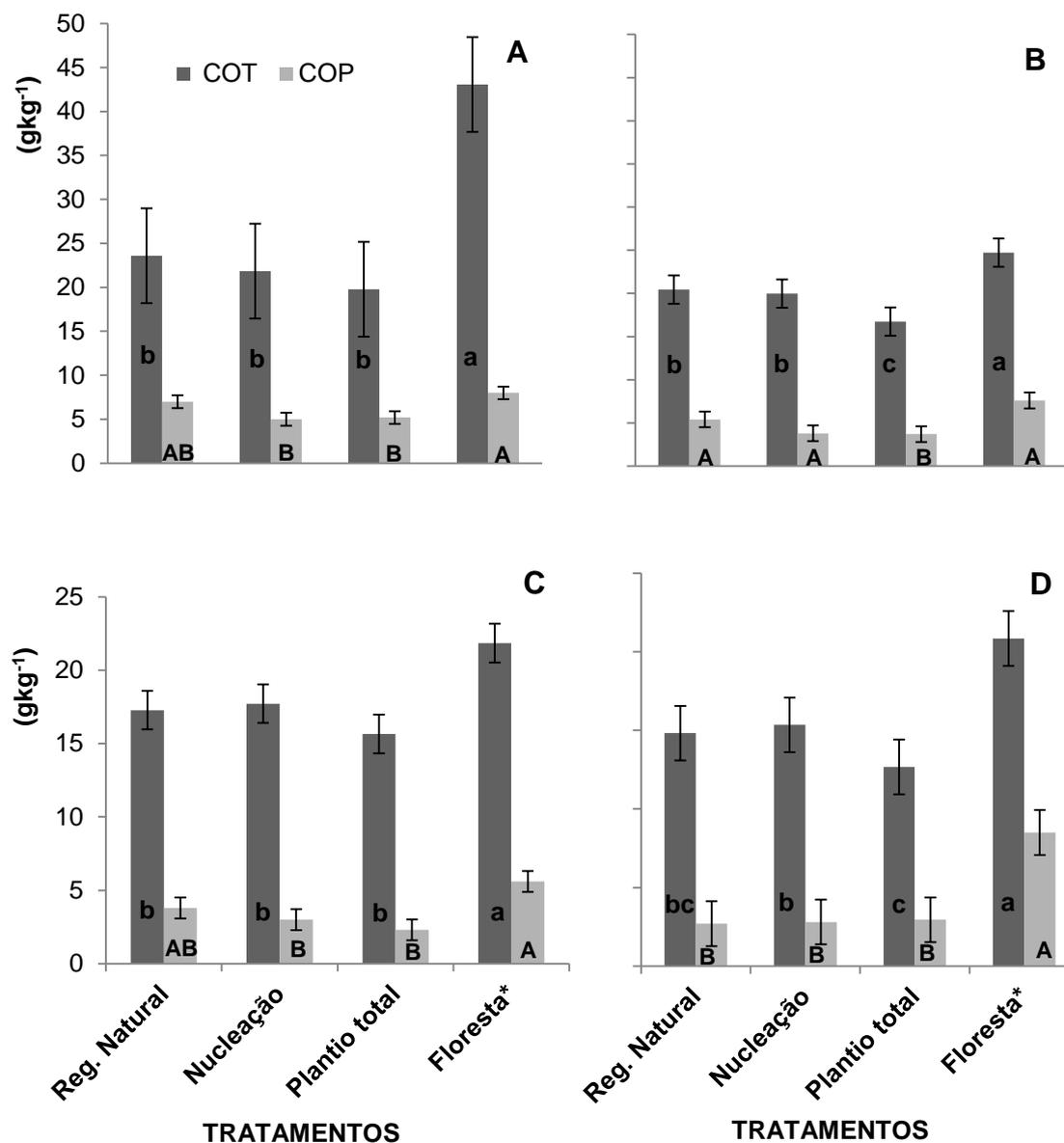


Figura 3- Teor de carbono orgânico total (COT) de carbono orgânico particulado (COP) em g kg⁻¹ de solo. Para as camadas de solo 0,0-0,05 m (A), 0,05-0,10 m (B), 0,10-0,20 m (C) e 0,20-0,40 m (D). Onde: letras minúsculas comparam o teor de COT e letras maiúsculas comparam o teor de COP no solo, pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. * tratamento referência. UTFPR, Pato Branco - PR, 2015.

Na camada de 0,10-0,20 m, os modelos de restauração florestal não apresentaram diferenças entre si para teor de COT e COP no solo e foram inferiores a floresta, exceto a regeneração natural que foi similar no teor de COP a floresta nesta camada.

A floresta obteve um teor de COT 29,4% mais alto em relação à média de todos os modelos de restauração florestal, e um teor de COP no solo 143,5% mais alto que o Plantio total (Figura 9 C). Esse resultado, possivelmente ocorre, pela maior diversificação e taxa de deposição de resíduos na floresta madura, contribuindo para o maior estoque de COT no solo (TORRES, 2011).

Na camada de 0,20-0,40 m o modelo Plantio total apresentou um teor de COT inferior à nucleação, que não mostrou diferenças para a regeneração natural. No entanto, todas foram inferiores a floresta. O Plantio total apresentou um teor de COT 17,4% mais baixo que a nucleação e 39,1% em relação a floresta: Essa redução do teor de COT no solo do Plantio total em relação aos demais modelos e a floresta na camada 0,0-0,40 m (Figura 9 D) podem estar condicionadas a uma menor taxa de deposição de serapilheiras sobre o solo, baseado em ser um plantio jovem e com grande variabilidade de altura de planta e volume de copa (STOLARSKI et al., 2013), o que pode ter colaborado para essa redução do teor COT. Do contrário, na floresta que apresenta uma maior área basal, e conseqüentemente um maior volume de biomassa, tende a produzir maior quantidade de serapilheira sob o solo (PINTO et al., 2009), conseqüentemente, tende a ter maior teor COT no solo.

Com o atingimento da maturidade do plantio, possivelmente vai ocorrer o aumento de resíduos mais complexos para decomposição, em função de maior teor de lignina e outros compostos que reduzem a taxa de degradação pelos microrganismos, esses fatores iram contribuir para o aumento de C no solo (PINTO et al., 2009).

Essa superioridade da floresta para todas as frações de C pode estar associada à quantidade de resíduos depositados sob o solo, aliado à qualidade e concentração de C dos resíduos (ROVIRA & VALLEJO, 2002).

Para o estoque de COT nas camadas de 0,10 m, a regeneração natural e à nucleação foram similares, mas, a regeneração natural apresentou estoque maior que o Plantio total. Contudo, todos os modelos apresentaram valores inferiores quando equiparadas com o solo sob floresta que obteve 17,77 Mg ha⁻¹ de estoque de COT na média dessas camadas, sendo 5,57 Mg ha⁻¹ superior a regeneração natural na média das camadas superficiais (0,10 m), os estoques de COT variaram entre os tratamentos de 10,15 a 19,79 Mg ha⁻¹(Tabela 3).

Tabela 3- Estoque de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) carbono orgânico associado aos minerais (CAM) e relação de COP no COT em uma área submetida a modelos de restauração florestal. Campus Pato Branco-PR, 2015.

TRATAMENTOS	COT	COP	CAM	COP/COT
	-----Mg ha ⁻¹ -----			-----%-----
0,0-0,05m				
Regeneração Natural	12,20 b (±0,47)	3,23 ab (±0,11)	8,97 b (±0,19)	26,37 (±2,90)
Nucleação	11,38 bc (±0,50)	2,42 b (±0,15)	8,96 bc (±0,43)	21,01 (±2,33)
Plantio total	10,15 c (±0,22)	2,56 b (±0,24)	7,59 c (±0,73)	27,23 (±2,21)
Floresta	19,79 a (±1,16)	3,98 a (±0,02)	15,81 a (±1,13)	20,24 (±1,45)
Teste F	28,23**	4,62*	75,00**	1,99 ^{ns}
DMS	1,45	1,14	1,69	13,05
CV (%)	5,45	18,37	8,27	25,23
0,05-0,10m				
Regeneração Natural	12,19 b (±0,14)	2,66 ab (±0,14)	9,51 b (±0,14)	21,78 (±2,83)
Nucleação	11,21 bc (±0,68)	1,89 b (±0,21)	9,32 b (±0,33)	16,67 (±2,31)
Plantio total	10,15 c (±0,75)	2,36 b (±0,19)	7,79 c (±1,41)	24,10 (±3,43)
Floresta	15,76 a (±0,72)	3,69 a (±0,04)	12,07 a (±0,49)	23,45 (±0,77)
Teste F	25,86**	5,12*	14,77**	1,31 ^{ns}
DMS	1,903	1,32	1,47	11,66
CV (%)	7,77	25,28	9,55	27,30
0,10-0,20 m				
Regeneração Natural	10,52 b (±0,05)	1,93 b (±0,06)	8,59 ab (±0,00)	18,31 (±2,49)
Nucleação	10,06 b (±1,04)	1,78 b (±0,02)	8,28 ab (±1,01)	17,98 (±2,77)
Plantio total	9,31 b (±0,52)	1,86 b (±0,18)	7,45 b (±1,13)	20,80 (±2,65)
Floresta	13,35 a (±0,53)	3,42 a (±0,06)	9,93 a (±0,86)	25,90 (±1,62)
Teste F	9,74**	11,28**	2,42*	1,54 ^{ns}
DMS	2,24	0,92	2,63	11,67
CV (%)	10,45	20,69	15,5	22,30
0,20-0,40m				
Regeneração Natural	9,01 b (±0,40)	1,36 b (±0,11)	7,65 (±0,47)	15,31 a (±2,05)
Nucleação	8,64 b (±0,12)	1,41 b (±0,02)	7,23 (±0,04)	16,26 a (±1,89)
Plantio total	7,54 b (±0,74)	1,64 b (±0,07)	5,90 (±0,47)	21,86 a (±1,85)
Floresta	11,55 a (±1,06)	4,15 a (±0,11)	7,40 (±1,11)	36,39 b (±1,22)
Teste F	8,533**	46,40**	1,97 ^{ns}	18,55**
DMS	2,303	0,62	2,21	8,97
CV (%)	12,62	18,37	15,82	20,11
0,0-0,40m				
TOTAL				
Regeneração Natural	43,92	9,18	34,74	20,90
Nucleação	41,29	7,50	33,79	18,16
Plantio total	37,15	8,42	28,73	22,66
Floresta	60,45	15,24	45,21	25,21

Onde: médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (± erro padrão). Foi aplicado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) e *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 = p < .05$). ns não significativo.

O fato de a regeneração natural ter apresentando o maior estoque de COT nas camadas 0,0-0,10 m, em relação ao Plantio total, está muito relacionada com a característica primordial do modelo, que consiste no recobrimento rápido do solo em área total, com maior número de espécies vegetais e maior número por espécie vegetal, permitindo assim, uma maior adição de serapilheira, promovendo um aumento gradual no estoque de C, tendo em vista que ele ocorre de forma contínua (RANGEL & SILVA, 2007).

Outro fator é o fato das espécies pioneiras, apresentarem um ciclo de vida curto, investindo, assim, essencialmente na produção de biomassa em curto espaço de tempo, com grande renovação foliar, contribuindo para o aumento de serapilheira no solo (LEITÃO-FILHO et al., 1993). Por outro lado, o Plantio total apresenta uma grande variação no porte das plantas, onde variou de 1,03 a 3,66 metros de altura e com volume de copa variando de 0,20-14,22 m³, para família Fabaceae (STOLARSKI et al., 2013). Essa variação pode ter contribuído para a redução do estoque COT, baseado que é um plantio em linhas, aumentando variabilidade espacial do modelo.

Essas características da regeneração natural podem ter resultado na melhoria desse modelo na agregação do solo, onde de forma geral, também apresentou o melhor índice e a maior estabilidade de agregados (Tabela 3) em função do maior estoque de COT do solo em decorrência do incremento nos teores de MOS na superfície do solo (CANELLAS et al., 2003; CARMO et al., 2012).

A desestruturação do solo no momento de preparo das áreas, pode ter contribuído para a redução do COT, através da exposição da MOS (PORTELLA et al., 2012; FERREIRA et al., 2010), pois o solo quanto mais estruturado, tende a conservar mais o estoque de COT (HICKMANN & COSTA, 2012). Para Silva et al. (2011) quanto maior a agregação do solo, maior o acúmulo de C. A redução ocorre em função da proteção física da MO nos agregados do solo, que confere maior proteção contra erosão e preservação de água no solo contribuindo para conservação do mesmo (CONCEIÇÃO et al., 2008; ZOTARELLI et al., 2012).

Outro fator que pode estar relacionado com a redução do estoque de COT nos modelos em comparação a floresta, pode ser os sistemas de manejos aplicados na área desde a conversão da vegetação natural para cultivo agrícola (LEITE et al., 2004).

Nas camadas 0,10-0,40 m verificou-se que os modelos de restauração florestal não apresentaram diferenças entre si para estoque de COT no solo. No entanto, todas apresentaram valores inferiores ao da floresta, sendo 27,5% superior no estoque em relação a regeneração natural em médias das duas camadas (Tabela 3).

Nogueira Júnior et al. (2011), avaliando diferentes modelos de restauração na mata atlântica, sendo regeneração natural, alta diversidade de espécies, baixa diversidade e floresta nativa em um Latossolo Argiloso, não encontrou diferenças para o estoque de COT após 10 anos de implantação, no entanto, salienta que o C aumentou, mas acumulando mais na floresta nativa.

Quando há substituição de ecossistemas naturais por sistemas de usos agrícolas, normalmente ocorre o declínio do conteúdo de COT (ROSA et al., 2003). Contudo, a inserção de sistemas mais conservacionistas do solo, tende com o passar do tempo, a proporcionar um incremento dos teores de MOS na superfície do solo (CANELLAS et al., 2003; RANGEL; SILVA, 2007).

Para o estoque de carbono orgânico particulado (COP) nas camadas de 0,0-0,10 m, os modelos de restauração florestal não apresentaram diferenças entre si. Entretanto, a regeneração natural foi à única que apresentou semelhança com a floresta (Tabela 3).

Tendo em vista que o COP é uma forma de C mais instável no solo, é muito dependente e influenciado pelo equilíbrio entre taxa de adição e de decomposição dos resíduos, a maior labilidade da MOS está associada com o maior aporte de material vegetal apresentado pela floresta e regeneração natural (FIGUEIREDO et al., 2010; SALTON et al., 2011).

Nesse contexto, sendo comprovado pela semelhança de estoque de COP no solo entre o modelo regeneração natural e a floresta apresentado nessas camadas superficiais do solo (0,10 m). Outro fator muito relevante que pode ter contribuído para esse maior acúmulo de COP, pode estar relacionado com a similaridade de todos os parâmetros de agregação do solo nessas camadas, especialmente a classe de agregados maiores que 2 mm e macroagregados (Tabela 3), que acabam conferindo proteção física para a MOS.

Segundo Hickmann & Costa (2012) a melhor agregação do solo aumenta o C no solo, evidenciando a importância da agregação para conservação da MOS. Rangel & Silva (2007) destacam que sistemas de manejos com ausência ou menor

mobilização do solo, tendem a aumentar C no solo, e Calegari et al. (2006) observaram que o preparo convencional contribui para a redução dos teores de COT no solo, portanto, todos ratificaram a influência do manejo na conservação do C no solo.

Nas camadas de 0,10-0,40 m, os modelos de restauração florestal não apresentaram diferenças entre si para estoque de COP, porém, todos apresentaram valores inferiores de estoque de COP em relação à floresta, sendo 127,7% maior em relação ao estoque dos modelos na média das camadas 0,10-0,40 m. A floresta apresentou 31,5% de COP em relação ao COT (Tabela 3).

Estudos realizados por Sollins et al. (1996) revelaram que a abundância de COP é altamente influenciada pelo tipo de vegetal presente, sendo que normalmente é mais abundante nas camadas superficiais do solo, devido ser somente protegida pela recalcitrância química, torna-se mais susceptível a ação dos microrganismos, ocorrendo maior taxa de decomposição, exigindo maior adição de resíduos.

Segundo Rossi (2012) em sistemas onde incide o maior aporte de biomassa, o acúmulo de C ocorre preferencialmente no COP, a qual é mais sensível do que o COT às alterações no manejo do solo. Nesse contexto destacando a influência negativa que os modelos Plantio total e nucleação podem ter sofrido em decorrência das práticas de manejos nelas aplicadas, em relação ao estoque de C. Figueiredo et al. (2010) destaca, que as principais alterações no C orgânico do solo por uso da terra ocorreram, sobretudo, no COP.

De acordo com Mansor (2012) comparando áreas com diferentes sistemas de usos e manejos, a mata nativa apresentou os maiores teores de COP sendo este um indício de que, nesse sistema ocorre uma maior proteção física da fração leve da MOS.

De maneira geral, todos os modelos de restauração florestal apresentaram percentuais de COP em níveis médios a alto, em relação ao estoque de COT. De acordo com Bayer et al. (2002); Bayer (2003), em solos com boa aeração sob clima subtropical, essa fração lábil da MOS representa, normalmente, de 10 a 20 % do estoque de COT do solo. Nascimento et al. (2009), encontrou para o CAM aproximadamente 70 a 80% do COT, e reiterou que isso representa a fração mais humificada da MOS. Esses valores são similares aos encontrados neste trabalho (Tabela 3)

A floresta apresentou o maior estoque de carbono associado aos minerais (CAM) nas camadas até 0,10 m. Na camada 0,0-0,05 m os modelos de restauração florestal apresentaram estoque de CAM muito inferiores ao da floresta com 108,3% superior ao Plantio total.

O maior acúmulo de CAM na floresta possivelmente esteja relacionado com o maior tempo de adição de resíduos sob o solo, mas principalmente, o acúmulo dessa fração se dá em função dos mecanismos de proteção coloidal da MOS, permitindo a mesma persistir por muito mais tempo estável, quando comparado com a fração COP (CHRISTENSEN, 1996).

Outro fator que pode explicar é a idade da floresta, pois plantios mais jovens apresentam menores teores de celulose e lignina, que aumenta com o passar dos anos, especificamente quando atinge a maturidade (BARRETO et al., 2008), o que pode resultar no aumento e na manutenção no estoque de C solo. Em estudos realizados por Monteiro e Gama-Rodrigues (2004) mostram que esses resíduos apresentam uma maior recalcitrância, conferindo uma maior resistência à decomposição.

O Plantio total na camada 0,05-0,10m, apresentou o menor estoque de CAM entre os modelos e a nucleação e a regeneração natural foram semelhantes. No entanto, todos os modelos apresentaram valores inferiores quando equiparadas com o estoque da floresta que é 59,1% superior ao Plantio total.

Esse resultado possivelmente esteja relacionado com o manejo da área, que acabam promovendo o fracionamento dos resíduos, contribuindo para maior decomposição da fração particulada. Com a redução do COP no solo, os microrganismos tenderam a buscar outras frações mais protegidas como o CAM, sendo que as práticas que movimentam o solo vão favorecer a chegada dos mesmos até essa fração.

Segundo Salton et al. (2011), é importante que o solo tenha um teor alto de COP, para garantir o fluxo de C no solo, mas também, para a manutenção da atividade biológica. Do contrário, os processos de decomposição da MOS, promoveram a redução do estoque de COT, especialmente na superfície do solo (LONGO & ESPÍNDOLA, 2000).

Confirmando, portanto, a influência do sistema de manejo no modelo Plantio total, onde ocorreu maior mobilização do solo e fragmentação dos resíduos podendo ter favorecido de modo geral a redução do estoque de CAM no solo. Para

Rangel & Silva (2007), sistemas de manejo com ausência ou menor revolvimento do solo apresentaram tendência em armazenar mais C no solo, caracterizados por sistemas conservacionistas.

O fato de a floresta apresentar o maior estoque de CAM tende a ser natural, em decorrência de estar em processo de sucessão com cerca de trinta anos, implicando em uma adição constante de todas as frações orgânicas no solo. Esse maior equilíbrio permite acumular grandes quantidades de C, especialmente o CAM, por apresentar maior resistência à degradação e por persistir conservado por maior escala de tempo no solo (RANGEL; SILVA, 2007).

Na camada 0,10-0,20 m, os modelos de restauração florestal não apresentaram diferenças entre si, no entanto, o modelo Plantio total apresentou valores de estoque de CAM 25,1% inferior à floresta. Esse resultado deve-se possivelmente ao preparo convencional da área, onde acaba gerando a mobilização do solo, nessa camada de forma mais agressiva na superfície do solo. Promovendo uma maior exposição do solo nas camadas superficiais e da MOS, favorecendo a oxidação da MOS (PORTELLA et al., 2012).

Na camada de 0,20-0,40 m, não foi observado diferenças entre os modelos e a floresta para o estoque de CAM, tendo em vista, que essas camadas mais profundas sofrem menos alterações em decorrências dos diferentes usos e manejos do solo (CAMPOS et al., 2011).

Segundo Santos et al. (2012) avaliando sistemas de manejos por curto período de tempo (quatro anos), os sistemas de manejo não influenciaram os teores de CAM. Bayer et al. (2004) avaliando plantio direto (PD), durante seis anos, sob quatro sistemas de cultura de outono na sucessão comercial soja-milho, sob um Latossolo Vermelho argiloso, também não encontrou diferenças para essa fração (CAM). De acordo com Baldock & Skejstad (2000), o CAM é menos afetado pelo uso e manejo do solo por pequenos períodos de tempo, em função de ser material altamente decomposto e estar estabilizados por interações com partículas minerais.

Os modelos de restauração florestal não apresentaram diferenças na camada 0,0-0,40 m para a relação de COP/COT. Entretanto, apresentaram valores inferiores em relação à floresta na camada 0,20-0,40m, sendo 104,3% maior ao percentual apresentado pela média entre os três modelos de restauração florestal nessa camada.

5.2 PARÂMETROS FÍSICOS

5.2.1 Agregados

Para o diâmetro médio ponderado (DMP) até 0,10 m, o modelo nucleação apresentou índice de agregação do solo inferior à regeneração natural e a floresta (Figura 10 A e 10 B). Entretanto, não se diferenciou do Plantio total na camada 0,0-0,05 m. Os modelos de regeneração natural e Plantio total, não apresentaram diferenças entre si e foram semelhantes à floresta com DMP de 2,78 mm na média das camadas 0,0-0,10 m, sendo 23,5% maior que o índice de agregação do solo na nucleação.

Esse resultado possivelmente esteja relacionado com a rápida cobertura do solo apresentada pela regeneração natural em decorrência da presença da vegetação pioneira, com algumas gramíneas, herbáceas, arbustos e espécies arbóreas, que apresentam um crescimento e fechamento rápido de dossel em toda a área (ANDRADE et al., 2009)

Essas características da regeneração natural e Plantio total, somado com o aumento de C, pode ter contribuindo positivamente para uma melhor agregação no solo nas camadas de 0,0 a 0,10 m. Schievenin et al. (2012), relata que a regeneração natural possui grande importância no processo de restauração de uma área, pois atua diretamente na cobertura do solo e no incremento da biodiversidade local.

No modelo de regeneração natural de forma geral, sempre ocorre um maior índice de espécies colonizadoras em toda área, o que resulta teoricamente em maior diversidade e densidade de raiz, que de certa forma, acabam contribuindo para uma maior formação e tamanho de agregados (SILVA & MIELNICZULK, 1997; SILVA et al., 2011 e VEZZANI & MIELNICZUK, 2011). Existindo um maior desenvolvimento de raízes, promove um ambiente propício para processos de ciclagem de nutrientes beneficiando a formação e estabilização dos agregados do solo (TISDALL & OADES, 1982).

Nesse contexto, o fornecimento contínuo de C pela serapilheira, juntamente com as excreções radiculares, atua na formação e estabilização de agregados, conferindo uma melhor estruturação do solo (CAMPOS et al., 1995;

CAMPOS & ALVES, 2008), o que pode ter contribuído para a regeneração natural ter apresentando um índice de agregação semelhante a floresta.

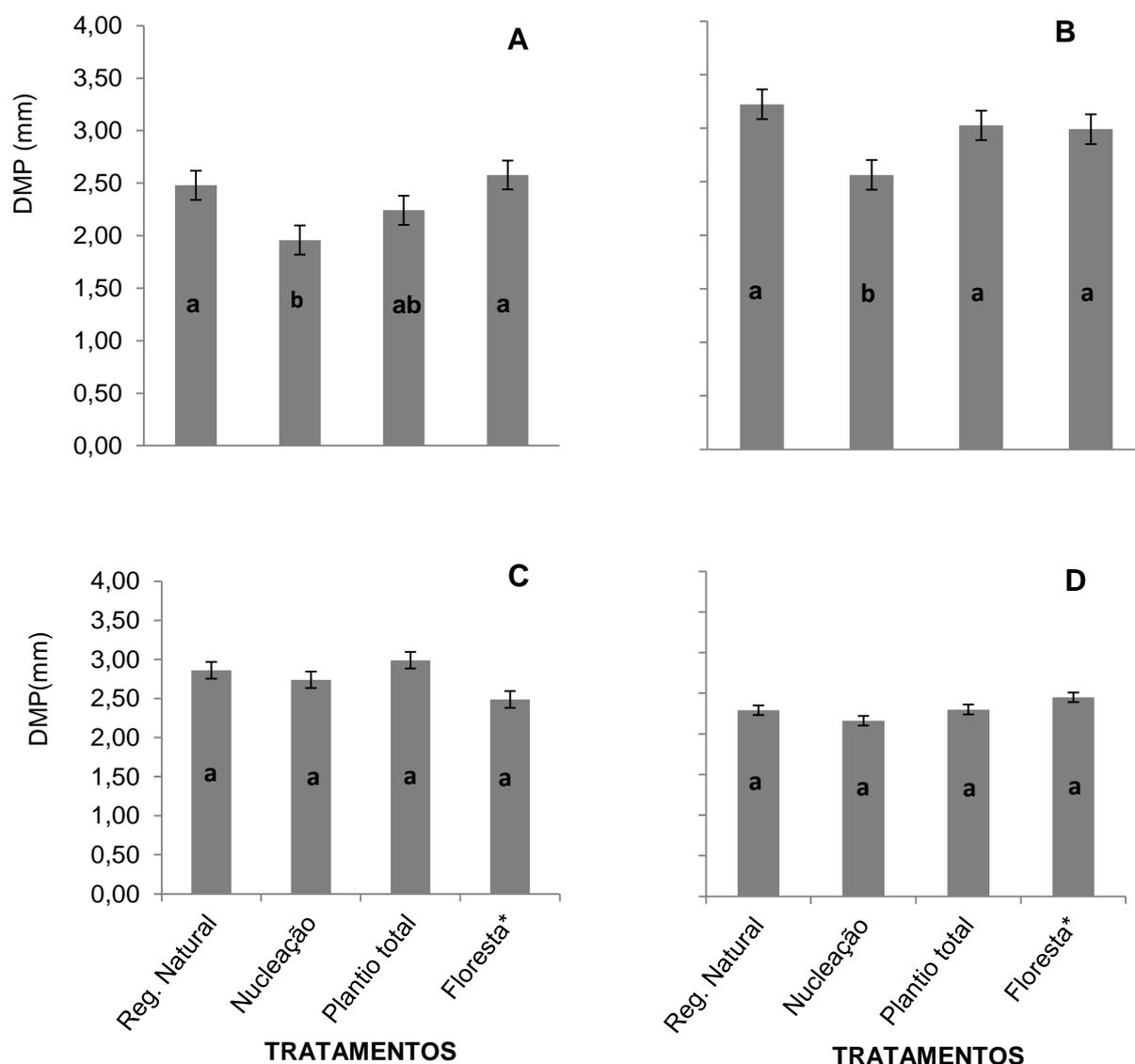


Figura 4 - Diâmetro médio ponderado (DMP) para agregados do solo na camada 0,0-0,05 m (A), 0,05-0,10 m (B), 0,10-0,20 m (C) e 0,20-0,40 m (D). Onde: Letras minúsculas comparam pelo teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. * tratamento referência. UTFPR, Pato Branco -PR, 2015.

A diferença de DMP dos agregados do solo entre a nucleação e regeneração natural nas camadas 0,0-0,10 m, pode estar ligada ao sistema de implantação dos modelos, onde uma consistiu de pequenos núcleos de diversidade e a outra na condução da vegetação nativa vegetada e banco de sementes natural do solo em área total, o que permitiu um rápido recobrimento do solo, maior densidade

de raízes e adição de serapilheira. Como são solos argilosos, somado a uma boa cobertura de resíduos pode ter contribuído para uma melhor agregação na regeneração natural. Efeitos positivos do C juntamente com a argila na formação e estabilização dos agregados são conhecidos (SILVA & MIELNICZUK, 1997; SANTOS et al., 2010; CARDOSO et al., 2011; VEZZANI & MIELNICZUK, 2011). Também, pode ter influenciado a agregação do solo nesses modelos, as práticas de preparo para implantação, onde, a nucleação passou por preparo do solo e a regeneração natural não.

Nas camadas de 0,10-0,40 m os modelos não mostraram diferenças entre si e em relação à floresta com DMP de 2,47mm na média das camadas (Figura 10 C e 10 D). Essa semelhança pode estar relacionada com o aumento da profundidade, onde as práticas de uso e manejo do solo tendem a reduzir seu efeito. Vasconcelos et al. (2010), mostram que as práticas de manejos que promovem maior mobilização e exposição do solo podem resultar na redução na estabilidade de agregados. Silva et al. (2011), também observou uma maior proporção de agregados maiores que 2 mm na camada de 0,0-0,05 m, e que foi reduzindo com aumento da profundidade. Isso corrobora com Oliveira (2012), que avaliando agregados estáveis em água, demonstrou uma redução com o aumento da profundidade. Adicional, tende a ocorrer uma redução da atividade biológica, da atuação de raízes (SILVA & MIELNICZUK (1997) e do teor de C (PORTUGAL et al., 2010). Dessa forma, a agregação do solo também tende a reduzir (OLIVEIRA 2010).

O modelo Plantio total na camada 0,0-0,05 m, apresentou o menor percentual de macroagregados no solo, 79,9%, sendo 3,9% menor a quantidade de macroagregados em relação à floresta (Tabela 4). Entretanto, a nucleação e a regeneração natural foram semelhantes com a floresta, que apresentou 83,1% de macroagregados. Isso possivelmente seja decorrência de maior atividade biológica, especialmente presença de grupos Acari e Collembolas no solo desses modelos (FRANCO et al., 2013), pois, esses organismos atuam na decomposição da MOS e promovem a agregação do solo (HOFFMANN et al., 2009).

No entanto, a regeneração natural e a nucleação após o plantio, por não passarem por práticas de manejo, conseguem recuperar a agregação do solo e estoque de C próximo à mata (BRAIDA et al., 2011; ZOTARELLI et al., 2012).

Na camada de 0,05-0,10 m, verificou-se que o Plantio total apresentou uma percentagem de macroagregados de 83,2%, sendo inferior a floresta com 89,7%,

mas não diferiu dos demais modelos. Essa redução de macroagregados no solo do Plantio total em relação à floresta foi de 7,2%%.

Tabela 4- Macroagregados >0,25mm (Ma), microagregados <0,25mm(Mi) e percentual de agregados > que 2 mm em uma área submetida a modelos de restauração florestal. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2015.

TRATAMENTOS	>0,25mm	<0,25mm	>2 mm
	-----%-----		
	0,0-0,05m		
Regeneração natural	84,65 a ($\pm 0,29$)	15,35 ($\pm 0,29$)	38,36 ab ($\pm 3,25$)
Nucleação	82,69 a ($\pm 1,02$)	17,31 ($\pm 1,02$)	31,07 b ($\pm 4,02$)
Plantio total	79,88 b ($\pm 2,04$)	19,12 ($\pm 2,04$)	36,12 ab ($\pm 3,28$)
Floresta	83,19 a ($\pm 1,31$)	16,81 ($\pm 1,31$)	43,59 a ($\pm 2,75$)
Teste F	8,26**	2,40 ^{ns}	4,88*
DMS	2,21	3,98	9,33
CV (%)	1,68	11,69	12,59
	0,05-0,10m		
Regeneração natural	87,28 ab ($\pm 2,56$)	12,72 ab ($\pm 2,56$)	56,63 a ($\pm 4,12$)
Nucleação	87,11 ab ($\pm 4,74$)	12,99 ab ($\pm 4,74$)	42,91 b ($\pm 1,35$)
Plantio total	83,02 b ($\pm 0,52$)	16,98 a ($\pm 0,52$)	53,00 a ($\pm 1,85$)
Floresta	89,75 a ($\pm 1,66$)	10,25 b ($\pm 1,66$)	52,12 a ($\pm 3,16$)
Teste F	4,28*	4,22*	7,24**
DMS	4,294	5,346	8,69
CV (%)	3,10	20,32	8,48
	0,10-0,20m		
Regeneração natural	87,21 ($\pm 1,38$)	12,79 ($\pm 1,38$)	49,70 ($\pm 2,74$)
Nucleação	86,75 ($\pm 2,39$)	13,25 ($\pm 2,39$)	47,59 ($\pm 2,10$)
Plantio total	87,42 ($\pm 3,96$)	12,58 ($\pm 3,96$)	48,45 ($\pm 1,89$)
Floresta	82,72 ($\pm 1,80$)	17,28 ($\pm 1,80$)	49,99 ($\pm 2,05$)
Teste F	0,95 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,16 ^{ns}
DMS	9,01	9,01	11,26
CV (%)	5,26	28,02	11,58
	0,20-0,40m		
Regeneração natural	81,77 ($\pm 3,41$)	18,23 ($\pm 3,41$)	39,22 ($\pm 4,20$)
Nucleação	83,61 ($\pm 3,30$)	16,39 ($\pm 3,30$)	37,92 ($\pm 2,62$)
Plantio total	84,22 ($\pm 2,85$)	15,78 ($\pm 2,85$)	39,02 ($\pm 2,36$)
Floresta	81,86 ($\pm 2,45$)	18,14 ($\pm 2,45$)	37,95 ($\pm 3,42$)
Teste F	2,24 ^{ns}	2,24 ^{ns}	0,05 ^{ns}
DMS	3,27	3,27	9,49
CV (%)	1,99	9,62	12,42

Onde: Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de cada profundidade não diferem estatisticamente entre si (\pm erro padrão). Foi aplicado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) e *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 = < p < .05$). ns não significativo.

No tratamento floresta não há práticas de preparo do solo, o que resulta em maior conservação e adição de C, maior atividade biológica propiciando maior

estabilidade de agregados maiores. Pinheiro et al. (2011) avaliando riqueza e densidade de fauna do solo e da serapilheira desses tratamentos, encontrou maiores índices na área de floresta. Luciano et al. (2010) observaram melhor agregação do solo em floresta natural, a qual pode ter sido influenciada pela atividade biológica. No entanto, o modelo Plantio total, recebeu práticas silviculturais, que acabaram promovendo mobilização do solo, exposição da MOS, contribuindo para redução de macroagregados. Santos et al. (2012) destaca o percentual maior de agregados grandes em sistemas com menor nível de antropização, justificando que o uso e manejo do solo promovem alterações negativas na estrutura do solo.

Nesse contexto, técnicas que tem como objetivo a manutenção e conservação da qualidade do solo necessitam garantir a cobertura do solo no ano inteiro, para proteger o solo, aumentar MOS e reduzir a degradação (MIELNICZUK, 1988; VASCONCELOS et al., 2010). Dessa forma, as práticas de manejo que revolvam o solo tende a reduzir a estabilidade de agregados (ARAÚJO et al., 2010). O que foi corroborado neste estudo, pois o Plantio total obteve menor percentual de agregados grandes em relação a floresta na camada 0,0-0,05 m, sendo 29,2% a menos de macroagregados no solo (Tabela 4).

Na camada 0,05-0,10 m o Plantio total apresentou 16,9% de microagregados do solo sendo superior ao do solo da floresta com 10,2%, mas, não apresentou diferenças com os demais modelos, essa redução de microagregados na floresta tende a ser natural, em decorrência de ser um sistema mais equilibrado, muito em função do maior teor de C, portanto, resultando em uma maior estabilidade de agregados do solo (CASTRO FILHO, 1998).

Quanto aos agregados > 2 mm, não houve diferenças estatísticas entre os modelos na camada 0,0-0,05 m, entretanto, a nucleação apresentou um percentual inferior à floresta, sendo de 22,7% na média das camadas de 0,0-0,10 m. Esse resultado pode estar relacionado ao fato da nucleação apresentar o menor DMP em relação a floresta, pois os macroagregados são mais sensíveis às práticas de manejos, em contrapartida, são os que mais contribuem para o aumento do DMP (ROZANE et al., 2010). Nesse caso, a redução de agregados > 2 mm pode ter contribuído também para a redução do DMP nessas camadas, (Figura 10 A e 10 B). Essa melhor agregação na floresta é resultante do acúmulo de MOS ao longo dos anos, maior densidade de raízes (VEZZANI & MIELNICZUK, 2011) e atividade biológica, (LUCIANO et al., 2010; PINHEIRO et al., 2011).

Os valores de macro, microagregados e agregados > 2 mm não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados para as camadas abaixo 0,10-m (Tabela 4), pois, os efeitos dos tratamentos tendem a reduzir o efeito com o aumento da profundidade do solo.

A maior agregação encontrada de forma geral na floresta ocorre pela maior e constante adição de serapilheira, o que permite um maior acúmulo de C, e maior riqueza e densidade de espécies de fauna de solo em relação aos demais modelos (PINHEIRO et al., 2011).

5.2.2 Densidade e Porosidade do solo

Na camada de 0,0-0,05 m, todos os modelos apresentaram valores superiores de densidade do solo ao da floresta, que foi de 0,99 Mg m⁻³ e não apresentaram diferenças entre si, variando de 1,03 a 1,05 Mg m⁻³ (Tabela 5). Esse resultado da floresta pode estar relacionado com o estoque de C mais alto na superfície do solo, em decorrência da contínua e maior adição de serapilheira sob o solo, onde a MOS apresenta uma densidade menor em relação a fração mineral do solo (LAURINDO et al., 2009), contribuindo para a redução da densidade do solo (ANDRADE et al., 2009).

De modo geral, todos os tratamentos apresentaram menores valores de densidade do solo na camada 0,0- 0,05 m, comprovando a influência da MOS, maior densidade de raízes e atividade biológica atuando na superfície do solo, concordante com Prevedello et al. (2007) e Gama- Rodrigues et al. (2008).

Viana et al. (2011) estudando quatro tipos de uso e manejo do solo sob um Latossolo vermelho, confirmou que os menores valores de densidade se apresentam nas áreas sob mata nativa (estacional semidecidual), em relação aos demais usos, cultivo de mandioca, cana de açúcar e pastagem.

A regeneração natural e Plantio total na camada 0,05-0,10 m apresentaram os valores mais altos de densidade do solo. O modelo nucleação apresentou uma densidade menor em relação aos demais modelos sendo 1,12 Mg m⁻³, e 9,8% mais elevado que a floresta com 1,02 Mg m⁻³ (Tabela 5).

A menor densidade do solo apresentada pela floresta em relação aos demais modelos de restauração florestal pode estar relacionada ao maior equilíbrio encontrado em ecossistemas naturais, aonde o tempo forneceu condições favoráveis

para manutenção e conservação dos atributos físicos. A MOS na floresta pode ter contribuindo para a redução da densidade do solo (LUCIANO et al.,2010).

Tabela 5- Densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) em uma área submetida a modelos de restauração floresta. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2015.

TRATAMENTOS	Ds ---Mg m ⁻³ ---	Ma -----m ³ m ⁻³ -----	Mi	Pt
	0,0-0,05 m			
Regeneração Natural	1,03 b (±0,021)	0,26 bc (±0,005)	0,30 b (±0,022)	0,56 b (±0,002)
Nucleação	1,04 b ± (0,011)	0,28 b (±0,057)	0,35 a (±0,005)	0,63 a (±0,003)
Plantio total	1,05 b ± (0,005)	0,25 c (±0,045)	0,34 ab (±0,02)	0,59 b (±0,010)
Floresta	0,99 a ± (0,022)	0,37 a (±0,02)	0,27 c (±0,046)	0,64 a (±0,031)
Teste F	6,75**	18,23**	9,19**	14,88**
DMS	0,03	0,024	0,05	0,03
CV (%)	1,77	5,26	8,11	3,16
	0,05-0,10 m			
Regeneração Natural	1,19 c (±0,023)	0,18 b (±0,009)	0,39 a (±0,086)	0,57 b (±0,047)
Nucleação	1,12 b (±0,041)	0,23 ab (±0,070)	0,38 ab (±0,009)	0,61 ab (±0,006)
Plantio total	1,22 b (±0,032)	0,21 b (±0,006)	0,36 ab (±0,023)	0,57 b (±0,062)
Floresta	1,02 a (±0,070)	0,30 a (±0,009)	0,32 b (±0,008)	0,62 a (±0,081)
Teste F	57,70**	4,40*	2,39*	3,87*
DMS	0,05	0,09	0,06	0,05
CV (%)	2,06	21,08	11,33	4,51
	0,10-0,20m			
Regeneração Natural	1,22 c (±0,024)	0,19 (±0,023)	0,38 (±0,048)	0,57 (±0,021)
Nucleação	1,13 ab (±0,003)	0,21 (±0,041)	0,39 (±0,029)	0,60 (±0,008)
Plantio total	1,19 bc (±0,014)	0,23 (±0,008)	0,36 (±0,036)	0,59 (±0,009)
Floresta	1,07 a (±0,019)	0,28 (±0,025)	0,34 (±0,009)	0,62 (±0,020)
Teste F	8,53**	1,84 ^{ns}	1,16 ^{ns}	1,33 ^{ns}
DMS	0,09	0,11	0,124	0,07
CV (%)	3,94	21,32	16,8	6,09
	0,20-0,40m			
Regeneração Natural	1,22 c (±0,201)	0,13 b (±0,024)	0,42 (±0,005)	0,55 c (±0,022)
Nucleação	1,12 ab (±0,002)	0,17 b (±0,008)	0,43 (±0,043)	0,60 b (±0,003)
Plantio total	1,19 bc (±0,002)	0,18 b (±0,007)	0,41 (±0,007)	0,59 b (±0,009)
Floresta	1,02 a (±0,055)	0,26 a (±0,061)	0,37 (±0,012)	0,63 a (±0,045)
Teste F	11,07**	6,50*	1,43 ^{ns}	20,32**
DMS	0,08	0,08	0,07	0,03
CV (%)	4,41	22,25	9,66	2,54

Onde: Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de cada profundidade não diferem estatisticamente entre si (± erro padrão). Foi aplicado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p <.01) e *significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05). ns não significativo.

Quanto aos modelos de restauração florestal, mesmo a nucleação tendo apresentado diferenças estatísticas significativas, nota-se que para o parâmetro densidade do solo, os quatros anos não foram suficientes para equiparar os modelos

com floresta. Esse resultado mostra que que áreas onde há alguma prática de manejo, tende-se a apresentar valores de densidade maior que áreas naturais, muito em função da movimentação humana, tráfego de máquinas e implementos, que provocam a compactação do solo (KLEIN, 2008; ANDRADE et al., 2009; VIANA et al., 2011), mas também, pelo tipo de manejo e vegetação do solo (SPERA et al., 2004).

Nas camadas 0,10-0,40 m a nucleação apresentou densidades semelhantes com a floresta e o Plantio total e foi diferente da regeneração natural. Com o aumento da profundidade pode-se verificar que a nucleação tendeu a assemelhar-se com floresta. As densidades variaram de 1,07 a 1,2 Mg m⁻³ na camada 0,10-0,20 m e de 1,02 a 1,22 Mg m⁻³ na camada 0,20-0,40 m.

O fato de a regeneração natural ter apresentando diferenças com nucleação e a floresta, pode estar condicionado ao efeito da ausência de preparo, e possivelmente, a maior densidade seja resquício do histórico de uso da área nesse modelo. O maior equilíbrio encontrado em ecossistemas naturais como a floresta, pode contribuir para apresentar condições adequadas dos seus atributos físicos (ANDREOLA et al., 2000).

Para o parâmetro porosidade total do solo na camada 0,0-0,05 m, a nucleação apresentou o maior volume de poros entre os modelos sendo 0,63 m³ m⁻³, mostrando-se semelhante à floresta com 0,64 m³ m⁻³ (Tabela 5). A nucleação obteve 6,7% mais poros no solo em relação ao Plantio total e 12,5% a mais que a regeneração natural. Os demais modelos de restauração florestal obtiveram volumes de poros inferiores à nucleação e a floresta

Esse aumento da porosidade total do solo no modelo nucleação possivelmente ocorre em função do maior volume apresentado de microporos, pois, a microporosidade alta contribui para elevar o volume de porosidade total no solo (ALBUQUERQUE et al., 2001).

Viana et al. (2011) avaliando quatro tipos de uso e manejo do solo sob um Latossolo vermelho, também, verificaram que a floresta apresentou maior volume de macroporosidade e menor volume de microporosidade do solo, em relação aos sistemas de usos e manejos comparados.

Vale salientar que todos os parâmetros apresentaram valores dentro dos níveis aceitáveis, mas o que se busca na restauração, são valores, semelhantes à condição de origem da floresta (CAMARGO e ALLEONI, 1997). De forma geral, camadas cultivadas dos solos argilosos tendem a ter um volume de porosidade total

de 0,40 a 0,65 m^3m^{-3} de solo (PREVEDELLO, 1996), estando o solo de nosso estudo dentro dos níveis. Segundo Camargo e Alleoni (1997), um solo ideal deve apresentar 50% de volume de poros totais que na capacidade de campo, teria 33,5% ocupado pela água e 16,5% ocupado pelo ar. O que se verifica que todos os modelos de restauração florestal de maneira geral, apresentam volumes superiores de poros, indicando um bom processo de recuperação das propriedades físicas do solo. Silveira Junior et al. (2012), relatam que valores de macroporos inferiores a 0,10 m^3m^{-3} ou 10% podem comprometer as trocas gasosas e dificultar o crescimento radicular de boa parte das culturas. Nesse caso, verifica-se que todos os valores estão acima do valor restritivo.

Na camada 0,05-0,10 m os modelos de restauração florestal não apresentaram diferenças estatística entre si para os parâmetros porosidade total e macroporosidade do solo. Entretanto, o modelo nucleação com 0,61 m^3m^{-3} de porosidade total, sendo 0,23 m^3m^{-3} de macroporos, foi à única que se apresentou semelhante à floresta com 0,62 m^3m^{-3} de poros totais e 0,30 m^3m^{-3} de macroporos possivelmente por decorrência de maior diversidade biológica nesse modelo, pois em termos de diversidade é a que tenta aproximar o mais perto possível das condições naturais.

O fato de a nucleação assemelhar-se com a floresta em volume de macroporos por estar relacionado com a menor densidade apresentada na camada 0,05-0,10 m entre os modelos (Tabela 5), pois, a densidade influencia diretamente no volume de poros do solo. Em contrapartida, a regeneração natural apresentou uma maior densidade nessas camadas, o que pode ter contribuído para um maior volume de microporos na camada.

Na camada 0,10-0,20 m, os modelos de restauração florestal não apresentaram diferenças estatísticas entre si e com relação à floresta porosidade total, macro e microporosidade do solo (Tabela 5). Wendling et al. (2012) avaliando sistemas de usos do solo, como floresta de pinus, pastagem e plantio direto em um Latossolo Vermelho, também revelam que a porosidade total do solo não variou estatisticamente entre os tipos de uso do solo na profundidade de 0,10-0,20 m.

Na camada de 0,20-0,40 m todos os modelos de restauração florestal apresentaram volumes de porosidade total do solo inferiores à floresta com 0,63 m^3m^{-3} , entretanto, a regeneração foi a que apresentou o menor volume de poros, com 0,55 m^3m^{-3} e sendo 74,5% composto de microporos, além disso, apresentou o volume de

macroporos mais próximo da faixa restritiva para desenvolvimento das plantas na camada 0,20-0,40 m, sendo de 13% de uma porosidade total de 55 % do solo.

Para o parâmetro microporosidade os modelos não apresentaram diferenças estatísticas em relação à floresta. Entretanto, para macroporosidade todos os modelos de restauração florestal apresentaram volumes inferiores de macroporos em relação à floresta.

5.3 PARÂMETROS QUÍMICOS DO SOLO

5.3.1 Nitrogênio total e relação C/N

Para o teor de NT no solo até 0,20 m não ocorreram diferenças entre os modelos, sendo que todos apresentaram um teor de NT inferior à floresta. Na camada 0,05m a floresta com 4,81 g kg⁻¹ de solo, apresentou um teor de NT no solo de 133,5% maior que a regeneração natural na camada 0,0-0,05 m (Tabela 6).

Essa redução do teor de NT nos modelos em relação a floresta pode estar relacionada com o maior estoque de COP e CAM nessas camadas na floresta (Tabela 3), pois, o acúmulo dessas frações no solo contribui para aumentar o teor de NT no solo e fica evidenciado o efeito do C, principalmente da fração COP. Por isso, solos de floresta tende a decompor e depender de maior quantidade de resíduos, pois a maior quantidade N no solo favorece a atuação dos decompositores.

Por outro lado, os modelos por terem passado por uma supressão da vegetação na troca do uso do solo, tendem a ter menores concentrações de C e N nas primeiras camadas do solo, ocasionado pela perda da MOS estável por decomposição devido ao revolvimento do solo (VASCONCELLOS et al.,2013).

Os modelos foram reduzindo seus teores de NT com o aumento da profundidade numa proporção média em entorno de 5,0 a 10,0% de camada para camada, já na floresta essa proporção foi maior que 25,0% ocorrendo uma redução de 32,0% da camada de 0,10- 0,20 m para a camada 0,20-0,40 m, mostrando, que mesmo tendo maior teor de C na camada (Figura 9), acabou reduzindo NT no solo. Isso ocorre por que com o aumento da profundidade tende a ocorrer uma redução da MOS e da atividade dos microrganismos, sendo assim, reduzindo uma das principais fontes de N no solo (NEU, 2005).

Tabela 6- Nitrogênio total (NT) e relação Carbono/Nitrogênio no solo em uma área submetida a modelos de restauração florestal. UTFPR, Campus Pato Branco-PR, 2015.

TRATAMENTOS	NT		C/N
	-----gkg ⁻¹ -----		
	0,0-0,05m		
Regeneração natural	2,06 b (± 0,012)		11,46 ab (± 0,081)
Nucleação	1,77 b (± 0,025)		12,44 a (± 0,632)
Plantio total	1,88 b (± 0,041)		11,29 ab (± 1,721)
Floresta	4,81 a (± 0,051)		8,93 b (± 0,453)
Teste F	18,28**		4,67*
DMS	0,51		2,73
CV (%)	9,85		12,49
	0,05-0,10m		
Regeneração natural	1,81 b (± 0,003)		11,27 a (± 0,288)
Nucleação	1,65 b (± 0,021)		12,16 a (± 0,835)
Plantio total	1,67 b (± 0,018)		10,11 a (± 1,145)
Floresta	3,63 a (± 0,016)		6,82 b (± 0,092)
Teste F	19,28**		18,92**
DMS	0,34		2,13
CV (%)	8,01		10,68
	0,10-0,20m		
Regeneração natural	1,60 b (± 0,002)		10,77 a (± 0,025)
Nucleação	1,67 b (± 0,028)		10,68 a (± 0,714)
Plantio total	1,78 b (± 0,024)		8,81 ab (± 0,587)
Floresta	2,76 a (± 0,039)		7,98 b (± 0,624)
Teste F	16,51**		7,36**
DMS	0,53		2,02
CV (%)	13,65		10,28
	0,20-0,40m		
Regeneração natural	1,34 b (± 0,0)		11,01 ab (± 0,182)
Nucleação	1,87 a (± 0,037)		8,38 b (± 1,274)
Plantio total	1,70 ab (± 0,016)		7,42 b (± 0,148)
Floresta	1,86 a (± 0,006)		11,20 a (± 1,513)
Teste F	6,51*		26,25**
DMS	0,38		3,21
CV (%)	11,01		14,91

Onde: Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de cada profundidade não diferem estatisticamente entre si (± erro padrão). Foi aplicado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p <.01) e *significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05). ns não significativo.

Os modelos de restauração florestal não apresentaram diferenças entre si para a relação C/N no solo em todas as camadas, exceto na camada 0,0-0,05 m e 0,20-0,40 m todos os modelos apresentaram uma relação C/N maior que o solo sob floresta. O fato dos modelos não demonstrarem diferenças entre si para a todas as camadas, pode ser resultado da semelhança ocorrida também para o COP (Tabela

3), tendo em vista, que essa fração está diretamente ligada com a relação C/N do solo, pois, é fonte de C e N.

Nesse contexto, o aumento da fração COP no solo da floresta, indica possivelmente maior ciclagem de nutrientes, sendo o N em maiores concentrações, contribuindo para o maior teor de NT, o que influencia na redução da relação C/N no solo sob floresta até a camada 0,20 m. Vieira et al., (2014) avaliando as alterações de C/N de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais, encontrou menor relação C/N na floresta quando comparados com os demais tratamentos, pastagens e teca.

Para Assis et al. (2006), o cultivo do solo reduz os teores de NT e C no solo em relação a floresta. No entanto, os sistemas que proporcionam um balanço positivo de NT no solo promovem um maior acúmulo de C no solo (URQUIAGA et al., 2010), corroborando com o fato de a floresta ter apresentando o maior teor de NT e C no solo. Para Campos et al. (2013), a redução da mineralização e maior estabilidade da MOS aumenta os teores de NT e C no solo.

Na camada 0,0-0,05 m a nucleação apresentou um valor médio de relação C/N de 12,44, sendo 39,3% maior quando equiparado ao solo da floresta com 8,93. Na camada de 0,05-0,10 m os modelos apresentaram uma proporção média de 63,6% maior que a floresta e na camada 0,10-0,20 m a regeneração natural e a nucleação com foram 34,3% superiores ao C/N da floresta. A floresta apresentou uma relação C/N de 11,20 na camada de 0,20-0,40 m (Tabela 6).

Com o aumento da profundidade, a floresta diminuiu a mineralização da MOS, pois existe uma redução da atividade de microrganismos (SILVA & MIELNICZULK, 1997), sendo que reduziu significativamente o NT no solo (Tabela 5), mas, no entanto, continuou adicionando material humificado no perfil do solo e aumentando o teor de C no solo (Figura 9), aumentando assim, a relação C/N no solo nessa camada. Esse resultado foi diferente dos resultados de Mello et al. (1983) apud Santos, (2007), onde os mesmos relatam que com o aumento da profundidade do solo a relação C/N tende a diminuir. No entanto, com a redução do NT na camada 0,20-0,40 m, possivelmente ocorreu uma menor degradação da MOS, permitindo assim, aumentar o estoque de COP (Tabela 3) e conseqüentemente, aumentar a relação C/N nessa camada. Para Stevenson, (1994), a MOS apresenta uma relação C/N de 10 a 12, portanto, de modo geral, todos os tratamentos apresentaram uma relação C/N dentro desses níveis.

5.3.2 Acidez Ativa (pH-H₂O), Acidez Potencial (H+Al) e Alumínio Trocável (Al³⁺)**Tabela 7-** Parâmetros de acidez do solo: acidez ativa (pH-H₂O), acidez potencial (H+Al) e alumínio trocável (Al³⁺), em uma área submetida a modelos de restauração florestal. Campus Pato Branco-PR, 2015.

TRATAMENTOS	pH H ₂ O	H+Al	Al ³⁺
	-----Cmol _c dm ⁻³ -----		
	0,0-0,05m		
Regeneração natural	5,50 (±0,013)	4,67 b (±0,007)	0,00 (±0,0)
Nucleação	5,30 (±0,061)	4,75 b (±0,047)	0,07 (±0,006)
Plantio total	5,30 (±0,058)	4,70 b (±0,050)	0,01 (±0,003)
Floresta	5,30 (±0,025)	6,20 a (±0,022)	0,03 (±0,020)
Teste F	2,35 ^{ns}	25,21**	4,82 ^{ns}
DMS	1,22	0,56	0,85
CV(%)	2,91	5,61	22,54
	0,05-0,10m		
Regeneração natural	5,40 (±0,055)	4,90 b (±0,127)	0,05 (±0,001)
Nucleação	5,30 (±0,054)	4,70 b (±0,176)	0,30 (±0,002)
Plantio total	5,30 (±0,043)	4,70 b (±0,059)	0,15 (±0,0)
Floresta	5,20 (±0,049)	6,00 a (±0,085)	0,21 (±0,015)
Teste F	3,22 ^{ns}	8,05*	6,09 ^{ns}
DMS	1,23	0,75	0,65
CV (%)	2,25	5,68	29,88
	0,10-0,20m		
Regeneração natural	5,40 (±0,051)	4,90 b (±0,044)	0,22 b (±0,025)
Nucleação	5,30 (±0,052)	4,50 b (±0,029)	0,51 b (±0,0)
Plantio total	5,40 (±0,086)	4,70 b (±0,212)	0,34 b (±0,027)
Floresta	5,20 (±0,072)	5,58 a (±0,059)	1,01 a (±0,005)
Teste F	2,43 ^{ns}	12,56*	7,79*
DMS	1,15	0,58	0,38
CV (%)	2,95	6,25	38,44
	0,20-0,40m		
Regeneração natural	5,40 (±0,081)	4,90 b (±0,871)	0,30 b (±0,218)
Nucleação	5,40 (±0,039)	4,50 b (±0,090)	0,85 b (±0,061)
Plantio total	5,30 (±0,056)	4,70 b (±0,077)	0,66 b (±0,065)
Floresta	5,20 (±0,028)	5,99 a (±0,340)	1,89 a (±0,032)
Teste F	3,45 ^{ns}	10,52*	10,78*
DMS	1,45	0,43	0,68
CV (%)	3,26	7,49	35,75

Onde: médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (± erro padrão). Foi aplicado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) e *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$). ns não significativo.

Para os parâmetros de acidez do solo, verificou-se que para os valores de acidez ativa (pH-H₂O) e alumínio trocável (Al³⁺) não ocorreram diferenças entre os modelos e, também, foram similares a floresta, exceto abaixo de 0,10 m onde a

floresta apresentou maior concentração de alumínio trocável (Tabela 7). Os valores de pH estão na faixa de 5,1- 6,0 e Al^{3+} com variação de 0- 1,89 $Cmol_c dm^{-3}$. Os valores são considerados “baixo a médio” para pH e “muito baixo a baixo ” para Al^{3+} até 0,10 m, abaixo dessa camada, as concentrações já são interpretadas como média para pH e “baixa a alta” para Al^{3+} , podendo prejudicar o desenvolvimento no caso do solo da floresta (COMISSÃO..., 2004).

Para acidez potencial (H+AL) no solo, o que pode se verificar que a floresta apresentou maior concentração de H+ AL no solo em todas as camadas, no entanto, possivelmente esse efeito é minimizado pela ação da MOS, que tende a complexar o Al, inibindo o seu efeito tóxico para as plantas (VANCE et al., 1996).

Resultados semelhantes de maiores concentrações de Al^{3+} em solo de floresta foram encontrados por Neto et al. (2007), que ainda citam que solos de floresta normalmente apresentam em profundidades concentrações elevadas de alumínio.

Também, é possível verificar que houve uma pequena redução da acidez do solo na área com os modelos em relação a análise realizada no período de implantação do experimento em 2010 (Tabela 2), mas deve-se considerar a diferença (maior em aproximadamente 0,4 para o pH em água) entre as metodologias de determinação usadas.

Em conjunto, os resultados demonstram que a acidez do solo tende a aumentar das camadas superficiais para as camadas mais profundas, onde o solo da floresta obteve os menores valores de pH (muito baixo- baixo) em relação aos modelos testados. O mesmo foi verificado por Filho et al. (2013) e Carneiro et al. (2009), os quais relatam ser normal que em áreas de vegetação natural as concentrações de pH em camadas mais profundas sejam menores que em áreas agrícolas.

5.3.3 Atributos Químicos (P, K, Ca, Mg, SB, CTC e V%)

Para o teor de P disponível no solo verificou-se que não ocorreram diferenças entre os modelos em todas as camadas avaliadas, no entanto, até 0,10 m todas apresentaram valores superiores ao teor do solo sob floresta, e abaixo de 0,10 m, somente a nucleação com teor de 1,80 e 1,20 $mg dm^{-3}$ apresentou um teor semelhante a floresta com 1,65 e 1,10 $mg dm^{-3}$, nas camadas 0,10-0,20 e 0,20-0,40

m, respectivamente (Tabela 8). Esses valores são considerados “muito baixos”, o que pode comprometer o desenvolvimento das plantas (COMISSÃO..., 2004).

Na camada 0,0-0,05 m os modelos apresentaram teores de P interpretado como “médio a alto” (COMISSÃO..., 2004). A floresta abaixo da camada 0,05 m apresentou teores considerados como “muito baixo”, sendo inferior que $2,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (Tabela 8) e os modelos de baixo e muito baixo (COMISSÃO..., 2004). Esse teor muito baixo na floresta pode ser explicado pelo fato que mesmo existindo maior ciclagem de P, existe uma grande taxa de absorção de P pela floresta, contribuindo para a redução do mesmo, ou retenção no solo (NOVAIS & SMITH, 1999). Para Gatiboni et al. (2007) os solos com pouca ou sem adição de P no solo, o P orgânico torna-se a principal fonte disponível para absorção das plantas. Sendo assim, possivelmente, o P inorgânico que foi determinado, talvez não expresse a real condição P do solo da floresta.

O fato dos modelos terem apresentado maiores teores de P nas camadas superficiais do solo, possivelmente esteja atrelado adubação de correção realizada na implantação dos modelos Plantio total e nucleação, onde foram aplicados 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 o que equivale a $52,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de P disponível para as plantas, sendo considerado como teor de P “muito alto” para solos muito argilosos (COMISSÃO..., 2004). Essa dosagem de P permitiu que os modelos apresentassem um teor maior que a floresta, em função do P ser pouco móvel no solo, o que também contribui para o fato de ter reduzido com o aumento da profundidade (NUNES, 2011). Tomasi et al. (2012), verificou concentrações mais elevados de P no solo na camada de 0,0 a 0,10 m, sendo similar com o estudo. No entanto, a regeneração natural, por não ter passado por processo de correção com adubação fosfatada, esse teor médio de P, pode ser em decorrência da ciclagem da MOS, confirmando o fato de ter apresentado teor de COP semelhante a floresta na camada 0,0-0,05 m (Figura 9). Pois, essa fração mais lábil tende a aumentar o P disponível, em decorrência da competição pelos sítios de adsorção no solo (ANDRADE et al., 2003).

Ao compararmos os resultados encontrados para as concentrações de P com a análise realizada antes da implantação da área com os modelos de restauração, pode-se verificar que ocorreu uma redução do teor de P na camada 0,0-0,05 m (Tabela 8), onde era classificado com um teor “alto”, decaindo para concentração “baixa” (COMISSÃO..., 2004). Essa redução ocorreu possivelmente em função da absorção do P no solo pelas plantas, pois em condições naturais, os solos

altamente intemperizados e com alto teor de argila, tendem a ser deficientes em P disponível, em função da presença de óxidos de ferro e alumínio no solo que acabam adsorvendo o P (VILAR et al., 2010). Desse modo, o solo passa a competir com as plantas pelo P, deixando de ser fonte e se tornando dreno (ZAIA et al., 2008).

Na camada 0,05-0,10 m, o Plantio total aumentou o teor de P no solo que era classificado como um nível baixo elevando para um teor médio com 4,30 mg dm⁻³, um aumento médio de 29,3%, já os demais modelos mantiveram o mesmo teor, considerado médio (Tabela 8). Na camada 0,10-0,20 m, o modelo nucleação manteve o P em teores muito baixo, sendo menor que 2,0 mg dm⁻³ e as demais modelos apresentaram um leve aumento, elevando para um teor médio (2,1 a 4,0 mg dm⁻³) (COMISSÃO..., 2004). Essa melhora, deve-se em partes a correção de adubação realizada na implantação, mas, também deve-se considerar que a vegetação presente em cada um dos modelos faz uso desse nutriente, mas, repõem, via ciclagem do P no solo.

Resultados semelhantes foram verificados por Tomasi et al. (2012) avaliando um Latossolo sob diferentes sistemas de usos, atribuindo as concentrações mais altas em superfície e a queda com o aumento da profundidade ao efeito da biociclagem principalmente pela baixa mobilidade do P no solo (SOUZA; ALVES, 2003; SILVEIRA; STONE, 2001).

Ainda em relação às concentrações de P, pode-se verificar que o solo sob floresta foi diferente estatisticamente em relação aos solos sob os modelos de restauração principalmente nas camadas superficiais (até 0,10 m). Isso se deve ao fato de que a área onde foram implantados os modelos de recuperação florestal foi utilizada por vários anos para atividades agropecuárias, com isso, na implantação de culturas anuais era realizada a adubação mineral com fertilizante fosfatado e também por ter sido aplicado adubação fosfatada e incorporada na implantação dos modelos na área a ser recuperada.

Para as concentrações de K disponível verificou-se que o solo sob os três sistemas de restauração florestal obteve maiores valores nas camadas superficiais (até 0,10 m), e que foram diminuindo consideravelmente com o aumento da profundidade, sendo maior a diminuição a partir dos 0,10 m. Esses valores de K encontrados são interpretados como “muito alto” (COMISSÃO..., 2004). Os menores valores de K disponível foram encontrados na floresta, onde na média do Plantio total

e a nucleação obtiveram teores de K disponível de 184,4% maior com relação à floresta na camada 0,0-0,05 m (Tabela 8).

Tabela 8- Atributos químicos do solo em uma área submetida a modelos de restauração florestal. Campus Pato Branco-PR, 2015.

TRATAMENTOS	P	K	Ca	Mg
	---mg dm ³ ---	-----Cmolc dm ⁻³ -----		
-----0,0-0,05m-----				
Regeneração natural	5,90 a (± 0,223)	0,68 ab (± 0,212)	3,15 (± 0,022)	2,87 (± 0,460)
Nucleação	5,50 a (± 1,340)	0,88 a (± 0,011)	3,42 (± 0,013)	2,85 (± 0,043)
Plantio total	6,30 a (± 1,025)	0,94 a (± 0,013)	3,42 (± 0,067)	3,06 (± 0,045)
Floresta	2,25 b (± 0,023)	0,32 b (± 0,006)	3,18 (± 0,015)	2,63 (± 0,012)
Teste F	6,79	8,33**	3,46 ^{ns}	2,47 ^{ns}
DMS	2,84*	0,43	0,32	0,45
CV (%)	22,28	27,80	10,02	8,07
-----0,05-0,10m-----				
Regeneração natural	3,80 a (± 0,074)	0,36 (± 0,225)	2,38 b (± 0,023)	2,42 (± 0,897)
Nucleação	3,10 a (± 1,043)	0,59 (± 0,001)	3,01 a (± 0,042)	2,26 (± 0,021)
Plantio total	4,30 a (± 1,338)	0,59 (± 0,029)	2,86 a (± 0,014)	2,40 (± 0,018)
Floresta	1,65 b (± 0,001)	0,26 (± 0,028)	2,50 b (± 0,030)	2,02 (± 0,006)
Teste F	10,12*	3,78 ^{ns}	17,98**	2,68 ^{ns}
DMS	1,35	0,36	0,27	0,43
CV (%)	19,85	39,27	5,25	8,87
-----0,10-0,20m-----				
Regeneração natural	2,30 a (± 0,628)	0,23 (± 0,309)	1,82 b (± 0,004)	2,01a (± 0,510)
Nucleação	1,80 ab (± 0,163)	0,33 (± 0,003)	2,26 a (± 0,041)	1,88 ab (± 0,085)
Plantio total	2,50 a (± 0,650)	0,38 (± 0,015)	2,25 a (± 0,029)	1,94 a (± 0,025)
Floresta	1,10 b (± 0,003)	0,25 (± 0,013)	1,75 b (± 0,005)	1,49 b (± 0,023)
Teste F	9,25*	3,75 ^{ns}	11,51**	8,23*
DMS	0,75	0,24	0,32	0,40
CV (%)	15,25	35,10	8,04	11,28
-----0,20-0,40m-----				
Regeneração natural	1,70 a (± 0,386)	0,17 (± 0,101)	1,32 b (± 0,015)	1,51 a (± 0,217)
Nucleação	1,20 ab (± 0,042)	0,23 (± 0,003)	1,61 a (± 0,036)	1,30 ab (± 0,058)
Plantio total	1,80 a (± 0,376)	0,27 (± 0,014)	1,63 a (± 0,011)	1,41a (± 0,022)
Floresta	0,58 b (± 0,059)	0,26 (± 0,010)	1,24 b (± 0,010)	0,97 b (± 0,007)
Teste F	7,19**	2,97 ^{ns}	9,73*	6,67*
DMS	0,83	0,18	0,25	0,35
CV (%)	20,78	55,0	6,1	13,86

Onde: Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de cada profundidade não diferem estatisticamente entre si (± erro padrão). Foi aplicado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p <.01) e *significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05). ns não significativo.

Quando correlacionado os teores que antecedia a implantação dos modelos (tabela 2) com o momento da avaliação, o que se verificou após esse período que a nucleação e o Plantio total, elevaram suas concentrações de K em 15,3 e 30,5%

na nucleação e Plantio total, respectivamente na camada 0,0-0,05m. A regeneração natural teve uma redução. Esse aumento pode ser influência da aplicação de 49,79 kg ha⁻¹ de K, aplicados no plantio, pois, se a floresta apresenta concentrações mais baixa e a regeneração que não recebeu adubação reduziu em relação concentração inicial nessa camada, tudo indica que seja efeito do uso da adubação potássica.

Na camada 0,10m a floresta apresentou concentrações de K considerada muito alta e alta, (COMISSÃO..., 2004), sendo acima de 97 mg de K/dm³. O acúmulo de nutrientes, principalmente P e K nas camadas superficiais do solo na área em recuperação, podem ser oriundos da decomposição dos tecidos das plantas presentes no local, com a liberação desses nutrientes nas camadas superficiais (PAVINATO& ROSOLEM, 2008).

Resultados semelhantes foram encontrados por Carneiro et al. (2009), o quais verificaram que vários atributos químicos (dentre eles o K) foram maiores nessas camadas dentre as áreas sob diferentes manejos e uso do solo e também quando comparadas a área de vegetação natural. Estudo realizado por Mafra et al. (2008), indicaram uma queda das concentrações de K em solo sob vegetação arbórea nessas camadas. De forma geral, o K apresentou concentrações “muito alta e alta” no solo (COMISSÃO...,2004).

Em relação as concentrações de Ca no solo, não ocorreram diferenças entre os modelos de restauração florestal e foram similares a floresta até a camada 0,05 m, já abaixo dessa camada, a nucleação e o Plantio total apresentaram as maiores concentrações de Ca no solo (tabela 8).

Nas camadas abaixo de 0,10 m, a regeneração natural apresentou uma concentração média de 18,9% menor em relação às concentrações dos demais modelos, e foi similar a concentração de Ca do solo sob floresta (Tabela 8).

Essa redução de Ca pode ser em decorrência da falta de calagem, mas também, pela exportação de nutrientes pelas culturas anteriores, já no caso da floresta e regeneração natural, pode ser pelo fato que grandes concentrações desse elemento estejam na biomassa dos troncos, o que não retorno ao solo para ciclagem (BRINKMANN & NASCIMENTO, 1973 apud NEU, 2005).

A concentração de Ca trocável no solo acima dos 0,10 m nos tratamentos é considerada como “média”, variando de 3,42 a 2,38 cmolc dm⁻³, já na camada 0,10-0,20 m, a regeneração natural e a floresta reduziram as concentrações de Ca, caindo para uma concentração “baixa”, menor que 2 cmolc dm⁻³ e na camada

0,20-0,40 m, todos os modelos apresentaram valores considerados como “baixo” (COMISSÃO..., 2004).

As concentrações de Ca trocável no solo reduziram em relação a análise inicial (Tabela 2), onde era classificada como “alta” na camada 0,0-0,05 m, decaindo para concentração “média”, uma redução média dos três modelos de 29,3% em relação ao momento da implantação. Na camada 0,05-0,10 m a redução foi de 43,4% no modelo regeneração natural e menos de 31,2% nos demais modelos e na camada 0,10- 0,20 m, essa redução média foi de 51,2% na regeneração e 39,5% nos demais modelos (Tabela 8).

Essa redução de Ca no solo ocorre possivelmente por que as plantas dos modelos absorveram e continuam absorvendo o Ca trocável no solo para o desenvolvimento das espécies, especialmente onde há maior demanda, no caso, a floresta e a regeneração natural, por ter maior densidade de espécies vegetais absorvendo, o que pode ter contribuído para menor absorção da nucleação e Plantio total. Essa falta de calagem pode ser comprovada com fato dos modelos terem apresentando pH baixo, menor que 5,5, e com concentrações de Ca médias

Para a concentração Mg disponível no solo, não houve diferença entre os modelos, no entanto, abaixo de 0,10 m, a nucleação apresentou-se similar com a floresta, que apresentou uma concentração de $1,49 \text{ cmolc dm}^{-3}$ na camada 0,10-0,20 m e $0,97 \text{ cmolc dm}^{-3}$ na camada 0,20-0,40 m (tabela 8). Os tratamentos apresentaram concentrações consideradas “alta” em todas as camadas, exceto a floresta que apresentou uma concentração “média” na camada 0,20-0,40 m (COMISSÃO..., 2004).

Quando relacionado as concentrações de Mg disponível no solo com a análise que antecedeu a instalação do experimento (Tabela 2), pode-se verificar que ocorreu uma redução nessas concentrações, sendo em média dos três modelos de 12,4,13,2 e 74,4% na camada 0,0-0,05 m, 0,05-0,10 m 0,10-0,20 m, respectivamente. Salienta-se que abaixo de 0,20 m, não foi avaliado na fase inicial, portanto, não tem comparação. Mesmo com essa redução nas concentrações de Mg disponível no solo, pode se afirmar que não foram alterações muito expressivas, tendo em vista que os valores eram classificados como “alto”, e assim, permaneceram estabilizados (COMISSÃO..., 2004), mesmo com as prováveis perdas por lixiviação e pela própria absorção das plantas (PAVAN et al., 1982).

Para os valores de soma de bases (SB), não ocorreu diferenças entre os modelos e somente na camada 0,0-0,05 m os modelos apresentaram concentrações

semelhantes a floresta. Abaixo dessa camada, os modelos obtiveram concentrações superiores, exceto na camada 0,05-0,10 m, onde a regeneração natural com 5,16 cmolc dm^{-3} de SB não apresentou diferenças estatísticas com a floresta (Tabela 9).

O modelo regeneração natural apresentou o menor valor de CTC no solo na camada 0,0-0,05 m, com 11,33 cmolc dm^{-3} , e foi 6,9% menor em relação à média dos demais modelos e a floresta. Abaixo da camada de 0,05 m não houve diferenças entre os modelos e com a floresta, exceto na 0,20-0,40 m, onde a nucleação apresentou menor CTC em relação à floresta (Tabela 9). Os valores de CTC foram interpretados como “médio” (COMISSÃO..., 2004).

A fertilidade desses tratamentos é interpretada como média, nesse caso, como busca-se o efeito dos modelos, precisa que se tenha uma melhora da fertilidade, o que vai ocorrer com o tempo, pois é um processo lento, dependente de MOS e atividades biológicas para decompor e fazer a ciclagem (RODRIGUES et al., 2007). Com o aumento da profundidade, ocorreu uma redução de CTC nos tratamentos, possivelmente em função da redução de MOS, pois, grande parte dos nutrientes está condicionada aos conteúdos de MOS (RODRIGUES et al., 2007).

Na saturação da CTC por bases (V%) na camada 0,0-0,05 m, verificou-se que não houve diferença entre os modelos, no entanto, todas apresentaram valores superiores das concentrações de V% obtidas na floresta, que foi 14,7% menor em relação à média dos modelos (Tabela 9). Contudo, todos os tratamentos foram interpretados como “baixo”, com saturação de bases variando entre 51,05 a 61,1 cmolc dm^{-3} (COMISSÃO..., 2004).

O modelo regeneração natural apresentou o menor valor de V% na camada 0,05-0,10 m, os demais modelos não apresentaram diferenças entre si, no entanto, a floresta, foi que apresentou menor valor entre os tratamentos, sendo 12,6% menor a relação a regeneração natural e 19,1% quando comparada à média dos demais modelos. Mesmo ocorrendo variações significativas entre os modelos, as concentrações de V% no solo, são tidas como “baixo” para ambas, no entanto, a floresta é interpretada como um V% “muito baixo” nessa camada (COMISSÃO..., 2004).

Abaixo da camada de 0,10 m, não houve diferenças estatísticas entre os modelos, no entanto, ocorreu variação nas faixas de interpretação do V%, onde a regeneração natural foi considerada como “muito baixo” e os demais modelos como “baixa”, assim como, a floresta que apresentou o menor valor de V% entre os

tratamentos na camada 0,10-0,20 m (Tabela 9). Na camada abaixo de 0,20 m, todas foram interpretadas como “muito baixo”, com V% variando de 29,33 a 41,43 cmolc dm⁻³ (COMISSÃO..., 2004). Segundo Rodrigues et al. (2007), abaixo de 0,20 m, a V%, assim, como demais atributos químicos, tendem a reduzir, influenciados pela redução de MOS, que é uma importante fonte de nutrientes em sistemas florestais.

Tabela 9- Soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação da CTC por bases (V%) em uma área submetida a modelos de restauração florestal. Campus Pato Branco-PR, 2015.

TRATAMENTOS	SB	CTC (pH 7,0)	V%
0,0-0,05m			
Regeneração natural	6,71 (± 0,022)	11,33 a (± 0,032)	59,33 a (± 1,189)
Nucleação	7,15 (± 0,327)	12,08 b (± 0,063)	59,16 a (± 0,127)
Plantio total	7,42 (± 0,046)	12,16 b (± 0,083)	61,10 a (± 1,235)
Floresta	6,13 (± 0,095)	12,32 b (± 0,169)	51,05 b (± 1,347)
Teste F	2,29 ^{ns}	4,38*	20,50**
DMS	1,46	0,83	3,94
CV (%)	10,77	3,51	3,44
0,05-0,10m			
Regeneração natural	5,16 ab (± 0,066)	10,08 (± 0,115)	51,26 b (± 0,471)
Nucleação	5,86 a (± 0,442)	10,57 (± 0,416)	55,36 a (± 1,316)
Plantio total	5,85 a (± 0,008)	10,54 (± 0,059)	55,58 a (± 1,559)
Floresta	4,78 b (± 0,038)	10,78 (± 0,078)	44,78 c (± 0,228)
Teste F	10,12**	1,66 ^{ns}	39,68**
DMS	0,66	0,89	3,18
CV (%)	6,23	4,29	3,09
0,10-0,20m			
Regeneração natural	4,06 a (± 0,185)	9,05 (± 0,113)	44,80 a (± 0,101)
Nucleação	4,47 a (± 0,119)	9,03 (± 0,950)	49,66 a (± 1,265)
Plantio total	4,56 a (± 0,111)	9,27 (± 0,328)	49,19 a (± 1,151)
Floresta	3,48 b (± 0,065)	9,06 (± 1,083)	38,85 b (± 1,084)
Teste F	12,97**	3,12 ^{ns}	13,24**
DMS	0,54	0,62	5,48
CV (%)	6,58	5,80	6,05
0,20-0,40m			
Regeneração natural	2,99 a (± 0,077)	7,97 ab (± 0,000)	39,77 a (± 1,590)
Nucleação	3,14 a (± 0,083)	7,64 b (± 0,000)	41,03 a (± 2,051)
Plantio total	3,32 a (± 0,116)	7,99 ab (± 0,000)	41,43 a (± 0,957)
Floresta	2,46 b (± 0,029)	8,45 a (± 0,000)	29,39 b (± 0,877)
Teste F	8,71**	4,04*	17,63**
DMS	0,50	0,65	5,27
CV (%)	8,58	4,80	7,10

Onde: Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de cada profundidade não diferem estatisticamente entre si (± erro padrão). Foi aplicado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade (p <.01) e *significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05). ns não significativo

Esse aumento de V% no solo sob modelos em relação a floresta possivelmente pelo histórico de aplicação calcário quando foi utilizado culturas anuais. Quando verificado o efeito dos modelos na V% comparado a análise inicial (tabela 2), pode se observar que houve uma redução na média dos três modelos de mais de 11,7% na camada 0,0-0,05 m, considerado como “médio”, reduziu para uma faixa tido como “baixo”. Na camada 0,05-0,10 m, ocorreu uma redução de 19,7% na regeneração natural e 13,1% na média dos demais modelos, no entanto, não alterou a faixa de interpretação, que permaneceu como “médio”. Na camada 0,10-0,20 m, a nucleação apresentou uma redução de 19,8%, decaindo para uma concentração “muito baixa” e as demais modelos obtiveram uma redução média de 24,1%, mas permanecendo com concentrações interpretadas como “baixa” (COMISSÃO..., 2004).

Chaves et al. (2012), verificaram um aumento de SB e V% em Latossolo Vermelho com diferentes usos do solo em relação ao solo da floresta, de acordo com os autores esses atributos foram maiores nas áreas onde houve adubação e calagem do solo para a implantação das culturas.

Os valores de V% tenderam a serem maiores sob o solo com os modelos de restauração em relação a área de floresta em todas as camadas, possivelmente pelo fato de que o valor de pH encontrado sob o solo dos modelos de restauração ecológica serem ligeiramente maiores que os verificados no solo sob floresta, ou seja, quanto maior o pH maior o V% devido a maior concentração e disponibilidade de bases trocáveis, especificamente Ca e Mg.

Em termos gerais, os valores encontrados para as concentrações de pH, Ca, Mg, SB, CTC e V% do solo, mostraram-se semelhantes entre os modelos e maior que os observados no solo da área de floresta, sendo esses resultados corroborados pelos encontrados por Macedo et al. (2009). Mesmo a floresta tendo apresentado teores considerados “baixos”, vale salientar que a mesma está em fase secundária de desenvolvimento, portanto, se torna um dreno de nutrientes, para produção de biomassa, e mesmo tendo maiores estoque de C e teor de MOS, a floresta não atingiu um balanço de nutrientes positivos. No entanto, segundo Odum, (1988), as florestas apresentam um mecanismo que é translocar elementos minerais armazenados em tecidos velhos para tecidos jovens, fator esse importante, para complementar a ciclagem de nutrientes no solo.

Esse fator pode ser comprovado pelo modelo regeneração natural, que por apresentar maior densidade de espécies, no curto espaço de tempo, está

reduzindo a fertilidade do solo, por ser mais drenado do que fonte, além de, não ter recebido adubação na implantação. Pois, a maior demanda de nutrientes ocorre nos estágios mais jovens, em decorrência da maior atividade fisiológica (FURTINI NETO et al., 1999).

Outro fator, segundo Pinto et al. (2009) é que a qualidade da serapilheira varia de uma floresta mais madura para uma em estado inicial, onde a madura apresenta mais qualidade, no entanto, a inicial apresenta uma renovação maior, desse modo, os nutrientes são usados de modo mais eficaz. Sendo assim, a floresta pode ter apresentado uma fertilidade menor, mas com maior qualidade, no sentido que apresenta mais C e NT no solo (Tabela 3 e Tabela 6), no entanto, essa melhoria nos modelos pode ser em função do maior processo de renovação foliar e ciclagem. Salgado et al. (2006), demonstraram que áreas com vegetação natural em estágio avançado de desenvolvimento acumulam os nutrientes principalmente na parte aérea e nas raízes, ou seja, nas folhas e nas camadas mais profundas do solo.

5.4 AVALIAÇÃO BIOLÓGICA DO SOLO

Com relação a respiração microbiana do solo não houve diferenças entre os modelos e a floresta no intervalo de 0-7 dias. No intervalo de 7 a 14 os modelos apresentaram emissões de C-CO₂ semelhantes à floresta, no entanto, a nucleação e Plantio total, foram inferiores a regeneração, emitiu 9,3% a mais que a floresta (Tabela 10). Nesse caso, as maiores concentrações de N e relações C/N consideradas baixas podem ter favorecido o processo de decomposição da MOS e aumentando a emissão de C-CO₂ (VIEIRA et al., 2014).

Essas variações na emissão de C-CO₂ são chamadas de efeito priming, (KUZNETSOV et al. (2000), onde a estimulação da atividade microbiana pela adição de resíduos orgânicos e/ou maior disponibilidade de MOS prontamente decomponível, ou seja, com uma relação C/N menor, favorece a aceleração da decomposição da MOS, ocasionando aumentos na evolução de C-CO₂ (LOSS et al., 2013). A maior concentração de serapilheira aumenta atividade biológica. Peña et al. (2005), avaliando emissão de C-CO₂ em folhas, húmus e parte mineral, afirmou que ocorreu maiores emissões C-CO₂ na camada de folhas, independentemente da estação do ano e fase sucessional da floresta, reiterando que a mesma está relacionado com o teor de MOS.

No intervalo de 14 aos 21 dias o modelo nucleação apresentou menor emissão de C-CO₂ em comparação aos demais modelos, que apresentaram emissões similares à floresta, que emitiu 47,5% a mais que a nucleação.

Essa menor emissão de C-CO₂ apresentando no modelo nucleação, pode ter uma redução de atividade microbiológica no solo e maior eficiência do modelo em reduzir a emissão de C-CO₂, pela conservação da MOS, tornando-se dreno de C, sendo comprovado pelos resíduos de maior relação C/N comparados a própria floresta (PEÑA et al., 2005).

Tabela 10- Emissão de C-CO₂ durante período de incubação (em intervalo de dias) nos modelos de restauração florestal e na floresta. UTFPR. Pato Branco, 2015.

TRATAMENTOS	Emissão de C-CO ₂ (mg de C-CO ₂ kg ⁻¹ de solo)					
	0-7 dias	7-14 dias	14-21 dias	21-28 dias	28-35 dias	0-35 dias
Reg. Natural	57,25 (±1,07)	78,98 a (±3,32)	52,90 a (±0,97)	43,13 (±0,85)	78,68 b (±1,74)	310,93 bc (±3,85)
Nucleação	47,77 (±2,02)	57,25 b (±1,15)	40,98 b (±1,12)	50,56 (±0,97)	79,83 b (±1,68)	276,41 c (±2,98)
Plantio total	52,30 (±1,25)	63,05 b (±2,48)	56,61 a (±1,48)	40,68 (±1,83)	102,69 ab (±2,45)	315,34 ab (±4,24)
Floresta	59,28 (±0,98)	72,22 ab (±1,77)	60,47 a (±0,60)	46,81 (±1,41)	110,96 a (±1,13)	349,76 a (±3,78)
Teste F	1,13ns	5,80*	15,90**	1,89ns	6,13*	13,72**
DMS	19,30	15,88	8,39	12,48	25,12	35,79
CV %	17,94	11,78	8,01	13,87	13,59	5,17

Onde: Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de cada profundidade não diferem estatisticamente entre si (± erro padrão). Foi aplicado o Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$) e *significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 = < p < .05$). ns não significativo.

Islam e Weil (2000), concluíram que altas taxas de respiração podem ser benéficas ou não, podendo ser um distúrbio ou grande produtividade do ecossistema, nesse contexto, a floresta por apresentar quase o dobro de C no solo, tende a ser benéfico. Para Bayer et al. (2006), sistemas que acumulem maior aporte de resíduos no solo com maiores concentrações de C e N, promovem o aumento da MOS e aumentam o influxo de CO₂ no solo. Isso mostra que existe um balanço positivo entre as entradas e saídas de C do solo, do contrário sistemas que mobilizam o solo, existe um déficit de C, ou seja, tende de apresentar menor teor de MOS, menor atividade biológica e por proporções emite menos, mas não conserva C no solo (MEDEIROS et al., 2011).

Dos 21 aos 28 dias, os tratamentos não apresentaram diferenças entre os modelos, já no intervalo dos 28 aos 35 dias, ocorreram os maiores picos de emissões de C-CO₂, tendo a floresta os maiores picos emissões, refletindo a maior atividade microbiana no solo (Tabela 10).

De maneira geral, a floresta apresentou as maiores emissões em todos os intervalos, isso ocorre pelo maior teor de MOS, NT e resíduos com menor relação C/N apresentando pela floresta em relação aos três modelos, isso proporciona maior quantidade de alimento para atividade biológica. Nesse caso da floresta, existe um equilíbrio entre decomposição pelos microrganismos e reposição de MOS, o que pode não acontecer nos modelos que apresente maior atividade microbiológica, com reposição insuficiente de serapilheira, esse desequilíbrio, promove a redução da MOS, atividade biológica e perda da fertilidade.

De acordo com Silveira et al. (2006) e Alves et al. (2011), nos solos de floresta ou vegetação nativa, é esperado encontrar valores quase sempre maiores e as vezes semelhantes de atividade microbiana quando comparados a solos com outros tipos de vegetação ou que já foram cultivados. Quando os valores encontrados são maiores é pelo fato de que no solo da floresta a microbiota seja favorecida pela cobertura vegetal que propicia maior acúmulo de material orgânico e, conseqüentemente, maior fonte de nutrientes para o desenvolvimento da comunidade microbiana.

Também é possível observar que houve diferença entre os períodos de aumento e diminuição da intensidade, ou seja, dos picos de atividade dos microrganismos do solo. A atividade da microbiota começou mais lentamente e foi evoluindo no decorrer do período, tendo um pico de emissões no intervalo de 7-14

dias, e decaindo até os 28 dias, atingindo o pico de emissão aos 35 dias pós-incubação (Tabela 10).

Essas oscilações de picos e estabilização da emissão de C-CO₂ que ocorreram no solo dos modelos de restauração avaliadas podem ser explicadas pelo consumo da MOS por meio da microbiota (CARVALHO et al., 2008). Quando os microrganismos se alimentam da MOS disponível, liberam C-CO₂, o que ocasiona os picos observados, mas, quando eles morrem pela falta de alimento disponível a emissão de C-CO₂ diminui. Dessa maneira, torna-se um ciclo onde os organismos que morreram são utilizados como fonte de energia pelos demais, que se multiplicarão gerando novo pico de emissão (CARVALHO et al., 2008; FRENCH et al., 2009).

No acumulado de C-CO₂ de 0-35 dias pode-se constatar que somente o Plantio total apresentou uma taxa de emissão semelhante a floresta, sendo que o modelo nucleação apresentou um menor acúmulo de emissões de C-CO₂ em relação ao Plantio total (Tabela 10).

Para a evolução de C-CO₂ do solo, pode-se verificar que os modelos de restauração florestal obtiveram uma evolução muito semelhante entre eles durante o período de incubação (Figura 11). Contudo, pode se observar que a nucleação apresentou a menor emissão acumulada de C-CO₂ no solo em relação aos demais tratamentos. O Plantio total aparece como intermediário entre nucleação e regeneração natural até dia 28 após incubação, e em seguida assemelhasse com a regeneração natural.

A floresta apresentou maior respiração microbiana no solo aos 35 dias após incubação, possivelmente pelo maior teor de MOS, NT e menor C/N, conferindo maior atividade da microbiota na decomposição do material, impulsionando a respiração microbiana no solo, por outro lado, os modelos por apresentarem menor teor de MOS, NT e maior C/N (Tabela 6). Após esse período de incubação foi possível verificar a redução na respiração, possivelmente pela redução da quantidade e qualidade dos resíduos (GAMA-RODRIGUES et al., 2005).

Segundo Loss et al. (2013), é um comportamento esperado que pode ser devido à qualidade da MOS, pois em área de floresta tem maior diversidade vegetal. Com isto tem-se aporte vegetal oriundo de muitas espécies arbóreas com diferentes sistemas radiculares, culminando na formação de uma MOS diferenciada, podendo estimular a atividade de diferentes tipos de bactérias.

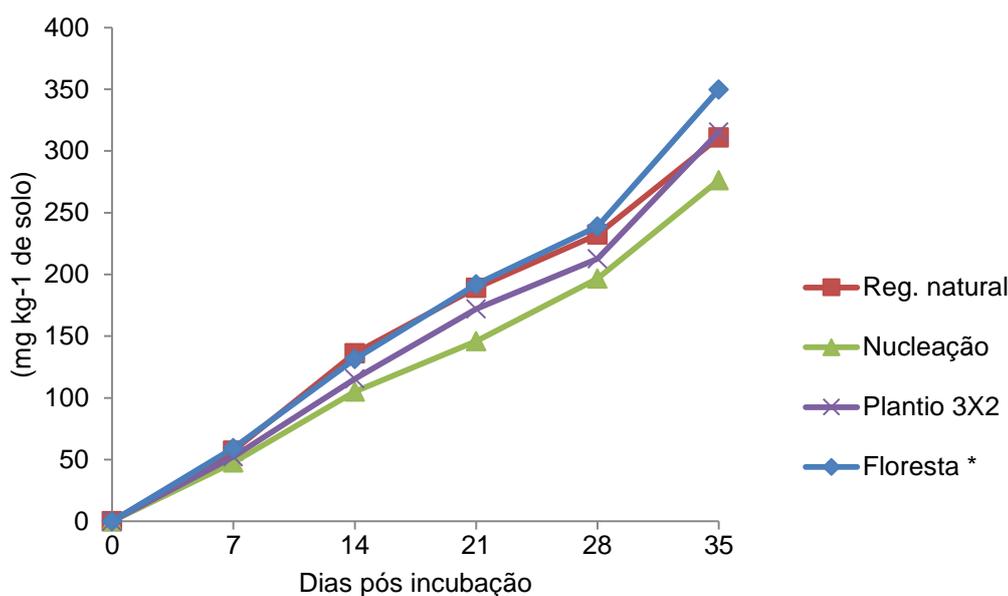


Figura 5- Evolução de C-CO₂ do solo (em dias pós-incubação) nos modelos de restauração florestal e * tratamento referência. UTFPR, Pato Branco -PR, 2015.

Medeiros et al. (2011) avaliando um sistema de PD com 20 anos e um sistema PC em um Latossolo Vermelho, destacam que a emissão é maior no sistema PD em decorrência do aumento de C e atividade biológica. Permitindo analisar que sistemas que passaram por processos de mobilização do solo como o caso da nucleação e Plantio total, tende a ter uma redução de C e atividade biológica e conseqüentemente menor emissão de C-CO₂, sendo assim, torna-se importante, ter bem definido o objetivo final, pois, o solo tende nesse caso, tornasse apenas fonte de emissão de CO₂ e não dreno.

Outra explicação para os resultados verificados é a influência da sazonalidade na dinâmica do fluxo de CO₂ do solo (SILVA et al., 2012). O que de acordo com Dias (2006), em estudo realizado em áreas de floresta nativa, os autores verificaram que os maiores fluxos foram obtidos no período chuvoso, o que indica que a disponibilidade de água e a temperatura do solo foram os principais condicionadores da produção do C-CO₂.

Um fator que pode justificar também a maior respiração microbiana pode ser o fator densidade do solo, onde de forma geral, a floresta apresentou valores menores em relação os modelos, pois, o maior adensamento das partículas reduz a atividade biológica, conseqüentemente reduz a emissão de CO₂ no solo (NOVARA et al., 2012).

5.5 ÍNDICE PONDERADO DE QUALIDADE DE RESTAURAÇÃO

O índice geral de 0-0,40m identificou qual o modelo que possui predominância de diferenciação em relação a floresta (referencia), expressando o maior conjunto de parâmetros com características ou qualidades semelhantes ou até mesmo, superior à do solo sob florestal.

Tabela 11- Índice Ponderado de Qualidade de Restauração nos modelos de restauração florestal e na floresta. UTFPR. Pato Branco, 2015.

PARÂMETROS	MODELOS												SUB TOTAL		
	RN	N	P	RN	N	P	RN	N	P	RN	N	P	RN	N	P
	0,0-0,05m			0,05-0,10m			0,10-0,20m			0,20-0,40m			0,00-0,40m		
COT (g kg ⁻¹)															
COP (g kg ⁻¹)	1			1	1		1						3	1	
COT (Mg ha ⁻¹)															
COP (Mg ha ⁻¹)	1			1									2		
CAM (Mg ha ⁻¹)							1	1					1	1	
COP/COT (%)															
DMP (mm)	1		1	1		1	1	1	1	1	1	1	4	2	4
>0,25 mm	1	1		1	1								2	2	
<0,25mm				1	1								1	1	
>2mm	1		1	1		1							2		2
Ds (Mg m ⁻³)								1			1			2	
Pt (m3m ⁻³)		1			1									2	
Ma (m3m ⁻³)					1									1	
Mi ((m3m ⁻³)					1	1								1	1
NT (gkg ⁻¹)											1	1		1	1
C/N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			4	3	3
p H H2O															
H+Al	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4
Al							1	1	1	1	1	1	2	2	2
P (mg dm ⁻³)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4
K (cmoc dm ⁻³)	1	1	1										1	1	1
Ca (cmoc dm ⁻³)				1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3
Mg (cmoc dm ⁻³)							1	1	1	1	1	1	2	2	2
SB (%)				1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3
CTC (p H 7,0) (%)		1	1							1		1	1	1	2
V %	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4
C-CO ₂			1												1
TOTAL	10	8	9	12	12	9	11	11	9	10	10	10	43	41	37

RN= Regeneração Natural, N= Nucleação e P= Plantio total. (Obs. No subtotal mostra o índice acumulado por cada parâmetro em todas as camadas e no TOTAL, mostra o índice acumulado na soma de todas os parâmetros para cada camada, sendo que na última coluna e última linha obtêm-se o valor total do índice de qualidade de restauração para os respectivos modelos).

O Índice também mostra os parâmetros que ainda se apresentam com qualidade inferior dentro à da área de referência, que, portanto, vão precisar de maior escala de tempo para atingir esse objetivo. Ao analisar o Índice proposto percebe-se que no conjunto dos dados e das profundidades (0-0,40m) o número de indicadores que se diferenciaram da referência (mata) foi muito similar. No entanto o sistema Plantio Total foi o que teve a menor soma de indicadores (37) que se diferenciaram da mata. Na camada superficial (0- 0,05m) também houve o menor número de indicadores diferenciando-se da referência. A pequena variação de indicadores entre os tratamentos estudados demonstra que os sistemas ainda estão em fase de consolidação e que estudos futuros tornam-se necessários para o acompanhamento do comportamento dos indicadores de solo face a reorganização dos sistemas.

6 CONCLUSÕES

Segundo Índice Ponderado de Qualidade de Restauração o modelo de restauração florestal com maior potencial de recuperação dos atributos do solo após três anos de condução é a regeneração natural.

A regeneração natural e Plantio total apresentaram a melhor agregação do solo, sendo semelhante à floresta na camada 0,0-0,10 m e sem diferenças abaixo desta.

O modelo nucleação apresentou a menor densidade do solo na camada 0,05-0,10 m, sendo mais alta que da floresta, e foi similar nas camadas abaixo de 0,10 m do solo.

A nucleação apresentou um volume de porosidade total similar à floresta nas camadas superficiais do solo (0,0-0,10 m), e não ocorreu diferença entre os modelos abaixo de 0,10 m, onde a floresta apresentou um volume superior de porosidade total do solo.

Os modelos de restauração florestal apresentaram estoques menores de carbono orgânico total e carbono orgânico particulado e carbono orgânico associado aos minerais em todas as camadas em relação a floresta.

Os modelos de restauração florestal apresentaram atributos químicos do solo em concentrações semelhantes ou maiores que os encontrados na floresta.

O modelo Plantio total apresentou as maiores emissões de C-CO₂ do solo. A maior respiração microbiana ocorreu no intervalo dos 28 aos 35 dias, onde houve o maior pico de emissões de C-CO₂, tendo a floresta como maior emissão, sendo semelhante ao Plantio total.

Após 3 anos de experimento, verificou-se que o efeito dos modelos de restauração florestal nos atributos e carbono do solo abrange basicamente as camadas mais superficiais do solo (0,0-0,10 m).

7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Jackson Adriano; SANGOI, Luis. & ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.25.n.3, p.717-723, 2001.

ALVARENGA, Maria Inês Nogueira; DAVIDE, Antônio Cláudio. Características físicas e químicas de um Latossolo vermelho-escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 23. p. 933-942, 1999.

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. **Kooppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift. p.18, 2013.

ALVES, Tatiane dos Santos; CAMPOS, Lizia Lenza; NETO, Nicolau Elias; MATSUOKA, Márcia; LOUREIRO, Maria Fátima. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.

ANDERSON, J.P.E. Soil respiration. In: PAGE, A.L.; MILLER, R.H.; KEENEY, D.R. (eds.). Method of analysis. 2ed. part 2. Madison, American Society of Agronomy. **Soil Science Society of América**. p.831-871, 1982.

ANDRADE, Felipe Vaz; MENDONÇA, Eduardo de Sá; ALVAREZ, Victor Hugo V.; NOVAIS, Roberto Ferreira. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27:p.1003-1011, 2003.

ANDRADE, Rui da S; STONE, Luís F. & SILVEIRA, Pedro M. da. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.4, p.411-418, 2009.

ANDREOLA, Faustino. **Propriedade Físicas e Químicas do solo e Produção de feijão e de milho em uma Terra Roxa Estruturada em resposta à cobertura Vegetal de inverno e à adubação orgânica e mineral**. 1996. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.

ANDREOLA, Faustino; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 24, n. 3, p. 857-865, 2000.

ARAÚJO, Fernando Silva; SALVIANO, Adeodato Ari Cavalcante; LEITE, Luiz Fernando. Carvalho; SOUZA, Zigomar Menezes; SOUSA, Allan Charlles. M. Physical quality of a Yellow Latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34, p.717-723, 2010.

ARCOVERDE, Gustavo Felipe Balu ; ALMEIDA, Claudia Maria; CARVALHO, Arimatea Ximena; SPINDELLI, Luciana de Araujo. Identifica o de áreas prioritárias para recupera o florestal com o uso de rede neural de mapas auto organizáveis. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba, v. 17, n. 3, 2011.

ASSIS, Cristiane Pereira de; JUCKSCH, Ivo; MENDONÇA, Eduardo de S ; NEVES, Júlio Cesar Lima. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.41, p.1541-1550, 2006.

ASSIS, Renato, L; P, LANÇAS, Kleber, P. Agregac o de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**. v.30, n,1, p.58-66, 2010.

BALDOCK, Jeff. A et al. Aspects of the chemical-structure of soil organic materials as revealed by solid-state ¹³C NMR-Spectroscopy. **Biogeochemistry**. Netherlands, v.16,p.1-42,1992.

BALDOCK, Jeff. A.; SKJEMSTAD, Jo. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**. Oxford, v. 31, p. 697-710, 2000.

BARETTA, Dilmar; SANTOS; Júlio Cesar Pires; SEGAT, Julia Cora; GEREMIA; Eliana Vera; OLIVEIRA FILHO; Luís Carlos.I. DE; ALVESO. de; Alves, Mauricio Vicente. Fauna edáfica e qualidade do solo. **T picos Ciência do Solo**. v. 7:p.119-170, 2011.

BRAIDA, João Alfredo; BAYER, Cimélio; ALBUQUERQUE, Jackson Adriano & REICHERT, José Miguel. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: FILHO, O.K.et al.(Org.). T picos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. V.VII, p.222-227, 2011.

BAYER, Cimélio; MIELNICZUK, Joao. **Dinâmica e fun o da matéria orgânica**. SANTOS, G.A; CAMARGO,F.A.O.(Ed.).Fundamentos de matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: G nesis, p.10-25, 1999.

BAYER, Cimélio ; MIELNICZUK, João; MARTIN-NETO, Ladislau & ERNANI,P.R. Stocks and humification degree of organic matter soil as affected by no-tillage on a subtropical soil. *Plant Soil*, 238:133-140, 2002.

BAYER, C. Aumento do estoque de matéria orgânica de um Cambissolo H mico catarinense sob plantio direto. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. 2:p.81-87, 2003.

BAYER, Cimelio; MARTIN-NETO, Ladislau; MIELNICZUK, João; PAVINATO, Aurélio. Armazenamento de carbono em fra es lábeis da matéria orgânica de um Latossolo

Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.39, p.677-683, 2004.

BAYER, Cimélio; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, João; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**. v.86, p. 237-245, 2006.

BAYER, Cimélio; MIELNICZUK, João. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2ª Ed. Porto Alegre: Metrópole, p.1-5, 2008.

BECHARA, Fernando Campanhã; CAMPOS FILHO, Eduardo Malta.; BARRETTO, Klaus Duarte.; ANTUNES, Alexsander Zamorano.; REIS, Ademir. Nucleação de diversidade ou cultivo de árvores nativas? Qual paradigma de restauração? in: SIMPÓSIO NACIONAL E CONGRESSO LATINO- AMERICANO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS ,6.,2005. Curitiba. **Anais...**Curitiba: Sociedade Brasileira de recuperação de áreas degradadas, p.355-363, 2005.

BECHARA, Fernando Campanhã. Unidades demonstrativas de restauração ecológica através de modelos nucleadoras:2006. **Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado e Restinga**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Recursos Florestais, ESALQ-USP, Piracicaba, 2006.

BERTOL, Ildergadis; ALBUQUERQUE, Jackson Adriano; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JÚNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas à do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, p.155-163, 2004.

BONINI, Caroline dos Santos Batista. **Propriedades físico-químicas de um Latossolo Vermelho sob recuperação há 16 anos e a ocorrência espontânea de espécies arbóreas nativas**. 2010. 103f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2010.

BOTTEGA, Eduardo Leonel; PINTO, Francisco de Assis de Carvalho; QUEIROZ, Daniel Marçal de; SANTOS, Nerilson Terra; SOUZA, Cristiano Márcio Alves de. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de soja no Cerrado brasileiro. **Revista Agrarian**. Dourados, v.6, n.20, p.167-177, 2013.

BOUMA, J.; STOOORVOGEL, J.; ALPHEN, B.J. & BOOLTINK, H.W.G. Pedology, precision agriculture, and the changing paradigm of agricultural research. **Soil Science Society of América**. J, 63:1763-1768, 1999.

CALEGARI, Ademir; CASTRO FILHO, C. de; TAVARES FILHO, João; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. de F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. *Semina: Ciências Agrárias*. v.27, p.147-158, 2006.

CAMARGO, Otavio Antônio; ALLEONI, L. Reinaldo. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, p.132, 1997.

CAMBARDELLA, Cynthia, A; ELLIOTT, E. Thomas. **Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence**. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.56, p.777-783, 1992.

CANELLAS, Luciano Pasqualato; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E. & SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 27:p.935-944, 2003.

CARMO, Fabiana Fonseca do; FIGUEIREDO Cícero Célio de; RAMOS, Maria Lucrécia Gerosa; VIVALDI, Lúcio José; ARAÚJO, Larissa Gomes. Frações granulométricas da matéria orgânica em Latossolo sob plantio direto com gramíneas. **Bioscience Journal. Uberlândia**, v. 28, p. 420-431, 2012.

CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone; SOUZA, Edicarlos Damacena de; REIS, Edésio Fialho dos; PEREIRA, Hamilton Seron; AZEVEDO, Watson Rogério de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33. p.147-157, 2009.

CARPENEDO, Valcir; MIELNICZUK, João. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.14, p.99-105, 1990.

CAMPOS, Ben-Hur Costa; AMADO, Telmo J.C; BAYER, Cimélio; NICOLOSO, R.S & FIORIN, J.E. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 35:p.805-817, 2011.

CAMPOS, Fabiana da Silva. & ALVES, Marlene Cristina. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32: p.1389-1397, 2008.

CAMPOS, Fabiana da Silva. **Uso de lodo de esgoto na reestruturação de Latossolo Vermelho degradado**. 2006. 106 p. (Tese de Mestrado). Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2006.

CASTRO, Jorge; ZAMORAR.; HÓDAR,JÁ.;GOMES J.M.;GÓMES-APARICIO,L. Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean mountains: a 4-year study. **Restoration Ecology**. Malden,v. 12, p.352-358,2004.

CASTRO FILHO, C. de; MUZILLI, Osmar; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Brasileira de Ciência do Solo**. v.22, p.527-538, 1998.

CARVALHO, André Mundstock Xavier de; VALE, Helson Mário Martins do; FERREIRA, Eráclides Maria; CORDERO, Alexander Francisco Perez; BARROS, Nairam Félix de; COSTA, Maurício Dutra. Atividade microbiana de solo e serapilheira em áreas povoadas com *Pinus elliottii* e *Terminalia ivorensis*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32: p.2709 - 2716. 2008.

CAVALCANTE, Eloiza Gomes Silva; ALVES, Marlene Cristina; SOUZA, Zigomar Menezes de; PEREIRA, Gener Tadeu. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 31, p.1329-1339, 2007.

CAVIGLIONE, João Henrique; KIIHL, Laura Regina Bernardes; CARAMORI, Paulo Henrique; OLIVEIRA, Dalziza. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000.

CHAVES, Aurélio Alves Amaral; LACERDA, Marilusa Pinto Coelho; GOEDERT, Wenceslau J.; RAMOS, Maria Lucrécia Gerosa; KATO, Eiyti. Indicadores de qualidade de Latossolo Vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

CHRISTENSEN, Bent T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Adv. Soil Sci.**, 20:1-90, 1992.

CHRISTENSEN, Bent T. Carbon in primary and secondary organomineral complexes. In; CARTER, M.R.; STEWART,B.A.(eds.) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**, Boca Raton: CRC Lewis, p.97-165, 1996.

CONCEIÇÃO, Paulo Cesar; AMADO, Telmo Jorge Carneiro; MIELNICZUK, João; SPAGNOLLO, Evandro. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.29, p.777-788, 2005.

CONCEIÇÃO, Paulo Cesar. **Agregação e proteção física da matéria orgânica em dois solos do sul do Brasil**.2006. 155 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Solos, Porto Alegre, 2006.

CONCEIÇÃO, Paulo Cesar; BOENI, M.; DIECKOW, J. BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, p. 541-549, 2008.

COSTA, Falberni de Souza; BAYER, Cimélio; ZANATTA, Josiléia Acordi; MIELNICZUK, João. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, p. 323-332, 2008.

CUNHA, Eurâmi.Q.; STONE, Luis.F; FERREIRA, Enderson.P.B; DIDONET, A.D & MOREIRA, J.A.A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v,16, n,1, p,56-63, 2012.

DENARDIN, Jose Eloir.; KOCHHANN, R.A.; FAGANELLO, A. & SATTLER, A. **Evolução da área cultivada sob sistema plantio direto no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 32p. (Embrapa Trigo. Documentos, 29).

DIAS, Jadson. **Fluxo do CO₂ proveniente da respiração do solo em áreas de floresta nativa da Amazônia**. 2006. (Dissertação mestrado). Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 2006.

DIAS, Cristiano Roberto; UMETSU, Fabiana; BREIER, Tiago Böer. Contribuição dos poleiros artificiais na dispersão de sementes e sua aplicação na restauração florestal. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 501-507, 2014.

DIECKOW, Jeferson ; MIELNICZUK, João; KNICKER, Heike ; BAYER, Cimélio.; DICK, Deborah P.& KOGEL-KNABNER, I. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping system and N fertilization. **Plant Soil**. 268:p.319-328, 2005.

DIXON R.K ; BROWN S.;HOUGLTON R. A; SOLOMON A.M; TREXLER M.C and WISNIEWSKI J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. **Science**. 263, p.185- 190, 1994.

D'ANDREA, Alexandre Fonseca; SILVA, Marx Leandro Naves; CURI, Nilton; SIQUEIRA, J.O. & CARNEIRO, M.A.C. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na Região do Cerrado do Sul do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**.v.26:p.913-923, 2002.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA -. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa-SPI/Rio de Janeiro, Embrapa Solos. p.306, 2006.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise de solo.** 2 ed. Rio de Janeiro, p.212, 1997.

ENGEL, Vera Lex. & PARROTA, J.A. **Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais.** In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D. de; ENGEL, V.L. & GANDARA, F.B. (Eds.). Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, São Paulo. p.3-22, 2003.

EFFGEN, Emanuel Maretto. **Avaliação de atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico sob cultivo de eucalipto e pastagem no sul do Espírito Santo.** (Dissertação) 90 p. 2008. Universidade Federal do Espírito Santo, 2008.

FERREIRA, Rogério Resende Martins; FILHO, João Tavares; FERREIRA, Vinicius Martins. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. Semina: **Ciências Agrárias.** Londrina, v. 31, n. 4, p. 913-932, 2010.

FERREIRA, Rogério Resende Martins; FILHO, João Tavares; FERREIRA, Vinicius Martins & RALISCH, Ricardo. Estabilidade física de solo sob diferentes manejos de pastagem extensiva em Cambissolo. Semina: **Ciências Agrárias.** 31:p.531-538, 2010.

FERREIRA, Mozart Martins. Caracterização física do solo. In: Lier, Q. de J. van. Física do solo. Viçosa: **SBCS**, p.1-27, 2010.

FAO (Food and Agriculture Organization). **The den Bosh declaration and agenda for action on sustainable agriculture and rural development.** FAO, Rome: Report of the conference, 2013.

FIGUEIREDO, Cicero Célio; RESCK, Dimas Vital Siqueira;. CARNEIRO, Marco Aurélio Carbone. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v. 34, p. 907-916, 2010.

FILHO, Niwton Leal; SANTOS, Gisele Rodrigues dos; FERREIRA, Ricardo Leme. Comparando modelos de nucleação utilizadas na restauração de áreas degradadas na Amazônia Brasileira. **Revista Árvore.** Viçosa-MG, v.37, n.4, p.587-597, 2013.

FRANCO Regiane; CONCEIÇÃO, Paulo Cesar; ALVES, Mauricio Vicente; Derengoski, Joseane; SILVA, Gustavo Sene; BECHARA, Fernando Campanhã. Mesofauna da serapilheira em áreas sob diferentes tecnologias de restauração ecológica. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Florianópolis, SC, 2013.

FURTINI, NETO, Antônio Eduardo; RESENDE, Álvaro Vilela de; VALE, Fabiano Ribeiro do; FAQUIN, Valdemar; FERNANDES, Luiz Arnaldo. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. **Revista Cerne**. Lavras, v.5, n.2, p.1-12, 1999.

GAMA-RODRIGUES, Antônio Carlos; BARROS, N.F. & MENDONÇA, E.S. Alterações edáficas sob plantios puros e mistos de espécies florestais nativas do sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 23:p.581-592, 1999.

GAMA-RODRIGUES, Emanuela Froristiela; BARROS, Nairam Felix; GAMA-RODRIGUES, Antônio Carlos. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.29, p.893-901, 2005.

GAMA-RODRIGUES, Emanuela Forestieri da; GAMA-RODRIGUES, Antônio Carlos. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo em ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole. p.159-170, 2008.

GATIBONI, Luciano Colpo; KAMINSKI, João; RHEINHEIMER, Danilo dos Santos & FLORES, João Paulo Cassol. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.31, p.691-699, 2007.

GONÇALVES, Jose Leonardo Moraes; NOGUEIRA, L. R. J.; DUCATTI, F. Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (eds.) **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Botucatu: FEPAF. 340p. 2003.

GONÇALVES, J. L. M.; NOGUEIRA, L. R. J.; DUCATTI, F. Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. (eds.) **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Botucatu: FEPAF. p.340, 2003.

GORENSTEIN, Mauricio Romoro; BECHARA, Fernando Campanha; ESTEVAN, D. A.; SGARBI, Ana Suelem; GALLO, I. C. Estrutura e diversidade da comunidade arbórea na trilha ecológica da UTFPR, Campus Dois Vizinhos através do Método de Quadrantes. In: IV SSPA Seminário Sistemas de Produção Agropecuária. 2010, Dois Vizinhos. IV SSPA Seminário Sistemas de Produção Agropecuária, 2010.

GUARIZ, Hugo Roldi; CAMPANHARO, Wesley Augusto; PICOLI, Marcelo Henrique Savoldi ; CECÍLIO, Roberto Avelino ; HOLLANDA, Maycon Patrício de. Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. Anais **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, Brasil, INPE, p. 7709-7716, 2009.

GUIMARÃES JÚNIOR, Marim Paulo Alves¹; SANTOS, Antônio Clementino dos; ARAÚJO, Aridouglas dos Santos; OLIVEIRA, Leonardo Bernardes Taverny de; RODRIGUES, Marcos Odilon Dias; MARTINS, Athila Damasceno. Relação Ca:Mg do corretivo da acidez do solo e as características agronômicas de plantas forrageiras. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. Salvador, v.14, n.3, p.460-471, 2013

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

HOFFMANN, Ricardo Bezerra; NASCIMENTO, Maria do Socorro Viana; DINIZ, Adriana Araújo; ARAÚJO, Leticia Helena Avelino; SOUTO, Jacob Silva. Diversidade da mesofauna edáfica como bioindicadora para o manejo do solo em Areia, Paraíba, Brasil. **Revista Caatinga**.(Mossoró, Brasil), v.22, n3, p 121-125, 2009.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. *Agriculture Ecosystems and Environment*, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. **Aggregate stability and particle-size-distribution**. In: KLUTE, A. *Methods of soil analysis: part 1: physical and mineralogical methods*. 1986 p.425-441 (Agronomy Monograph, 9). 2.ed. Madison: SSSA, 1986.

KIEHL, Edmar José. **Manual de Edafologia – Relações Solo-Planta**. CERES. São Paulo, 1979.

KLEIN, Vilson. Antônio. **Física do solo**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, p.212, 2008.

KUZYAKOV, Y; FRIEDEL, J.K. ; STAHR,K. Review of mechanisms and quantification of priming e effects. **Soil Biology & Biochemistry**. v.32, p.1485-1498, 2000.

LAL, Ratan; BRUCE, J. P. The potential do world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. *Environ. Sci. Pollut.* v.2, p.177-185, 1999.

LAURINDO, Marlene Cristina de Oliveira; NÓBREGA, Lúcia Helena Pereira; PEREIRA, Joaquim Odilon; MELO, Dirceu de; LAURINDO, Éderson Luiz. Atributos físicos do solo e teor de carbono orgânico em sistemas de plantio Direto e cultivo mínimo. **Engenharia na agricultura**. Viçosa - MG, V.17 N.5,2009.

LEITÃO-FILHO, H. F. et al. **Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão**. Campinas: UNICAMP, p.184, 1993.

LEITE, Luís Fernando Carvalho; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A. Simulação pelo modelo century da dinâmica da matéria orgânica de um Argissolo sob

adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.28, p.347-358, 2004.

LEITE, Luís Fernando Carvalho; GALVÃO, S.R.S.; HOLANDA NETO, M.R.; ARAÚJO, F.S.; IWATA, B.F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**.v.14, p.1273-1280, 2010.

LONGO, Regina Márcia; ESPÍNDOLA, Carlos Roberto. C-orgânico, N-total e substâncias húmicas sob influência da introdução de pastagens (*Brachiaria* sp.) em áreas de Cerrado e Floresta Amazônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 24:p.723-729, 2000.

LUCIANO, Rodrigo. Vieira; BERTOL, Ildegardis; BARBOSA, Fabricio Tondello; KURTZ, Claudinei; FAYAD, Jamil Abdalla. Propriedades físicas e carbono orgânico do solo sob plantio direto comparados à mata natural, num Cambissolo Háplico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v. 9, n. 1, p. 09-19, 2010.

LOSS, Arcângelo ; PEREIRA, M.G.; FERREIRA, E.P.; SANTOS, L.L.; BEUTLER, S.J. & FERRAZ JUNIOR, A.S.L. Frações oxidáveis do carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistemas de aleias. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 33:867-874, 2009.

LOSS, Arcângelo; PEREIRA, Marcos Gervasio; SCHULTZ, Nivaldo ; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; SILVA ,Eliane Maria Ribeiro da. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **Idesia**. (Arica), Arica, Chile v. 29, n. 2, 2011.

LOSS, Arcângelo; MORAES, André Geraldo de Lima; PEREIRA, Marcos Gervasio; SILVA, Eliane Maria Ribeiro da; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos. Evolução e acúmulo de C-CO₂ em diferentes sistemas de produção agroecológica. **Revista Acta Agronômica**. 62 (3). p 242-250, 2013.

LOSS, Arcângelo; PEREIRA, Marcos Gervasio; BEUTLER, Sidinei Julio; PERIN, Adriano; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos. Carbono mineralizável, carbono orgânico e nitrogênio em macroagregados de Latossolo sob diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado Goiano. **Revista Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v. 34, n. 5, p. 2153-2168, 2013.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da Química do Solo Teoria e Prática**. 2ª ed. Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 2002.

MACEDO, S. T.; LEAL FILHO, N.; FERRAZ, I. D. K. Efeito da calagem e da adubação no estado nutricional de espécies pioneiras e clímax em plantios para recuperação de áreas degradadas na região do rio Urucu, Coari – AM. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Fortaleza, p.32, 2009.

MAFRA, Álvaro Luiz; GUEDES, Sulamita de Fátima Figueiredo; FILHO, Osmar Klauber; SANTOS, Júlio César Pires; ALMEIDA, Jaime Antônio de; ROSA, Jaqueline Dalla. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**. v.32, n.2, p.217-224, 2008.

MANSOR, Paulo Robson. **Estoques e frações da matéria orgânica em diferentes sistemas de uso do solo**. 2012.91.f. (tese de doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2012.

MARTINS, Sebastião Venâncio; ALMEIDA, Diego Pierre; FERNANDES, Loane Vaz; RIBEIRO, Tiago Maciel. Banco de sementes como indicador de restauração de uma área degradada por mineração de caulim em Brás Pires, MG. **Revista Árvore**. v.32, n.6, p.1081-1088, 2008.

MARTINS, Sebastião Venâncio. **Recuperação de áreas degradadas**. Aprenda fácil Editora. Viçosa, MG. 2a edição. p.270, 2010.

MEDEIROS, Joao Carlos; DA SILVA, Alvaro Pires; CERRI, Carlos Eduardo Peligrino; GIAROLA, Neide Fabiola B.; FIGUEIREDO, Getúlio Coutinho; FRACETTO, Felipe Jose Cury. Linking physical quality and CO₂ emissions under long-term no till and conventional-till in a subtropical soil in Brazil. **Plant and Soil**. 338, 5–15, 2011.

MELLO, F. A. F. ; SOBRINHO, M. O. C. B. ; ARZOLLA, S. ; SILVEIRA, R. I. ; NETTO, A. C. ; KIELH, J. C. **Fertilidade do Solo**. NOBEL, São Paulo, 1983.

MELLONI, Rogério; MELLONI, Eliane Guimarães Pereira; ALVARENGA, Maria Inês Nogueira; VIEIRA, Fernanda Bueno Marcondes. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v 32. p. 2461-2470, 2008.

MOLLOY, L.F.; SPEIR, T.W. Studies on a climosequence of soil in tussock grasslands. 12. Constituents of the soil light fraction. **New Zealand J. Soil Sci**. Wellington, v. 20, p. 167-177, 1977.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil**. 2012. Disponível em: < <http://ipevs.org.br/blog/?tag=areas-degradadas>>. Acesso em: 16 jul., 2014.

MIELNICZUK, João. Desenvolvimento de sistemas de culturas adaptadas á produtividade, conservação e recuperação de solos. In: **Congresso Brasileiro De Ciências do Solo**. 21.,Rio de Janeiro,1987. A responsabilidade social da ciência do solo... Campinas: RBCS, p.109-116, 1988.

MIELNICZUK, João. Matéria orgânica e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. In: Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. (eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo – ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre, Metrópole. p.1-5, 2008.

MURPHY, J.; RILEY, J. P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27:p.31-36, 1962.

NASCIMENTO, Paulo César do; BAYER, Cimélio; NETTO, Luís de França da Silva; VIAN, Ana Clara; VIEIRO, Fernando; MACEDO, Vera Regina Mussoi & MARCOLIN, Élio. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de Solo de várzea com cultivo de arroz. *Revista Brasileira de Ciência do Solo.* v.33:p.1821-1827, 2009.

NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: PAGE, A. L. (ed.) **Methods of soil analysis, part 2, 2nd Ed, Chemical and microbiological properties**. ASA, Madison, WI, p. 539-570, 1982.

NETO, Thaís Andrade Corrêa; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; PEREIRA, Marcos Gervasio; AMORIM, Hugo Barbosa; JACCOUD, Carlos Felipe de Siqueira. Atributos edafambientais e parâmetros dendrométricos de plantios de Eucalipto em uma topossequência no campus da UFRRJ, Seropédica-RJ. *Ciência Florestal.* 17(1): p. 43-51, 2007.

NETO, Aurino Miranda; KUNZ, Sustanis Horn; MARTINS, Sebastião Venâncio; SILVA, Kelly de Almeida; SILVA, Deideluci Aparecida da. Transposição do banco de sementes do solo como metodologia de restauração florestal de pastagem abandonada em Viçosa, MG. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.34, n.6, p.1035 -1043, 2010.

NEU, Vania. **Influência da Cobertura Vegetal na Ciclagem de Nutrientes Via Solução do Solo na Região de Manaus – AM.2005.93f** (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2005.

NICOLOSO, Rodrigo da Silveira; LOVATO, Thomé; AMADO, Telmo Jorge Carneiro; BAYER, Cimélio; LANZANOVA, Mastrângello Enívar. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.2425-2433, 2008.

NOGUEIRA JUNIOR, Lauro Rodrigues; GONÇALVES, Jose Leonardo de Moraes; ENGEL, Vera Lex & PARROTTA, John A. Soil dynamics and carbon stocks 10 years after restoration of degraded land using Atlantic Forest tree species. *Forest Systems.* 20(3), p. 536-545, 2011.

NOVAIS, Roberto Ferreira; SMYTH, T. Jot. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999.

NOVARA, Agata; ARMSTRONG, Alona; GRISTINA, Luciano; SEMPLE, Kirk T.; QUINTON, and John N. Effects of soil compaction, rain exposure and their interaction on soil carbon dioxide emission. **Earth Surface Processes and Landforms Volume 37**, Issue 9, pages 994–999, 2012.

NUNES, Danielle Aparecida Duarte. **Mineralização de fósforo orgânico em solos sob leguminosas florestais, floresta secundária e Pastagem**. 2011.59 f. (Dissertação mestrado) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos Dos Goytacazes – RJ, 2011.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil**, v.76, p.319-337, 1984.

ODUM, Eugene P. **Ecologia**. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1988.

OLIVEIRA, Guilherme Correia; DIAS JÚNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.38, n.2, p.291-299, 2003.

OLIVEIRA, Veronildo S.; ROLIM, Mário M.; VASCONCELOS, Romero F. B. & PEDROSA, Elvira M. R. 2. Distribuição de agregados e carbono orgânico em um Argissolo Amarelo distrocoeso em diferentes manejos¹. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.9, p.907–913, 2010.

OSAKI, Flora. **Distribuição espacial de microrganismos e fertilidade em solos de dois ecossistemas florestais: floresta ombrófila mista e povoamento florestal com com *pinus taeda* I. em Tijucas do Sul-PR**. 2008. 264f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

PAVAN, Marcos A.; BINGHAM, F.T.; PRATT, P.F. Toxicity of aluminium to coffee in ultisols and oxisols amended with CaCO₃, MgCO₃, and CaSO₄. 2H₂O. **Soil Science Society of America Journal, Madison**. v.46. p.1201-1207, 1982.

PAVINATO, Paulo Sérgio; ROSOLEM, Ciro Antônio. 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, 2008.

PEÑA, Martha Lucía Peña; MARQUES, Renato; JAHNEL, Marcelo Cabral; Anjos, Adilson dos. Respiração microbiana como indicador da qualidade do solo em ecossistema florestal. **Floresta**. Curitiba, PR, v.35, n. 1, 2005.

PEREIRA, Fabiana Souza; ANDRIOLI, Itamar; BEUTLER, Amauri Nelson; ALMEIDA, Cinara Xavier & PEREIRA, Faber Souza. Physical quality of an oxisol cultivated with maize submitted to cover crops in the pre- cropping period. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34: p.211-218, 2010.

PINHEIRO, Liane Barreto Alves; DERENGOSKI, Joseane; FIGUEIRA, Franciani; DUARTE, Edilaine; FRANCO, Regiane; BECHARA, Fernando Campanha; BARDDAL, Murilo. Avaliação da fauna do solo pelo método berlese-tüllgren em áreas em processos de restauração ambiental. **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciências do Solos**. Uberlândia, MG, 2011.

PINTO, Sheila Isabel do Carmo; MARTINS, Sebastião Venâncio; BARROS, Nairam Félix de; DIAS, Herly Carlos Teixeira. Ciclagem de nutrientes em dois trechos de floresta Estacional semidecidual na reserva florestal mata do paraíso em viçosa, mg, brasil. **Revista Árvore**. Viçosa-MG, v.33, n.4, p.653-663, 2009.

PORTELLA, Cibele Masciole Rebelo; GUIMARAES Maria, D; FELLER Christian; FONSECA, Inês, C, D; TAVARES, João. Soil aggregation under different management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.36:p.1868-1877, 2012.

PORTUGAL, Arley Figueiredo; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C.E.G.R. & WENDLING, Beno Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32:p.2091-2100, 2008.

PORTUGAL, Arley Figueiredo; COSTA, Oldair Del'Arco Vinhas & COSTA, Liovando Marciano da. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V.34:p.575-585, 2010.

PREVEDELLO, Celso Luiz. **Física do solo**. Com problemas resolvidos. Curitiba. p.446, 1996.

PREVEDELLO, Juliana; REINERT, Dalvan Jose, REICHERT, José Miguel; BRAGA, Fabiano De Vargas Arigony; GUBIANI, Paulo Ivonir; CORCINI, Adão Leonel Mello. **XXXI Brasileiro de ciências do solo**. 2007.

RANGEL, Otacílio José Passos & SILVA, Carlos Alberto. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.31:p.1609-1623, 2007.

REINERT, Dalvan Jose. Efeito de diferentes métodos de preparo do solo sobre a estabilidade de agregados em solo podzólico vermelho amarelo. **Revista do Centro de Ciências Rurais**. Santa Maria, v.14, p.19-25,1984.

REINERT, Dalvan Jose. **Recuperação de solos em sistemas agropastoris: recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV. Departamento de solos, Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, p.251, 1998.

REINERT, Dalvan Jose; REICHERT, José Miguel. **Propriedades física do solo**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS. SANTA MARIA, 2006.

REIS, Ademir; BECHARA, Fernando Campanhã.; ESPINDOLA, Marina Bazzo de; VIEIRA, N.K. & SOUZA, L.L. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessoriais. **Natureza & Conservação**, 1: p.28-36; p.85-92, 2003.

REIS, Ademir; BECHARA, Fernando Campanhã; ESPINDOLA, Marina Bazzo de.;VIEIRA, Neide Koehntopp.; SOUZA, Leandro Lopes de. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessoriais. **Natureza & Conservação**. Curitiba,v.1,n.1,p.28-36,85-92, 2003b.

REIS, Ademir; BECHARA, Fernando Campanhã; ESPÍNDOLA, Marina Bazzo de; VIEIRA, Neide Koehntopp; SOUZA, Leandro Lopes de. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessoriais. **Natureza & Conservação**. vol 1. nº 1. pp. 28-36. 2003.

REIS, Ademir; TRÊS, Deisy Regina. Nucleação: integração das comunidades naturais com a paisagem. In: CARGILL. **Manejo ambiental e restauração de áreas degradadas**. Fundação Cargill. pp. 109-143. 2007.

REIS, Ademir; BECHARA, Fernando Campanhã; TRES, Deisy Regina. Nucleation in tropical ecological restoration. **Sciencia Agricola**. (Piracicaba, Braz.), v.67, n.2, p.244-250, 2010.

RESCK, Dimas Vital Siqueira; FERREIRA, E.A.B.; FIGUEIREDO, Cicero Célio & ZINN, Y.L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: **Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, p.359-417, 2008.

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro. **Colonização e enriquecimento de um fragmento florestal urbano após a ocorrência de fogo**. Fazenda Santa Elisa, Campinas, SP. Piracicaba, 1999. 167f. Tese (Livre Docência). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo,1999.

RODRIGUES, Alessandra Bittencourt Crestani; SCARAMUZZA, Walcylene Lacerda Matos Pereira; SCARAMUZZA, Jose Fernando; ROCHA, F. Atributos químicos em solo sob floresta nativa e capoeira. **Uniciências**. v.14, n.1, p.23-38, 2010.

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; GANDOLFI, Sergius. Recomposição de Florestas Nativas: Princípios Gerais e Subsídios para uma Definição Metodológica. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**. Campinas, SP, v. 2, n. 1, p. 4-15, 2001.

RODRIGUES, Graciela B; MALTONI, Katia. L.; CASSIOLATO, Ana Maria R. Dinâmica da regeneração do subsolo de áreas degradadas dentro do bioma cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.11, p.73-80, 2007.

ROSSI, Celeste Queirosz; PEREIRA, Marcos Gervasio; GIÁCOMO, Simone Guimarães; BETTA, Marcone; POLIDORO, Jose Carlos. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.

ROVIRA, P.; VALLEJO, V.R. **Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: An acid hydrolysis approach**. *Geoderma*,101:p.109-141.2002.

ROSA, Maria Eloisa Cardoso da; OLSZEVKI, Nelci; MENDONÇA, Eduardo de Sá; COSTA, Liovando Marciano & CORREIA, João Roberto. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 27, n.5, p. 911-923, 2003.

ROZANE, Danilo Eduardo; CENTURION, José Frederico; ROMUALDO, Liliane Maria; TANIGUCHI, Carlos Alberto Kenji; TRABUCO, Milaine; ALVES, Adriana Ursulino. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 24-32, 2010.

ROSOLEM, Ciro Antônio; SANTOS, Fernanda Pereira dos; FOLONI, José Salvador Simonetti; CALONEGO, Juliano Carlos. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v.41, n.6, p.1033-1040, 2006**.

SALGADO, Bruno Grandi; MACEDO, Renato Luiz Grisi; ALVARENGA, Maria Inês Nogueira; VENTURIN, Nelson. Avaliação da fertilidade dos solos de sistemas agroflorestais com cafeeiro (*Coffea arabica L.*) em Lavras-MG. **Revista Árvore**. v.30, n.3, p.343-349, 2006.

SALTON, Julio César; MIELNICZUK, João; BAYER, Cimélio; FABRÍCIO, Amocay. Carvalho; MACEDO, Manuel. Claudio. Motta; BROCH, Dirceu. Luiz. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.46, n.10, p.1349-1356, 2011.

SANTOS, Everaldo Dos. **Carbono, nitrogênio e relação c/n em Gleissolo e Cambissolo sob diferentes tipologias vegetais na área de ocorrência da floresta ombrófila densa, Antonina – PR**.2007.104 F. (Dissertação de Mestrado) Química e

Biologia do Solo e Nutrição de Plantas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR.2007.

SANTOS, Antônio Clementino dos; SALCEDO, Ignácio Hernan. Relevo e fertilidade do solo em diferentes estratos da cobertura vegetal na bacia hidrográfica da represa Vaca Brava, Areia, PB. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 34, n. 2, 2010.

SANTOS, Jussara Telma; ANDRADE, Albericio Pereira; SILVA, Ivandro de França; SILVA, Divan Sorares; SANTOS, Edson Mauro & SILVA, Ana Paula Gomes. Atributos físicos e químicos do solo de áreas sob pastejo na microrregião do Brejo Paraibano. **Ciências Rural**. v.40:p.2486-2492, 2010.

SANTOS, Daiane Carvalho dos; LIMA, Cláudia Liane Rodrigues de; KUNDE, Roberta Jeske; CARVALHO, Juliana dos Santos; ABEIJON, Lenon Morales; PILLON, Clenio Nailto. Agregação e proteção física da matéria orgânica em Planossolo háplico sob diferentes sistemas de manejo. **Bioscience Journal. Uberlândia**, v. 28, Supplement 1, p. 54-63, 2012.

SCHIEVENIN, Dimitrio Fernandes; TONELLO, Kelly Cristina; SILVA, Diego Aleixo da; VALENTE, Roberta de O. A.; FARIA, Luiz Carlos de; THIERSCH, Cláudio Roberto. Monitoramento de indicadores de uma área de restauração florestal em Sorocaba-SP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. v.19, n.1, p.95-108, 2012.

SILVA, Ivandro Franca; MIELNICZUK, Joao. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 21, p. 113-117, 1997.

SILVA, Jose Eurípedes; LEMAINSKI, Jorge; RESCK, Dimas Vital Siqueira. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira Ciência do solo**, 18:541-547. 1994.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. A New Version of the Assistat-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: Anais... Orlando: **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. p.393-396. 2006.

SILVA, Rubens Ribeiro da; SILVA, Marx Leandro Naves; CARDOSO, Evaldo Luís; MOREIRA, Fátima Maria de Souza; CURI, Nilton; ALOVISI, Alessandra Mayumi Tokura. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34:p.1585-1592, 2010.

SILVA, Denis Augusto da; SOUZA, Luiz Carlos Ferreira de; VITORINO, Antônio Carlos Tadeu; GONÇALVES, Manoel Carlos . Aporte de fitomassa pelas sucessões de

culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia, Campinas**. v. 70, n. 1, p.147-156, 2011

SILVA, Antônio Sousa; SILVA, Ivandro de França; SILVA NETO, Luís França. & SOUZA, Cícero. Semeadura direta na produção do milho em agricultura de sequeiro na região nordeste do Brasil. **Ciências Rural**. V.41:p.1556-1562, 2011.

SILVA, Roberto Carlos de Sá; ALMEIDA, Julio Cesar Raposo de; BATISTA, Getulio Teixeira; FORTES NETO, Paulo; Os indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ambientes naturais **Repositório Eletrônico Ciências Agrárias**. Coleção Ciências Ambientais, p.1-13, 2011.

SILVA, Antônio Sousa; SILVA, Ivandro de França; FERREIRA, Leonardo Elias; BORCHARTT, Lucas; SOUZA, Mayara Andrade & PEREIRA, Walter Esfrain. Propriedades físicas e químicas em diferentes Usos do solo no brejo paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.37: p.1064-1072, 2013.

SILVA, Miguel Seabra Correa da; SILVA, Eliane Maria Ribeiro da; PEREIRA, Marcos Gervasio; SILVA, Cristiane Figueira da. Estoque de serapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais. **Floresta e Ambiente**. V.19(4):p.431-441, 2012.

SILVEIRA, Pedro Marques da; STONE, Luís Fernando. Teores de nutrientes e matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistema de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.25:p.387-394, 2001.

SILVEIRA, Rafael Botelho; MELLONI, Rogério; MELLONI, Eliane Guimarães Pereira. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Revista Cerne**. v. 12, n. 1, p. 48-55, 2006.

SILVEIRA JUNIOR, Sérgio Damaso da; SILVA, Álvaro Pires da; FIGUEIREDO, Getulio Coutinho; TORMENA, Cássio Antônio; GIAROLA, Neyde Fabíola Balarezo. Qualidade física de um Latossolo vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.36: p.1854-1867,2012.

COMISSÃO.SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO/ COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - SBSC/SBSC/CQFS. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre, p. 400, 2004.

SOLLINS, Phillip. Stabilization and destabilization of soil organic matter. Mechanisms and controls. **Geoderma**. Amsterdam, V.74, p.65-105, 1996.

SOUZA, Flaviana Maluf. & BATISTA, J.L.F. 2004. Restoration of seasonal semideciduous forest in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. **Forest Ecology and Management**. p.275-285, 1996:

SOUZA, Zigmar Menezes de; ALVES, Marlene Cristiana. Propriedades químicas de um Latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27: p.133-139, 2003.

SPARKS, D.L.; HUANG, P.M. Physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, p.201-276. 1985.

SPERA, Silvio Tulio; SANTOS, Henrique Perreira; FONTANELI, Renato Serena; TOMM, Gilberto Omar. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, p.533-542, 2004.

STEVENSON, F.J. **Húmus chemistry: genesis, composition and reactions**. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, p.496, 1994.

STOLARSKI, Oiliam Carlos; BECHARA, Fernando Campanhã; KLEIN, Anderson William; GORENSTEIN, Mauricio Romero; SGARBI, Ana Suelem; BARDDAL, Murilo Lacerda. Desenvolvimento inicial de leguminosas para Recuperação florestal no sudoeste do Paraná. II REFLOREST, Simpósio nacional sobre restauração florestal. Viçosa, MG, 2013.

TEDESCO, Marino José; GIANELLO, Clésio; BISSANI, Carlos Alberto; VOLKWEISS, Sérgio Jorge; BOAHNEN, Humberto. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos, Ed. UFRGS, (Boletim Técnico), 1995.

TEIXEIRA, L.; LA SCALA JÚNIOR, N.; LOPES, A. Fluxo de co₂ do solo após aração e escarificação em diferentes configurações. **Holos Environment**. V.10, P.1-11, 2010.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of soil science**. OXFORD, V. 33, N. 1, P. 141-163, 1982.

TRÊS, Deisy Regina. Tendências da restauração ecológica baseada na nucleação. In: Mariath, J. E. A. SANTOS, R. P. (Eds). Os avanços da botânica no início do século XXI: morfologia, fisiologia, taxonomia, ecologia e genética. **Conferências plenárias e simpósios do 57o Congresso Nacional de Botânica**. Sociedade Botânica do Brasil, Porto Alegre, Brasil, p. 404-408, 2006.

TOMASI, Cristiano Albino; INDA, Alberto Vasconcellos; DICK, Deborah Pinheiro; BISSANI, Carlos Alberto; FINK, Jessé Rodrigo. Atributos químicos e área superficial

específica em Latossolo subtropical de altitude sob usos e manejos distintos. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.42, n.12, p.2172-2179, 2012.

TORRES, Anatoly Queiros Abreu. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em área degradada em recuperação com plantio de leguminosas arbóreas, no Município de Angra dos Reis, RJ**. 2011.42 f. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2011.

TÓTOLA, Marcos Rogério; CHAER, Guilherme Montandon. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, L.M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.195-276, 2002.

TRÊS, Deisy Regina; SANT'ANNA, Cristina Silva; BASSO, Sandro; LANGA, Reinaldo; RIBAS JR, Ulisses;. REIS, Ademir. Banco e chuva de sementes como indicadores para a Restauração Ecológica de matas ciliares. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre, v. 5, supl. 1, p. 309-311, 2007.

URQUIAGA, Segundo; ALVES, Bruno Jose Rodrigues; JANTALIA, Claudia Pozzi; BODDEY, Robert Michael. Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: Uma análise crítica. **Informações Agrônomicas**. Seropédica, n.130, p. 12-21, 2010.

VALLADARES, Gustavo Souza; PEREIRA, Marcos Gervasio & ANJOS, Lucia Helena Cunha dos. Adsorção de fósforo em solos de argila de atividade baixa. **Bragantia**, Campinas, 62:111-118, 2003.

VANCE, G.F.; STEVENSON, F.J.; SIKORA, F.J. **Environmental chemistry of aluminum-organic complexes**. In: SPOSITO, G. (Ed.).The enviromental chemistry of aluminum. 2.ed. Flórida: Lewis Publishers, p.169-220, 1996.

VARGAS, Milton Alexandre Teixeira; HUNGRIA, Mariangela, (ads.). **Biologia dos solos cerrados**. Planaltina. EMBRAPA-CPAC, Brasília, p.524, 1997.

VASCONCELOS, Romero Falcão Bezerra; CANTALICE, Jose Ramon Barros; OLIVEIRA, Veronildo Souza; COSTA, Yure Daniel Jatoba da; CAVALCANTE, Douglas Monteiro. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana de- açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34, p.309316, 2010.

VASCONCELLOS, Rafael Leandro de Figueiredo; BINI, Daniel; PAULA, Alessandra Monteiro de; ANDRADE, Joice Bonfim; CARDOSO, Elke Jurandy Bran Nogueira. Nitrogênio, carbono e compactação do solo como fatores limitantes do processo de recuperação de matas ciliares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.37: p.1164-1173, 2013.

VEZZANI, Fabiane Machado. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001.184 f. Tese (Doutorado), Programa de Pós-graduação em ciências do solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001.

VEZZANI, Fabiane Machado; MIELNICZUK, João. Uma revisão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.33: p.743-755, 2009.

VEZZANI, Fabiane Machado & MIELNICZUK, João. Agregação e estoque de carbono em argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35: p.213-223, 2011.

VIANA, Eduardo Torres; BATISTA, Marcelo Augusto; TORMENA, Cassio Antônio; COSTA, Antônio Carlos Saraiva; INOUE, Tadeu. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 35, p. 2105-2114, 2011.

VIEIRA, I.C.G; UHL, C; NEPSTAD, D. The role of the shrub *Cordia Multispicata Cham.* As a “succession facilitator” in an abandoned pasture, Paragominas, Amazonia. **Vegetatio**. Berlin, v.115,p.91-99,1994.

VIEIRA, Neide Koehntopp. **O papel do banco de sementes na restauração de restinga sob talhão de Pinus elliottii Engelm.** 2004.77p. Dissertação (mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

VILAR, Cesar Crispim; COSTA, Antonio Carlos Saraiva da; HOEPERS, Allan & JUNIOR, Ivan Granemann de Souza. Capacidade máxima de adsorção de fósforo relacionada a formas de ferro e alumínio Em solos subtropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.34:p.1059-1068, 2010.

WENDLING, beno; VINHAL-FREITAS, Isabel Cristina; OLIVEIRA, Roberta Camargos de; BABATA, Marcela Mayumi; BORGES, Elias Nascentes. DENSIDADE, agregação e porosidade do solo em áreas de Conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e Plantio direto. **Bioscience Journal. Uberlândia**, v. 28, Supplement 1, p. 256-265, 2012.

Vogel, Huiquer Francisco; Campos, João Batista e Bechara, Fernando Campanhã. Early bird assemblages under different subtropical forest restoration strategies in Brazil: passive, nucleation and high diversity plantation. *Tropical Conservation Science* Vol.8 (4): 912-939, 2015.

YARRANTON, G.A.; MORRISON, R.G. Spatial dynamics of primary succession: nucleation. **Journal of Ecology**. Oxford, v.62, n.2, p.417-428, 1974.

YEOMANS, Jane.C; BREMNER, John.M. A rapid and precise method for routine determination of organic Carbon in soil. **Commun, Soil Sci. Plant Anal**, v.19, p.1467-1476, 1988.

ZAIA, Francisco Costa; GAMA-RODRIGUES, Antônio Carlos da & GAMA-RODRIGUES, Emanuela Forestieri da. Formas de fósforo no solo sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem no norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V.32:p.1191-1197, 2008

ZIBILSKÉ, L. M. Carbon mineralization. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMLEY, P. J. (Ed.). *Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties*. **Madison: Soil Science Society of America**. p. 10-35. (Special Publication 5), 1994.

ZINN, Yure.L.; LAL, Ratan. & RESCK, Dimas.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil Till. Res.**,v.84:p.28-40, 2005.

ZOTARELLI, Lincoln; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, 2012.