

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

LUIZ FERNANDO VERONEZI

ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB TRÊS  
DIFERENTES USOS DA TERRA NO PARANÁ

IRATI

2016

LUIZ FERNANDO VERONEZI

ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB TRÊS  
DIFERENTES USOS DA TERRA NO PARANÁ

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental, curso de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, associação ampla entre UNICENTRO e UEPG, área de concentração Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, linha de pesquisa Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Costa de Oliveira Filho

Co-orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Kelly Geronazzo Martins

IRATI

2016

Catálogo na Fonte  
Biblioteca da UNICENTRO

VERONEZI, Luiz Fernando.

Alterações dos atributos microbiológicos do solo sob três diferentes uso da terra no V549aParaná / Luiz Fernando Veronezi. – Irati, PR : [s.n.], 2016. 92f.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Costa de Oliveira Filho

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Kelly Geronazzo Martins

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Área de Concentração: Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos e Meio Ambiente. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Universidade Estadual de Ponta Grossa, PR.

1. Engenharia Ambiental – dissertação. 2. Respiração Basal do Solo – Solos. 3. Carbono da Biomassa Microbiana. 4. Quociente Metabólico. 5. Sistema de Informação Geográfica. 6. Mata Atlântica. 7. Floresta Ombrófila Mista. 8. Pinus. 9. Eucalipto.

I. Oliveira Filho, Paulo Costa. II. Martins, Kelly Geronazzo. III. UNICENTRO. IV. Título.



# Universidade Estadual do Centro-Oeste

Reconhecida pelo Decreto Estadual nº 3.444, de 8 de agosto de 1997



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

## PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL ASSOCIAÇÃO AMPLA ENTRE A UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE – UNICENTRO E A UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA – UEPG

### PARECER

Defesa Nº 5

A Banca Examinadora instituída pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Sanitária e Ambiental, do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, em associação ampla entre a Universidade Estadual do Centro-Oeste e a Universidade Estadual de Ponta Grossa, após arguir o mestrando **Luiz Fernando Veronezi** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado “ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB TRÊS DIFERENTES USOS DA TERRA NO PARANÁ”, é de parecer favorável à APROVAÇÃO do estudante, habilitando-o ao título de **Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental**, na Área de Concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Irati-PR, 31 de março de 2016.

**Dra. Angela Michelato Ghizelini**  
Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Primeira Examinadora

**Dra. Vânia Rosseto Marcelino**  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Segunda Examinadora

**Dr. Paulo Costa de Oliveira Filho**  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Home Page: <http://www.unicentro.br>

**Campus Santa Cruz:** Rua Padre Salvador, 875 – Cx. Postal 3010 – Fone: (42) 3621-1000 – FAX: (42) 3621-1090, CEP: 85.015-430 – GUARAPUAVA – PR  
**Campus CEDETEG:** Rua Simeão Camargo Varela de Sá, 03, Vila Carli – Fone/FAX: (42) 3629-8100 – CEP 85.040-080 – GUARAPUAVA – PR  
**Campus Irati:** PR 153 – Km 07 – Riozinho – Cx. Postal: 21 – Fone: (42) 3421-3000 – FAX: (42) 3421-3067 – CEP 84.500-000 – IRATI – PR

## **Agradecimento**

À Deus primeiramente, pela força e sabedoria para ter chegado até aqui.

À minha esposa Elcilene pela paciência e compreensão.

Aos meus pais Joana e Roberto pelo apoio em mais essa fase de minha vida.

Ao meu irmão Eduardo pelo companheirismo.

Ao meu orientador Paulo Costa de Oliveira Filho e à co-orientadora Kelly Geronazzo Martins, que foram fundamentais em todas as etapas para o desenvolvimento desta pesquisa e que confiaram em mim.

Aos meus amigos do mestrado em especial à Juliana pelo companheirismo ao trabalharmos juntos.

Ao meu amigo Ronaldo, aluno de IC, que também contribuiu para este trabalho.

Ao meu amigo Willian Gouvea Buratto pelo apoio.

Aos meus professores que me auxiliaram na busca e conquista de mais essa etapa.

À CAPES e à Fundação Araucária pelo apoio com a bolsa e auxílio fornecidos.

À todos que de alguma forma contribuíram para mais essa minha conquista.

À todos meu muito obrigado.

Dedico à uma pessoa muito especial para mim que dentre tantas qualidades posso citar: companheira, amiga, esposa. À essa pessoa que amo tanto e que foi enviada por Deus até mim em um momento difícil me ajudando à superar minha dificuldades e medos.

Acredite que nenhum de nós já nasceu com jeito pra super-herói. Nossos sonhos a gente é quem constrói, é vencendo os limites, escalando as fortalezas, conquistando o impossível pela fé. Campeão, vencedor. Deus dá asas, faz teu vôo. Campeão, vencedor. Essa fé que te faz imbatível te mostra o teu valor.

*Conquistando o impossível – Jamily*

Se não for o Senhor o construtor da casa, será inútil trabalhar na construção. Se não é o Senhor que vigia a cidade, será inútil a sentinela montar guarda. Será inútil levantar cedo e dormir tarde, trabalhando arduamente por alimento. O Senhor concede o sono àqueles a quem ama.

*Salmos 127:1,2 Bíblia Sagrada*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xi
<b>LISTA DE EQUAÇÕES</b> .....	xii
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	xiii
<b>RESUMO</b> .....	xiv
<b>ABSTRACT</b> .....	xv
<b>Memorial</b> .....	xvi
<b>1. Introdução</b> .....	1
1.1. Objetivo geral .....	3
1.2. Objetivos específicos .....	3
<b>2. Revisão Bibliográfica</b> .....	3
2.1. Mata Atlântica .....	3
2.2. Serviços ecossistêmicos .....	6
2.3. Setor florestal brasileiro .....	8
2.4. Atributos microbiológicos .....	9
2.5. Microbiologia do solo .....	14
2.6. Modelagem espacial .....	15
2.7. Análise de componentes principais e análise de correspondência canônica ...	17
<b>3. Material e Métodos</b> .....	21
3.1. Localização e caracterização das áreas de estudo .....	21
3.2. Coleta .....	25
3.3. Implementação do modelo de dados em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG) .....	27
3.4. Preparo das amostras .....	28
3.5. Respiração Basal do Solo (RBS) .....	29
3.6. Biomassa Microbiana do Solo (C-BMS) .....	31
3.7. Quociente Metabólico (qCO <sub>2</sub> ) .....	31
3.8. Análise físico-química dos dados .....	32
3.9. Análises estatísticas .....	32
<b>4. Resultados e Discussão</b> .....	33
4.1. Análise de Componentes Principais dos atributos físico-químicos do solo ....	33
4.2. Respiração Basal do Solo .....	35



4.3.	Biomassa Microbiana do Solo .....	40
4.4.	Quociente Metabólico do Solo .....	45
4.5.	Umidade .....	51
4.5.1.	Correlação dos atributos microbiológicos com a umidade do solo .....	56
4.5.2.	Correspondência Canônica dos atributos físico-químicos com atributos microbiológicos .....	63
5.	<b>Conclusão</b> .....	64
6.	<b>Recomendações</b> .....	65
7.	<b>Referências Bibliográficas</b> .....	65

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa dos remanescentes florestais da Mata Atlântica para o período de 2012-2013 .....	5
Figura 2. Localização exata da região de estudo com as três áreas estudadas em destaque ...	22
Figura 3. Demonstração de como estavam as três áreas na primeira coleta de solo, sendo (A) área de plantio de Pinus sem presença de sub-bosque; (B) área de plantio de Eucalipto onde foi constatada a presença de regeneração natural e; (C) área de Floresta Nativa caracterizada como estágio sucessionário intermediário pela presença de uma estratificação vertical .....	23
Figura 4. Demonstração de como estavam as três áreas na segunda coleta de solo, sendo (A) área de plantio de Pinus evidenciando presença de regeneração natural; (B) área de plantio de Eucalipto com desenvolvimento da regeneração natural e; (C) área de Floresta Nativa caracterizada como estágio sucessionário intermediário pela presença de uma estratificação vertical .....	23
Figura 5. Dados referentes às temperaturas médias mensais de máxima e mínima, temperaturas médias mensais e temperaturas mensais de máxima e mínima, para o período de janeiro de 2014 e dezembro de 2015 .....	24
Figura 6. Dados referentes à precipitação mensal e umidade relativa do ar para o período de janeiro de 2014 e dezembro de 2015 .....	24
Figura 7. Croqui da área experimental utilizado para a área de plantio de Pinus e para a FOM feita em papel milimetrado .....	25
Figura 8. Croqui da área experimental utilizado para a área de plantio de Eucalipto feita em papel milimetrado .....	26
Figura 9. Padrão de espacialização utilizado nas três áreas de estudo .....	27
Figura 10. Fluxograma passo a passo para a elaboração dos mapas temáticos .....	28
Figura 11. Amostras de solo para serem secas na estufa .....	29
Figura 12. Incubadoras com o solo, NaOH e papel umedecido para determinação da RBS. À direita da figura estão as incubadoras que funcionaram como controle .....	30
Figura 13. Análise de Componentes Principais dos atributos físico-químicos do solo em função do tipo de uso e cobertura do solo .....	34
Figura 14. Média dos valores de RBS ( $\text{mg C-CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ solo} \cdot \text{h}^{-1}$ ) para a primeira coleta de solo nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto, FOM .....	35
Figura 15. Média dos valores de RBS ( $\text{mg C-CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ solo} \cdot \text{h}^{-1}$ ) para a segunda coleta de solo nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto, FOM .....	36
Figura 16. Mapa temático para a RBS para a área experimental de plantio de Pinus considerando 5 classes .....	38
Figura 17. Mapa temático para a RBS para a área experimental de plantio de Eucalipto considerando 5 classes .....	39

Figura 18. Mapa temático para a RBS para a área experimental de FOM considerando 5 classes .....	40
Figura 19. Média dos valores de C-BMS ( $\text{g C Kg}^{-1}$ solo) nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM para a primeira coleta de solo .....	41
Figura 20. Média dos valores de C-BMS ( $\text{g C Kg}^{-1}$ solo) nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM para a segunda coleta de solo .....	42
Figura 21. Mapa temático para o C-BMS para a área experimental de plantio de Pinus considerando 5 classes .....	43
Figura 22. Mapa temático para o C-BMS para a área experimental de plantio de Eucalipto considerando 5 classes .....	44
Figura 23. Mapa temático para o C-BMS para a área experimental de FOM considerando 5 classes .....	45
Figura 24. Média dos valores de $q\text{CO}_2$ ( $\text{mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ C-BMS} \cdot \text{h}^{-1}$ ) nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM para a primeira coleta de solo .....	46
Figura 25. Média dos valores de $q\text{CO}_2$ ( $\text{mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ C-BMS} \cdot \text{h}^{-1}$ ) nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM para a segunda coleta de solo .....	47
Figura 26. Mapa temático para o $q\text{CO}_2$ para a área experimental de plantio de Pinus considerando 5 classes .....	49
Figura 27. Mapa temático para o $q\text{CO}_2$ para a área experimental de plantio de Eucalipto considerando 5 classes .....	50
Figura 28. Mapa temático para o $q\text{CO}_2$ para a área experimental de FOM considerando 5 classes .....	51
Figura 29. Média dos valores de umidade (%) nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto, FOM para a primeira coleta de solo .....	52
Figura 30. Média dos valores de umidade (%) nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto, FOM para a segunda coleta de solo .....	53
Figura 31. Mapa temático para umidade para a área experimental de plantio de Pinus considerando 5 classes .....	54
Figura 32. Mapa temático para umidade para a área experimental de plantio de Eucalipto considerando 5 classes .....	55
Figura 33. Mapa temático para umidade para a área experimental de FOM considerando 5 classes .....	56
Figura 34. Diagrama de correlação entre umidade e RBS para (a) o plantio de Pinus, (b) o plantio de Eucalipto e (c) a FOM para a primeira coleta de solo .....	57
Figura 35. Diagrama de correlação entre umidade e C-BMS para (a) o plantio de Pinus, (b) o plantio de Eucalipto e (c) a FOM para a primeira coleta de solo .....	58

- Figura 36. Diagrama de correlação entre umidade e  $qCO_2$  para (a) o plantio de Pinus, (b) o plantio de Eucalipto e (c) a FOM para a primeira coleta de solo ..... 59
- Figura 37. Diagrama de correlação entre umidade e RBS para (a) o plantio de Pinus, (b) o plantio de Eucalipto e (c) a FOM para a segunda coleta de solo ..... 60
- Figura 38. Diagrama de correlação entre umidade e C-BMS para (a) o plantio de Pinus, (b) o plantio de Eucalipto e (c) a FOM para a segunda coleta de solo ..... 61
- Figura 39. Diagrama de correlação entre umidade e  $qCO_2$  para (a) o plantio de Pinus, (b) o plantio de Eucalipto e (c) a FOM para a segunda coleta de solo ..... 62
- Figura 40. Análise de Correspondência Canônica (ACC) entre  $Al^{3+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $K^+$  e as áreas de estudo (Pinus, Eucalipto e FOM) ..... 63

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Principais métodos de ordenação usado em análise multivariada .....	19
Tabela 2. Médias e desvio padrão das propriedades físico-químicas do solo referentes às áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM .....	33
Tabela 3. Apresentação dos autovalores e a correlação das variáveis com as componentes ..	35
Tabela 4. Valores de <i>p-value</i> e <i>r</i> calculados pelo teste de correlação de Spearman a 95% de significância entre a umidade e os atributos microbiológicos (RBS, C-BMS e qCO <sub>2</sub> ) para os plantios de Pinus e de Eucalipto e para a FOM para a primeira coleta de solo .....	59
Tabela 5. Valores de <i>p-value</i> e <i>r</i> calculados pelo teste de correlação de Spearman a 95% de significância entre a umidade e os atributos microbiológicos (RBS, C-BMS e qCO <sub>2</sub> ) para os plantios de Pinus e de Eucalipto e para a FOM para a primeira coleta de solo .....	62

**LISTA DE EQUAÇÕES**

Equação 1: Umidade .....	29
Equação 2: RBS .....	30
Equação 3: C-BMS .....	31
Equação 4: $qCO_2$ .....	32

**LISTA DE SIGLAS**

C-BMS – Carbono da Biomassa Microbiana do Solo

FOM – Floresta Ombrófila Mista

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBF – Instituto Brasileiro de Florestas

qCO<sub>2</sub> – Quociente Metabólico do Solo

RBS – Respiração Basal do Solo

SNIF – Sistema Nacional de Informações Florestais

## RESUMO

### ALTERAÇÕES DOS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB TRÊS DIFERENTES USO DA TERRA NO PARANÁ

O Bioma Mata Atlântica, constituído de um mosaico de vegetações, incluindo a Floresta Ombrófila Mista (FOM), além de estar distribuído por quase toda a costa brasileira também está grandemente devastado e ainda apresenta importantes serviços ecossistêmicos os quais são usufruídos por boa parte da população do país que vive na área de sua abrangência. O setor florestal é um importante pilar da economia brasileira. \*Devido a estes fatos, faz-se essencial estudos para preservar o que ainda resta de Mata Atlântica e minimizar os impactos do setor florestal. Para tanto, este trabalho teve o objetivo de verificar se os atributos pedológicos e o uso e cobertura do solo influenciam nos atributos microbiológicos representativos de qualidade do solo (Respiração Basal do Solo – RBS, Carbono da Biomassa Microbiana do Solo – C-BMS e Quociente Metabólico do Solo –  $qCO_2$ ) em três ecossistemas distintos (plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM) na localidade de Guamirim em Irati-PR nos meses de outubro/2014 e julho/2015. Os atributos pedológicos foram determinados em análises de rotina. Foram utilizadas duas metodologias de coleta de solo, sendo que na primeira, o solo foi coletado a cada 15 m de distância para posterior espacialização em ambiente SIG, a fim de se confeccionar mapas temáticos dos atributos microbiológicos do solo e também da umidade. Já para a segunda coleta as mesmas áreas de estudo foram divididas em quatro parcelas. Em ambas as coletas o solo foi coletado a uma profundidade de 0-5 cm e análises estatísticas foram realizadas. Foram realizados testes de variância (*two-way* ANOVA), testes de correlação Linear de Spearman, Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Correspondência Canônica (ACC). O solo nas três áreas são texturalmente comparáveis. A RBS e o C-BMS foram maiores na área da FOM para as duas coletas e o  $qCO_2$  foi menor também na FOM, mas somente para a primeira coleta. A umidade apresentou correlação significativa apenas para o  $qCO_2$  na área da FOM. Em relação aos atributos pedológicos o solo da área de Pinus sofreu forte influência apenas do Al, enquanto que o solo da área de Eucalipto sofreu forte influência do Ca e K, já a área de FOM não teve forte interferência de nenhum atributo pedológico e esta foi a que se apresentou de forma mais homogênea em relação a esses atributos pedológicos. Finalmente, conclui-se que o tipo de uso e cobertura da terra e as variáveis físico-químicas interferem na qualidade do solo, e os parâmetros de qualidade microbiológica selecionados foram sensíveis a essas variações. Também conclui-se que o solo da área de FOM é o mais sustentável, homogêneo e menos suscetível a alterações ambientais.

**Palavras-chave:** Respiração Basal do Solo, Carbono da Biomassa Microbiana do Solo, Quociente Metabólico do Solo, Sistema de Informações Geográficas, Mata Atlântica, Floresta Ombrófila Mista, Pinus, Eucalipto.



## ABSTRACT

### CHANGES IN ATTRIBUTES SOIL MICROBIOLOGY IN THREE DIFFERENT LAND USE IN PARANÁ

The Atlantic Forest Biome is constituted of a mosaic of vegetations including the Mixed Ombrophilous Forest (MOF), in addition to being distributed by almost the entire Brazilian coast is also greatly devastated and still important ecosystem services which are enjoyed by much of the population living in the area of its scope. The forest sector is an important pillar of the Brazilian economy. Due to these facts, it's essential make studies to preserve what remains of the Atlantic Forest and minimize the impacts of the forest sector. Therefore, this study aimed to verify if the pedologic attributes and the use and covering soil affect the representative microbiological properties of the soil quality (Basal Respiration of the Soil – BRS, Carbon of the Microbial Biomass of the soil – C-MBS and Metabolic Quotient of the Soil –  $qCO_2$ ) in three distinct ecosystems (Pine plantation, Eucalyptus plantation and MOF) in the locality of Guamirim in Irati-PR. The pedologic attributes were determined in analysis of routines. Two methodologies were used to collect soil. In the first method, the soil was collected every 15 m away for subsequent spatialization in GIS environment in order to produce thematic maps of the microbiological features of the soil and moisture. For the second methodology, the same study fields were divided into four parcels. In both methods, the soil samples were collected at a depth of 0-5 cm. The following tests were carried out: Variance tests (two-way ANOVA), tests of Linear correlation of Spearman, Principal Component Analysis (PCA) and Canonical Correspondence Analysis (CCA). The soil in the three areas are comparable in texture. BRS and the C-BMS were higher in the MOF for the both collectings, and  $qCO_2$  was lower on MOF, but only for the first collect. Moisture presented significant correlation only to the  $qCO_2$  in the area of MOF. In relation to the pedological attributes, the soil of Pine area suffered strong influence only of Al, while the soil of Eucalyptus area suffered strong influence of Ca and K, already the area MOF have no strong interference of any attribute, being the area that presents the most homogeneous form in relation to the pedological features. Finally it is concluded that the type of use and coverage of the soil and the physical-chemical variables interfere in soil quality and also that the microbiological quality parameters selected were sensitive to these variations. It also concluded that the soil of the area of MOF is the most sustainable, homogeneous, and less susceptible to environmental changes.

**Keywords:** Basal Respiration of the Soil, Carbon of the Microbial Biomass of the Soil, Metabolic Quotient of the Soil, Geographic Information System, Atlantic Forest, Mixed Ombrophilous Forest, Pinus, Eucalyptus.

## MEMORIAL

Filho de Luiz Roberto Veronezi e Joana Erenita dos Anjos Veronezi, Luiz Fernando Veronezi nasceu em 23 de julho de 1990 no município de Mirandópolis – SP. Concluiu o ensino médio no colégio “14 de Agosto” – Objetivo em Mirandópolis – SP. No ano seguinte (2009) iniciou sua trajetória acadêmica ao ingressar no curso de Engenharia Ambiental na Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO em Irati – PR. No período de graduação foi monitor das disciplinas de Cálculo I e Fenômenos de Transportes. Com o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Respiração Basal do Solo sob diferentes coberturas vegetais no município de Irati-PR** terminou o curso e se formou em 2013. Em 2014 já ingressou no Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental de Associação Ampla entre a Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG e a UNICENTRO.

## 1. Introdução

O Bioma Mata Atlântica possui grande extensão longitudinal, latitudinal e em altitude, apresentando assim, uma grande variabilidade térmica, de umidade e de relevo (MYERS et al, 2000; BORGIO et al, 2011). Devido à grande variabilidade de condições encontradas na Mata Atlântica, esta constitui-se de inúmeras tipologias, dentre as quais, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1992), a Floresta Ombrófila Mista (FOM). Localizada essencialmente na região sul do país e cobrindo aproximadamente metade do Estado do Paraná, esta formação foi quase toda desmatada, hoje restando menos de 1% de sua cobertura original no estado (CAMPOS, SILVEIRA FILHO, 2010; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE, 2014).

Considerando-se a extrema importância da Mata Atlântica na vida de tantas pessoas seja por seus serviços ecossistêmicos prestados (sejam eles culturais, provedores, reguladores ou sustentadores), seja por sua grande biodiversidade e por estar tão degradada; e considerando-se também a importância do setor florestal na economia e devido à necessidade de se aliar crescimento econômico com bem estar social e preservação ambiental, buscou-se parâmetros que expressem a qualidade do solo em florestas nativas e plantio de Pinus e de Eucalipto. Tais parâmetros precisam ser sensíveis a alterações, indicando o nível de qualidade das florestas.

Para tanto, foram estudados os parâmetros Respiração Basal do Solo (RBS) (JENKINSON, POWSON, 1976), Carbono da Biomassa Microbiana do Solo (C-BMS) (ANDERSON, DOMSCH, 1978) e Quociente Metabólico ( $qCO_2$ ) (ANDERSON, DOMSCH, 1993) que já vêm sendo estudados e aceitos como sensíveis bioindicadores de qualidade do solo, indicando desequilíbrios antes mesmo que estes possam ser percebíveis (JACKSON et al, 2003).

Vale ressaltar que, segundo Subke e Bahn (2010), a respiração do solo é responsável pelo maior fluxo de  $CO_2$  do planeta. Portanto, as vegetações nativas e as plantadas apresentam relação direta com as mudanças ambientais. Desta forma, quanto menor o valor de  $qCO_2$ , maior será a eficiência no uso do C no solo (TÓTOLA, CHAER, 2002), o que indica que uma menor quantidade de C proveniente de  $CO_2$  será lançado na atmosfera. Porém, para que haja essa boa eficiência no uso do C, são muitos os fatores que interferem, dentre os quais a matéria orgânica.

A matéria orgânica do solo, importante componente dos ecossistemas terrestres por melhorar sua fertilidade, depende da microbiota do solo para mineralizá-la e assim,

disponibilizar os nutrientes para as plantas (BATJES, 2014; KUWANO et al, 2014). Microbiota essa que é formada principalmente por bactérias e fungos, mas o solo é capaz de sustentar uma comunidade microbiana extremamente dinâmica e diversificada contendo fungos filamentosos, eubactérias, arqueobactérias, leveduras, protozoários dentre outros organismos (GOTTSCHAL, 1990; CARDOSO FILHO, MINHONI, 2007).

A forma de manejo é um fator extra que interfere na qualidade do solo, em geral acarretando perda de carbono (KARLEN et al, 1994; JACKSON et al, 2003; CARVALHO, 2005; CUNHA et al, 2011), e conforme Kuwano et al (2014), sendo que o manejo que busque manter o carbono no solo se torna importante para a sustentabilidade dos agroecossistemas.

É importante salientar que as propriedades físicas e químicas do solo variam de acordo com o espaço, sendo que pequenas alterações dessas propriedades podem levar a grandes alterações na produtividade (SILVA, LIMA, 2012). Conforme a variabilidade dessas propriedades, a matéria orgânica, bem como a microbiota e consequentemente a atividade microbiológica, também sofrem alterações ao longo do espaço.

Para Grego e Vieira (2005), as melhores técnicas de manejo podem ser adotadas a partir de um conhecimento prévio da variabilidade das propriedades físicas do solo. Segundo Delalibera et al (2012), fatores referentes à fertilidade do solo e suas propriedades físicas apresentam grande variabilidade. Desta forma, buscando um manejo mais sustentável, em que há otimização de recursos aliado ao aumento de produtividade, faz-se necessário o estudo da variabilidade espacial e atributos pedológicos (físico-químicos e biológicos) do solo que alteram a produtividade florestal.

O estudo da variabilidade de atributos pedológicos relacionados à sustentabilidade dos agroecossistemas também se faz importante perante a participação do setor florestal na economia nacional. Por possuir a segunda maior extensão em plantios do mundo, o Brasil fez do setor florestal uma importante fonte de renda, especialmente em relação às florestas plantadas de Pinus e Eucaliptos. O setor representou 3,5% do PIB em 2007, mostrando assim sua importância na economia nacional (SNIF, 2015).

Diante de tudo que já foi exposto, é possível perceber a grande importância do solo o que faz com que este trabalho apresente-se com extrema relevância. Além disso, este busca dar um enfoque pouco usual ao tema, porém muito importante no auxílio à interpretação dos resultados diante dessa problemática, utilizando-se de ferramentas de estatística multivariada e Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A abordagem multivariada dos dados busca uma melhor compreensão das relações entre os fatores (bióticos e abióticos) que interferem na qualidade dos solos por meio da

apresentação de relações mais fortes. A espacialização dos dados pelo SIG permite a visualização da distribuição espacial dos resultados obtidos e possibilita compreender melhor a distribuição desses fatores na área estudada. Em um levantamento realizado com 150 trabalhos dos últimos 10 anos referentes à atividade microbiana do solo apenas 15% desses fizeram uma espacialização dos dados, 31% utilizaram-se da análise multivariada dos dados e aproximadamente 8% utilizaram-se de ambas as ferramentas.

### **1.1. Objetivo geral**

O presente trabalho buscou verificar se há influência de variáveis físico-químicas do solo e diferentes tipos de uso e cobertura da terra nos atributos microbiológicos, representativos da qualidade do solo.

### **1.2. Objetivos específicos**

- Determinação das características físico-químicas do solo nos três ecossistemas, a saber: pH, K, Ca, Mg, Ca<sup>+</sup>, Al, MO, P, V%, Areia Grossa, Areia Fina, Silte e Argila;
- Determinação dos parâmetros de qualidade biológica do solo, a saber: Respiração Basal, Carbono da Biomassa Microbiana e Quociente Metabólico em três ecossistemas florestais;
- Determinação da relação entre os parâmetros físico-químicos e microbiológicos do solo
- Espacialização das áreas de coleta de dados e confecção dos Modelos Numéricos do Terreno e respectivos resultados espaciais para os parâmetros de qualidade biológica do solo;

## **2. Revisão bibliográfica**

### **2.1. Mata Atlântica**

Distribuído por quase toda a costa brasileira e parte do Paraguai e Argentina, o Bioma Mata Atlântica, um bioma de clima predominantemente tropical e constituído por um mosaico de vegetações, é um dos principais do Brasil e do mundo, sendo uma das regiões com maior biodiversidade do planeta (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE, 2014). Apresenta uma biodiversidade superior à de alguns continentes inteiros como a América do Norte e a Europa, o que realça ainda mais a importância do bioma (INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS – IBF, 2015). Além disso, sua abrangência no território nacional bem como a utilização e proteção de sua vegetação nativa está determinada pela Lei 11.428 de dezembro de 2006 e pelo Decreto 6.660 de novembro de 2008.

Este bioma também é considerado um dos cinco principais *hotspots* do mundo, devido ao grande número de espécies endêmicas que apresenta e à imensa perda de habitat que vem sofrendo (MYERS et al, 2000). Desta forma, o termo *hotspots* refere-se às áreas com alta concentração de espécies endêmicas e com grande perda de habitat (MYERS, 1988). Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2015) esta biodiversidade chega a aproximadamente 35% de todas as espécies arbóreas existentes no Brasil, correspondendo a cerca de 20 mil espécies, e o endemismo do bioma pode chegar a 8 mil espécies.

Em relação à fauna, segundo o IBF (2015), esse Bioma é o habitat de 1020 espécies de aves, 197 espécies de répteis, 340 espécies de anfíbios, 261 espécies de mamíferos e de 350 espécies de peixes, além das espécies ainda desconhecidas e invertebrados e insetos. Conforme o mesmo instituto, considerando-se apenas essas 2168 espécies de vertebrados, 700 são endêmicas, e das 633 espécies de animais em extinção no Brasil, 383 estão neste Bioma.

Originalmente a Mata Atlântica cobria aproximadamente 15% do território nacional, estendendo-se por 17 estados e 99% do Estado do Paraná como mostra a Figura 1 (BRASIL, 2006, 2008; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE, 2014; IBF, 2015). Contudo, pressões causadas pelo crescimento populacional e econômico têm sido uma das principais causas da grande destruição desse Bioma (SAWCZUK et al, 2014; SNIF, 2015). Tal pressão ocorre devido ser onde vivem cerca de 72% da população brasileira e onde 70% do PIB nacional é gerado (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2015; MMA, 2015).

Considerando as áreas em bom estado de conservação em todo o país restam apenas 7,5% da Mata Atlântica (CAMPANILI, SCHÄFFER, 2010); e se considerado apenas as áreas acima de 3 ha em qualquer estágio de conservação, restam cerca de 12,5% da cobertura original; ainda segundo esse parâmetro de comparação, no Paraná esse valor pode chegar a 11,8% (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE, 2014).



A Floresta Ombrófila Mista (FOM), que é um importante ecossistema deste Bioma, ocupava originalmente uma área de aproximadamente 200.000 km<sup>2</sup> espalhados principalmente pela Região Sul do país. No estado do Paraná, sua cobertura representava 49,8% do estado (CAMPOS, SILVEIRA FILHO, 2010) e restam, atualmente, menos de 1% se considerado apenas as áreas acima de 3 ha em qualquer estado de conservação (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE, 2014). A FOM que tem por característica a presença marcante da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze a qual corresponde a mais de 40% das arbóreas existentes, localiza-se em uma região com precipitações distribuídas ao longo de todo o ano (sem estação seca definida) e clima mais frio em relação às outras formações ombrófilas (MEDEIROS, 2006; SNIF, 2015). Mas outras arbóreas também podem ser citadas como representativas da FOM como a erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.), a Imbuia (*Ocotea porosa* (Nees) Barroso), a canela-lageana (*Ocotea pulchella* (Nees) Mez) e o pinheiro-bravo (*Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl.) (PÉLLICO NETTO et al., 2002; RODERJAN et al., 2002).

Localizada em terras com altitudes superiores a 500 m, no Paraná a FOM está distribuída pelos três planaltos (IBGE, 1992) e conforme Medeiros (2006) este ecossistema regional apresenta algumas espécies endêmicas o que o torna um ecossistema complexo e variável. O termo ombrófila, semelhantemente ao termo pluvial, remete à disponibilidade de água (devido, justamente, à abundância de chuvas na região), e o termo mista refere-se à mistura de espécies de flora temperada e tropical (IBGE, 1992; LEITE, 1994).

## **2.2. Serviços ecossistêmicos**

A Mata Atlântica, de forma geral, é um Bioma importante por apresentar serviços ambientais fundamentais que são desfrutados pela população, tais como garantir a fertilidade do solo (através dos ciclos biogeoquímicos e da ciclagem de nutrientes), controle e equilíbrio climático (por meio da retenção de umidade, por exemplo) dentre outros (MUCHAILH, 2010; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INPE, 2013; 2014; MMA, 2015).

Os serviços ambientais (também chamados de serviços ecossistêmicos) incluem serviços desfrutados pelo ser humano por ecossistemas naturais e também por ecossistemas manejados. A forma de manejo dos ecossistemas não naturais pode interferir nos ecossistemas naturais (SEEHUSEN, PREM, 2012). Os serviços ecossistêmicos contribuem com uma visão



holística sobre a natureza, pois leva-se em consideração seu valor econômico e sociopolítico e não somente seu valor ambiental (TOWNSEND et al, 2010).

Conforme exposto em *Millenium Ecosystem Assessment* (2005), os serviços ecossistêmicos podem ser divididos em quatro grupos: serviços provedores (responsáveis por prover bens, especialmente alimentos), serviços culturais (estético, recreacional e educacional), serviços reguladores (regulação do clima, de enchentes, de poluição por meio de sua filtragem ou decomposição, entre outros) e serviços sustentadores ou de manutenção (é o serviço que dá suporte para que os outros serviços existam sendo responsável pela ciclagem de nutrientes, produção primária (PP) e formação dos solos).

A PP refere-se à taxa de biomassa produzida por área pelas plantas (produtores primários). A PP pode ser dividida em bruta (PPB) ou líquida (PPL). Enquanto a PPB corresponde ao total de energia fixada pela fotossíntese, a PPL compreende a PPB menos a energia perdida pela respiração (TOWNSED et al, 2010). Ainda segundo estes autores, estima-se que dos 105 pentagramas ( $Pg = 10^{15} g$ )/ano de PPL global, 56,4 Pg/ano sejam proveniente dos ecossistemas terrestres. E apesar de haver uma tendência de aumento da PPL à medida que se afasta dos pólos e se aproxima das regiões tropicais, é importante salientar que uma diversidade de fatores pode limitar a mesma, como a água, temperaturas médias, quantidade e qualidade da radiação e a deficiência de nutrientes no solo, como o nitrogênio.

E assim como a PP, a ciclagem de nutrientes também é um importante serviço ecossistêmico, uma vez que é responsável por regular o desenvolvimento de ecossistemas florestais. A ciclagem de nutrientes, gerida por processos biogeoquímicos, ocorre por meio da decomposição da matéria orgânica. De forma cíclica, começa pela absorção e armazenamento de nutrientes pela biomassa, que devolve esses nutrientes ao solo como matéria orgânica, passando por processos de acumulação, decomposição e mineralização (respectivamente), liberando os nutrientes para uma nova absorção (DICKOW, 2010).

O  $CO_2$  ao ser absorvido na fotossíntese incorpora o carbono. Caso este seja incorporado na PPL, fica disponível para consumo quando é perdido para o meio como resto orgânico (por exemplo, matéria morta), sofrendo nova decomposição e tornando-se disponível para ser absorvido novamente. Já a energia dissipada de sua molécula como calor é perdida, não podendo ser reciclada outra vez. Para tanto um novo aporte de energia solar é fornecido diariamente (TOWNSED et al, 2010).

Ao contrário, o carbono perdido na forma de  $CO_2$  por meio da respiração é passível de ser fotossintetizado inúmeras vezes. Assim como ocorre com o carbono, ocorre com os outros nutrientes que estão disponíveis como compostos orgânicos simples, podendo ser

incorporados a compostos complexos na biomassa. O carbono ao ser metabolizado e transformado em CO<sub>2</sub> libera os demais nutrientes na forma inorgânica, passíveis de absorção.

Os elementos químicos, inclusive os essenciais à vida, estão distribuídos na atmosfera, nas rochas (litosfera) e na água (hidrosfera) sob formas inorgânicas, e nos organismos vivos ou já mortos (biota) sob formas orgânicas. Os ciclos biogeoquímicos consistem no trajeto que esses elementos fazem dentro desses compartimentos e também entre eles. Ou seja, os ciclos biogeoquímicos consistem nos ciclos que interagem com o meio biótico e abiótico. Entre eles podem ser citados o ciclo hidrológico, do enxofre, do carbono, do nitrogênio, dentre outros (DICKOW, 2010; TOWNSEND et al, 2010).

Esses elementos químicos podem ser transportados por grandes distâncias, seja pelos ventos ou pela água. Sendo assim, um elemento que está participando de um ciclo em um lugar específico pode facilmente ser transportado para outro lugar, participando de outro ciclo local. Porém, ações humanas têm impactado profundamente esses ciclos em escala local e global com o aumento das concentrações de nutrientes e gases estufa por meio de práticas agrícolas e queima de combustíveis fósseis, por exemplo.

### **2.3. Setor florestal brasileiro**

Com a segunda maior extensão florestal do mundo e com alto potencial produtivo, o Brasil fez do setor florestal uma importante fonte de renda, criando uma complexa estrutura produtiva em especial com as florestas plantadas, principalmente as de Eucaliptos e de Pinus (SNIF, 2015). Em 2007 estimou-se que o setor florestal representou 3,5% do PIB brasileiro (US\$ 37,3 bilhões) e 7,3% das exportações (US\$ 10,3 bilhões). O setor também foi responsável por gerar aproximadamente 7 milhões de empregos.

Porém, vale ressaltar que atualmente a economia mundial e nacional passa por crise e, juntamente com a falta de investimentos no setor por causa de inseguranças fiscais, estimou-se que a participação do setor na economia em 2013 não superou os 1,25% do PIB, conforme apresentado pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2014). É importante ressaltar, também, que em 2015 o setor já vem apresentando sinais de recuperação, conforme informativos mais recentes do CEPEA (2015).

As florestas plantadas começaram a ser cultivadas no país há mais de cem anos, tendo início com o *Eucalyptus* spp. em 1903 no cerrado paulista e, em seguida, com o *Pinus* spp. em 1947 na Região Sul (SNIF, 2015). Segundo Gonçalves et al (2002) e Araújo et al (2004) as

árvores mais plantadas em reflorestamentos no Brasil são os Eucaliptos. Esses plantios tornaram-se uma alternativa viável para suprir a demanda madeireira minimizando as pressões sobre a Mata Atlântica já tão degradada. Reflorestamentos mais maciços passaram a ser feitos a partir da década de 1960, mas foi na década de 1970 que foi desenvolvida uma política de incentivos fiscais (SNIF, 2015).

Ainda conforme o Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF, 2015), as pesquisas sobre sistemas silvipastoris e agroflorestais têm avançado e apresentado bons resultados nos três pilares da sustentabilidade (aspectos ambientais, econômicos e sociais). Algumas funções importantes podem ser citadas sobre esses sistemas, como o reaproveitamento de áreas degradadas pela agricultura, sequestro de carbono, diminuição da pressão exercida sobre as florestas nativas, dentre outros.

#### **2.4. Atributos microbiológicos**

Um solo de boa qualidade é aquele capaz de apresentar uma boa estrutura, com a dinâmica do ecossistema terrestre integrando suas propriedades físicas, biológicas, químicas, hidrológicas e geológicas, mantendo, desta forma, o equilíbrio ambiental e conseguinte a saúde das plantas, animais e até mesmo do ser humano (JACKSON et al, 2003; SPOSITO, ZABEL, 2003; CARVALHO, 2005).

Em vista disso, diversos indicadores biológicos (também chamados de bioindicadores) ligados ao carbono orgânico do solo e à atividade microbiana e que apresentam relação com outras propriedades do mesmo, têm sido sugeridos como indicadores de qualidade, apontando situações de equilíbrio ou desequilíbrio do solo podendo-se citar, por exemplo, a Respiração, a Biomassa Microbiana (KARLEN et al, 1994; ARAUJO, MELO, 2010) e o Quociente Metabólico (XU et al, 2014; ZHOU, WANG, 2015).

Essa propriedade da comunidade microbiana de refletir desequilíbrios ambientais deve-se, principalmente, à sua relação com as funções ecológicas do ambiente, bem como à capacidade que ela apresenta de refletir as mudanças no uso da terra (JACKSON et al, 2003). A atividade enzimática do solo é outro fator muito importante a se considerar, pois são essenciais nos ciclos dos elementos do solo. Sintetizadas principalmente por microrganismos, as enzimas também se beneficiam das condições que os favorecem, tais como a presença de vegetação (rizosfera), o que propicia maior atividade enzimática (CARVALHO, 2005).

A biomassa microbiana é o componente vivo da matéria orgânica do solo, a qual é composta por bactérias, fungos, actinomicetos, algas e protozoários. Essa biomassa microbiana participa dos ciclos biogeoquímicos do solo (importantes para a agricultura e reflorestamentos) tornando os nutrientes disponíveis para as plantas por meio da decomposição da matéria orgânica (MOREIRA, MALAVOLTA, 2004; PEREZ et al, 2004; 2005; EMBRAPA, 2007b; VICENTE, 2010).

A quantidade e a atividade da Biomassa Microbiana estão intimamente ligadas à Respiração do Solo; estudos nesse sentido têm sido feitos em todos os biomas, porém Norman et al (1997) ressaltam que é difícil atingir um valor preciso, uma vez que vários métodos são usados e todos possuem incertezas associadas, além da grande variabilidade temporal e espacial referentes à respiração do solo e fatores ambientais.

Devido à importância do parâmetro Respiração Basal do Solo (RBS), é necessário buscar algumas definições. Segundo EMBRAPA (2007a) a RBS compreende a soma de todas as relações metabólicas que, por meio da decomposição da matéria orgânica, produzem CO<sub>2</sub>. Andrea e Moreno Hollweg (2004) ainda afirmam que a Respiração Basal corresponde à real respiração do solo. De todos os parâmetros possíveis de serem empregados para se medir a atividade metabólica do solo, para Carvalho (2005) a respiração é o mais antigo.

Nem sempre altas taxas de RBS são um bom sinal, pois se por um lado podem ser uma situação favorável, por outro pode ser um sinal de desequilíbrio ambiental. Isso porque a respiração irá proporcionar uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas devido à decomposição, mas caso isso ocorra com a matéria orgânica mais estável a qualidade do solo estará comprometida no que tange aspectos e processos químicos, físicos ou biológicos (EMBRAPA, 2007b). Segundo Manzoni et al (2012), há uma maior eficiência no uso do carbono em comunidades microbianas nativas, o que implica em menor taxa de respiração.

A RBS durante o processo de decomposição da matéria orgânica libera CO<sub>2</sub>, o que causa uma perda de carbono (C). Mais perda do que ganho de C pode levar a uma queda da qualidade do solo, pois, se a princípio significa maior liberação de nutrientes para as plantas, como já comentado, em longos períodos representa perda de carbono orgânico (SILVA *et al*, 2007; BARETTA *et al* 2008).

A biomassa microbiana do solo (ou carbono da biomassa microbiana, C-BMS), apesar de não levar em consideração nem a diversidade nem a estrutura das comunidades de microrganismos, é, assim como a RBS, um parâmetro de qualidade muito importante. Sendo a parte mais ativa da matéria orgânica, a biomassa é um dos componentes responsáveis pela

decomposição, mineralização e acúmulo da matéria orgânica no solo (ZILLI et al, 2003; EMBRAPA, 2007b).

É por intermédio do C-BMS, que indica o potencial de reserva de carbono no solo que participa do processo de humificação, que é possível aferir acúmulo ou perda de carbono em função do manejo. Maiores valores de biomassa indicam maiores reservas de carbono no solo e conseqüentemente menor potencial de decomposição da MO (GAMA-RODRIGUES et al, 1997). Segundo Alvarez-Venegas et al (2002), o monitoramento do C-BMS é uma medida adequada para se verificar se um conjunto de práticas é sustentável.

Conforme a EMBRAPA (2007b), a biomassa e a RBS são parâmetros complementares, uma vez que a primeira não fornece informações sobre as atividades microbianas do solo, a qual é fornecida por outros parâmetros, dentre os quais a respiração pode ser citada.

Diante disso, Anderson e Domsch (1993) propuseram o cálculo do quociente metabólico ( $qCO_2$ ), que consiste na relação entre a RBS e a biomassa microbiana. Esta relação, portanto indica a quantidade de  $CO_2$  que é produzido por unidade de carbono da biomassa e por unidade de tempo. Sendo assim, a melhor condição é aquela em que menos C é perdido, ou seja, para uma mesma quantidade de biomassa, a que respira menos (incorpora mais C) é a melhor situação (EMBRAPA, 2007b).

E apesar do estoque de carbono pelo mundo estar distribuído em quatro grandes reservatórios que contêm carbono fóssil e mineral, três deles são os principais por regularem o ciclo do carbono no planeta; são eles: oceanos (~39000 Pg de C), atmosfera (~750 Pg) e ecossistemas terrestres (~2200 Pg) (IPCC, 1990; BATJES, 2014). Com 2,5 vezes mais carbono que a vegetação e duas vezes mais que a atmosfera, a matéria orgânica do solo representa um dos maiores reservatórios de carbono da biosfera. Estes reservatórios, por sua vez, estão em equilíbrio, porém alterações em algum deles também podem acarretar em alterações nos outros (LAL et al, 1995; BATJES, 1998).

Fatores que modifiquem a quantidade de biomassa microbiana do solo podem interferir na dinâmica do carbono no mesmo. É essa biomassa microbiana que, associada aos processos ecológicos (ciclagem de nutrientes, simbiose com a rizosfera e decomposição), influencia diretamente em diversos processos ecossistêmicos inerentes aos ciclos biogeoquímicos e à fertilidade (ZHOU, WANG, 2015; THAKUR et al, 2015). É papel desses microrganismos equilibrar a transferência de carbono entre a atmosfera e o solo, pois se por um lado há o sequestro por meio da matéria orgânica que é decomposta, por outro há a liberação pela respiração (THAKUR et al, 2015).

Thakur et al (2015) ainda destacaram em estudos recentes que, além das mudanças climáticas não terem impactado significativamente a biomassa microbiana do solo, elas indicaram que uma alta diversidade vegetal aumenta significativamente a quantidade dessa biomassa. Esse aumento foi causado devido ao maior aporte de Matéria Orgânica com a maior produtividade e pela regulação da umidade do solo diminuindo a evaporação da água, amenizando, dessa forma, os efeitos de mudanças climáticas. Isto pôde ser constatado em seu trabalho, uma vez que a diversidade vegetal influenciou positiva e significativamente a biomassa, e a seca foi o único fator ambiental que teve impacto significativo (e negativo).

Mudanças, em geral, de uso do solo (como a conversão de florestas em agricultura) e manejo florestal, juntamente com o consumo de combustíveis fósseis, contribuem para o acúmulo de carbono na forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera (HOUGHTON, 2003; SHABAGA et al, 2015). Para Subke e Bahn (2010) a respiração do solo é responsável pelo maior fluxo de CO<sub>2</sub> dos ecossistemas terrestres do planeta. E Heimann e Reichstein (2008) e Shabaga et al (2015) também concordam com esta afirmação.

Segundo Subke e Bahn (2010), seja em escala local ou mundial a temperatura e a umidade do solo são considerados os efeitos abióticos mais importantes para se determinar a respiração do solo, mas não os únicos. Um aumento da temperatura pode levar a um aumento no fluxo de CO<sub>2</sub> (SHABAGA et al, 2015). Porém, como relatado por Gou et al (2015), nem sempre este fato se confirma, pois se por um lado há estudos que apontem para um aumento da biomassa devido ao aquecimento global, há outros que apontam para uma diminuição dessa biomassa microbiana e conseqüente respiração, e ainda há aqueles em concordância com Thakur et al (2015), que afirmam que tal mudança no clima não tem interferido.

Assim como ocorre com a temperatura, ocorre também com a umidade. Um aumento na disponibilidade de água no solo pode levar a um aumento na respiração (PENG et al, 2008), porém extremos de umidade (seca ou saturação) acarretam em uma diminuição da respiração (WEBSTER et al, 2008). Além disso, altas temperaturas nos períodos de seca podem agravar ainda mais a disponibilidade de água, uma vez que a evaporação aumenta.

A temperatura e a umidade do solo, que variam sazonalmente, não são os únicos fatores a influenciarem na respiração do mesmo. Outros fatores abióticos e bióticos, tais como eventos climáticos, tipo de cobertura, aeração (EMBRAPA, 2007a; PENG et al, 2008; SHABAGA et al, 2015) e biomassa microbiana interferem nessa respiração (ANDREA, MORENO HOLLWEG, 2004). Para Zhou e Wang (2015), a vegetação é responsável por controlar a entrada de carbono no solo, transformando os habitats e alterando as atividades na

rizosfera, que porventura interfere no metabolismo microbiano alterando a composição microbiana.

Apesar de Gou et al (2015) terem verificado estudos em que mudanças climáticas não interferiram na biomassa, Eisenhauer et al (2013), Lange et al (2014) e Thakur et al (2015) concordam que interações entre mudanças ambientais e diversidade de plantas afetam a biomassa microbiana de diversas formas. Por exemplo, quanto maior a diversidade vegetal, maior é a retenção de água no solo; isso pode minimizar efeitos negativos de altas temperaturas e estiagens severas.

Para Moreira e Malavolta (2004), a conversão das florestas em agricultura quebra o ciclo do carbono e dos nutrientes, os quais penetram no solo devido à atividade microbiana por meio da decomposição. Há assim uma alteração na quantidade e qualidade da matéria orgânica, o que por sua vez afeta a biomassa microbiana e conseqüentemente a qualidade do solo (MOREIRA, MALAVOLTA, 2004; CARVALHO, 2005).

O ciclo do carbono, importante por estar relacionado com a disponibilidade de nutrientes para as plantas, é gerido por dois processos opostos: a fotossíntese (assimilação de  $\text{CO}_2$ ) e a respiração (perda de  $\text{CO}_2$ ). Sendo predominantemente gasoso, o  $\text{CO}_2$  é o principal meio pelo qual ocorrem as trocas gasosas entre a biota, a hidrosfera e a atmosfera. Apesar da litosfera nunca ter tido grande interação no ciclo do carbono até que seus reservatórios de carbono (combustíveis fósseis) passaram a ser manipulados pelo ser humano, (TOWNSEND et al, 2010), vale ressaltar que o solo, principalmente o mais superficial, sempre participou ativamente neste ciclo por meio de sua microbiota, de sua solução e parte gasosa.

Em se considerando as diferenças nos ecossistemas terrestres, os ecossistemas homogêneos (reflorestamentos), depois dos sistemas agroflorestais e silvipastoris, são os que mais se assemelham às florestas nativas em termos de estrutura (LIMA, 1988; IBGE, 1992; BERNARDINO, GARCIA, 2009). Uma série de estudos tem comprovado que estes ecossistemas homogêneos têm relação direta com a biodiversidade. Portanto, para que seja mantida uma boa produtividade, aspectos referentes à biodiversidade e estabilidade destes ecossistemas devem ser estudados (HARTLEY, 2002). A fim de aumentar a sustentabilidade nas plantações florestais, Bini et al (2015) relatam que a consorciação com leguminosas é uma solução, uma vez que desta forma há um aumento na qualidade do solo e também na produtividade de madeira.

O ecossistema, assim como seu manejo, pode influenciar na qualidade do solo, uma vez que estes podem interferir na disponibilidade de água, ar, nutrientes, influenciar na temperatura do solo, dentre outros. São os atributos microbiológicos do solo os primeiros a

sofrerem a influência, seja positiva ou negativa, das condições do meio, sendo assim importante seu monitoramento a fim de se verificar possíveis danos e revertê-los rapidamente antes que se agravem (BINI et al, 2015; THAKUR et al, 2015; SHABAGA et al, 2015).

## **2.5. Microbiologia do solo**

Alvo das análises dos parâmetros de qualidade microbiológicas utilizados neste trabalho, o solo é um local estressante e limitante em nutrientes se analisado da ótica dos microrganismos, porém capaz de sustentar uma microbiota dinâmica e grandemente diversificada e essa microbiota dos solos orgânicos e minerais é composta por fungos filamentosos, eubactérias, arqueobactérias, leveduras, protozoários, microalgas, nematóides (GOTTSCHAL, 1990; CARDOSO FILHO, MINHONI, 2007). Mas a quantidade e diversidade dessa microbiota varia não somente entre os agroecossistemas e ecossistemas, mas também dentro deles (CARDOSO FILHO, MINHONI, 2007). Além disso, o limite da bagagem genética dos próprios microrganismos e as condições ambientais dominantes são fatores que determinam a presença de determinados tipos e espécies de microrganismos em cada solo (EMBRAPA, 2007c).

Altamente concentrada nas camadas mais superficiais do solo, como já mencionado, a atividade desses microrganismos acontece a uma profundidade de 1-30 cm, e nessa região estima-se que os mesmos ocupem menos que 0,5% do volume total do solo e menos que 5% de seu espaço poroso e ainda estima-se, também, que correspondam a menos que 10% da Matéria Orgânica (SIQUEIRA et al, 1994; ARAÚJO, MONTEIRO, 2007; EMBRAPA, 2007c). Além disso, calcula-se que, somente as bactérias e fungos sejam responsáveis por 90% de toda a atividade microbiana existente nos solos (VANCURA, KUNC, 1988).

O C, H, O, N, P e S, importantes para as reações metabólicas são os principais elementos minerais que fazem parte dos microrganismos os quais participam dos ciclos biogeoquímicos e dos processos de decomposição da Matéria Orgânica mediando a disponibilidade desses nutrientes. O solo é um importante reservatório desses nutrientes (CARDOSO FILHO, MINHONI, 2007; EMBRAPA, 2007c).

Outra função que pode ser atribuída aos microrganismos segundo Cardoso Filho e Minhoni (2007), seja de modo direto ou indireto, é o controle dos fitopatógenos (associados as causas de podridão de raízes, sementes e do colo de plantas). E ainda conforme exposto por Araújo (2007), a comunidade microbiana forma associações simbióticas com as raízes que



também atuam no controle de patógenos, além de influenciarem na solubilização de minerais e estruturação e agregação do solo. As interações dos microrganismos com o ambiente sejam com os fatores ambientais (abióticos) ou com outros organismos como as raízes (bióticos) é estudada pela ecologia microbiana. (EMBRAPA, 2007c).

## **2.6. Modelagem espacial**

As sociedades organizadas sempre coletaram informações das mais variadas espécies de plantas, animais, propriedades, dentre outras e de sua distribuição geográfica. Contudo, isso era feito apenas com o uso de documentos e mapas em papel, impedindo, desta forma, uma análise capaz de integrar as diversas informações e mapas (CÂMARA, DAVIS, 2004). Um dos grandes desafios no que se diz respeito à resolução dos principais problemas nas diversas áreas do conhecimento é a compreensão da distribuição espacial de dados oriundos de fenômenos ocorridos no espaço, sejam eles na área da saúde, ambiental, econômica, entre outras (CÂMARA et al, 2004).

Porém, essa realidade começou a mudar com o advento da tecnologia da informação, a partir da segunda metade do século XX. Desde então, passou a haver a possibilidade de se armazenar e representar essas informações em ambiente computacional, dando espaço ao surgimento do Geoprocessamento (CÂMARA, DAVIS, 2004). Nesse sentido, o Geoprocessamento consiste no uso de técnicas matemáticas e computacionais com o intuito de tratar informações geográficas. E tal acontecimento vem influenciando, de forma sistêmica e crescente, as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, comunicação, entre outras.

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é o nome dado às ferramentas computacionais do geoprocessamento que, pela sua interface amigável e pelo seu relativo baixo custo, vem como auxílio à visualização espacial das mais diversas variáveis por meio de mapas confeccionados pela plataforma. Com apenas um banco de dados contendo as informações referentes ao estudo em questão e com uma base geográfica (um mapa da área, por exemplo) é possível se obter do SIG um mapa colorido a fim de se visualizar o padrão espacial do fenômeno.

Contudo, é de extrema importância a interpretação dos padrões existentes com considerações objetivas. Essa interpretação faz parte da análise espacial de dados geográficos, a qual busca medir as propriedades estudadas e seus relacionamentos com a área, incorporando, assim, o ambiente à análise dos resultados. Mas, com o SIG ainda é possível

integrar dados de diversas fontes e criar bancos de dados georreferenciados, tornando possível a realização de análises mais complexas e até mesmo possibilitando a automação de produção de documentos cartográficos (CÂMARA et al, 2004; CÂMARA, DAVIS, 2004).

O SPRING, um dos *softwares* nacionais mais utilizados, foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Este designou um grupo específico para a criação de um SIG, a Divisão de Processamento de Imagens (DPI) em 1984, o qual até 1990 desenvolveu o SGI e o SITIM que funcionavam em ambiente PC/DOS. E a partir de 1991 foi desenvolvido o SPRING para ambiente UNIX e MS/Windows, que desde 1997 começou a ser disponibilizado gratuitamente na internet pelo site <http://www.dpi.inpe.br/spring>.

Uma das alternativas apontadas por Câmara et al (2004) para as representações geométricas do SIG é a amostragem, a qual consiste em pares ordenados  $\{(x, y, z,)\}$ , sendo que os pares  $(x, y)$  representam as coordenadas geográficas e  $z$  o valor do fenômeno estudado para exato local. Em geral, as amostras estão associadas a dados de campo como os que foram obtidos no presente estudo, referentes aos atributos microbiológicos. Essas amostras devem ser representativas do fenômeno de interesse.

A partir dessa amostragem é possível criar uma grade regular ou irregular por meio da interpolação matemática, que consiste na criação de uma estrutura de dados e definição de superfícies de ajuste a fim de se obter uma representação contínua do fenômeno. Somente após isso se torna possível a obtenção dos produtos do Modelo Numérico do Terreno (MNT). Ou seja, não é possível se obter os produtos do MNT apenas com os dados amostrados. Esses produtos ou aplicações do MNT, portanto, consistem em procedimentos de análise executados sobre esses modelos digitais.

Também chamado de Modelo Digital do Terreno (MDT), o MNT é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície da Terra (FELGUEIRAS, GOODCHILD, 1995; FELGUEIRAS, CÂMARA, 2004). A criação de um MNT dá um novo enfoque a determinados problemas ou situações, tornando possível o fatiamento nos intervalos desejados, auxiliando na tomada de decisões. Suas aplicações podem ser qualitativas (visualização do modelo por meio de projeções geométricas, por exemplo) ou quantitativas (tais como geração de mapas de declividades).

Vale ressaltar que, para um bom resultado, a amostragem não pode conter poucos dados, o que geraria modelos pobres. Por outro lado, uma amostragem superdimensionada sobrecarregaria o sistema prejudicando os resultados. Além de uma amostragem bem

dimensionada, deve-se considerar também a distribuição dessas amostras em relação ao comportamento do fenômeno que se quer estudar (ROSIM, 1993).

## **2.7. Análise de componentes principais e análise de correspondência canônica**

Dickow (2010) explica que uma das aplicações dos métodos multivariados é detectar e representar uma estrutura existente entre os dados (encontrar respostas) e relacionar com variáveis explicativas (explicar as respostas). Estes métodos são muito utilizados por possibilitarem a análise de todas as variáveis concomitantemente. Pode-se citar dentro dos métodos multivariados a análise de similaridade (usado na confecção de dendrogramas) e os métodos de ordenação (reduz a complexidade dos dados).

Conforme McCune e James (2002) em seu livro *Analysis of Ecological Communities*, ordenação é o arranjo de variáveis ao longo de um ou mais eixos com diversos propósitos. Esses arranjos ocorrem de tal forma que os resultados representam relações complexas que são graficamente resumidas a fim de se obter um ou alguns padrões dominantes. O uso mais comum da ordenação na ecologia é descrever os padrões mais fortes em uma composição de espécies.

Denomina-se gradiente de análise quando os fatores (variáveis que serão avaliadas no experimento) variam continuamente, os quais podem variar de diferentes formas, sendo que o gradiente de análise além de ser capaz de identificar os padrões mais fortes também é capaz de identificar seus diferentes tipos (variação contínua ou por etapas, por exemplo) (McCUNE, JAMES, 2002). O conceito básico para esse gradiente de análise parte do princípio de que a abundância de espécies varia conforme o ambiente e histórico de alterações do mesmo, alterando a composição de espécies com o relevo e ao longo do tempo (McCUNE, JAMES, 2002).

Ainda segundo esses autores a ordenação ajuda o pesquisador compreender mais claramente os resultados obtidos, uma vez que auxilia na seleção dos fatores mais importantes dos múltiplos fatores hipotéticos, separando padrões fortes dos fracos, revelando alguns e sugerindo processos imprevistos. A ordenação é usada para identificar as relações existentes em um conjunto de dados (ACP e AC, por exemplo). Amostras e respostas (variáveis respostas) representadas em um sistema de eixos explica a variabilidade do conjunto de dados, sendo que o Eixo 2 explica uma porcentagem menor que o Eixo 1 e assim por diante. Desta forma, verifica-se se há relação entre o conjunto de dados e o quanto estão

relacionados. Para tanto, podem ser realizadas análises diretas (RDA e ACC) ou indiretas (ACP e AC).

Na análise direta as unidades amostrais são dispostas conforme as medições das variáveis ambientais nessas unidades amostrais, isto é, verifica-se como as espécies se distribuem ao longo de gradientes de interesse específicos. Inicialmente, há dois conjuntos de dados num mesmo diagrama, o que representa a variabilidade explicada. Neste caso há uma entrada direta das variáveis no início da análise. Já na análise de gradiente indireta verifica-se a covariação e a associação entre espécies, ou seja, em um conjunto de dados podem ser usadas técnicas de regressão para análise desta relação. Para este método não há uma entrada direta de variáveis no início da análise.

Métodos combinados dispõem unidades amostrais de espécies no espaço, contudo a ordenação é limitada pela correlação com as variáveis ambientais. Podem ser citadas como ferramentas dessa forma restrita de ordenação a análise de correlação canônica (ACC) e a análise de correspondência (AC). A primeira, uma espécie de regressão múltipla, tem por objetivo correlacionar diversas variáveis dependentes e independentes (ambas métricas). A ACC ignora as estruturas de comunidade sem relação com a variável ambiental. Já a AC, técnica interdependente recentemente desenvolvida, utiliza-se de vetor próprio para realizar a ordenação simultânea das linhas e colunas de uma matriz. Muito utilizada na ecologia para dados de abundância, suporta dados não métricos e relacionamentos não lineares.

Beals (1984) explica a diferença entre a análise de gradiente indireto e direto mediante o número de matrizes, uma vez que na análise de gradiente indireto haverá apenas uma matriz correspondente a todos os dados (bióticos e abióticos); já na análise de gradiente direto existem duas matrizes, uma para dados bióticos que representará os padrões da composição de espécies, por exemplo, e outra matriz referentes a fatores abióticos. A relação entre essas duas matrizes é o resultado da análise de gradiente direto.

As respostas dessas análises, tanto diretas quanto indiretas, podem ser expressas de duas formas: linear (ACP e RDA) ou unimodal (AC, ACC e DCA). Porém, mesmo num modelo unimodal, caso o gradiente seja pequeno ( $<3$ ), a resposta será linear. No entanto, caso o valor do gradiente seja superior a 4, a resposta realmente será unimodal, ou seja, a coordenada será o centro da curva e cada espécie apresentará um valor ótimo dentro do gradiente ambiental. O modelo linear indica que cada espécie possui resposta linear em relação ao eixo, sendo que a coordenada é o declive da linha. A Tabela 1 apresenta resumidamente o exposto.

TIPO ANÁLISE	TIPO DE ORDENAÇÃO	RESPOSTA	
		LINEAR	UNIMODAL
INDIRETA	ORDENAÇÃO SIMPLES (NÃO CONDICIONADA)	ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)	ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA (CA)
DIRETA	ORDENAÇÃO CANÔNICA (CONDICIONADA)	ANÁLISE DE REDUNDÂNCIA (RDA)	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO CANÔNICA (CCA)

**Tabela 1. Principais métodos de ordenação usado em análise multivariada**

Fonte: LEPŠ, ŠMILAUER (2003)

Em um método de redução de dados, a ordenação resulta na formação das variáveis sintéticas contínuas, eixos. A redução de dados expressa um conjunto de dados com muitas variáveis em um número menor de variáveis compostas. Desta forma, verifica-se se um conjunto de dados com entidades e dimensões (variáveis) pode ser representado de forma eficiente em um conjunto de dados com um menor número de variáveis (eixos), onde cada nova variável é a representação da variável sintética de tantas informações originais quanto possível.

As informações omitidas neste novo espaço dimensional são consideradas resíduos, os quais representam a influência de fatores menos importantes. Os novos eixos representam as correlações mais fortes em uma estrutura de dados e também são chamados de componentes principais ou ainda de variantes canônicas. Estes novos eixos, geralmente, são relacionados com outras variáveis. Sendo assim, primeiramente, resume-se a matriz de unidades amostrais por espécies em poucos eixos (eixo primário em composição de espécies), os quais são usados para mensurar variáveis ambientais.

Quanto maior a complexidade de um conjunto de dados, maior o número de sinais discretos, mas também maior é o número de ruído (resíduo). Para se determinar a quantidade de eixos deve-se levar em consideração a significância estatística, uma vez que o risco de se obter interpretações errôneas de padrões fracos ou até mesmo falsos aumenta com o aumento de eixos, além de tornar mais difícil a apresentação e a discussão dos resultados.

Na maioria dos casos, a estrutura da ordenação é tão forte que é pouco questionada, porém para casos específicos há ferramentas capazes de auxiliar na identificação de quais eixos valem a pena ser interpretados (se houver). Há métodos sugestivos (análise da componente principal - ACP, por exemplo) e há métodos capazes de estimar a probabilidade de ocorrência do erro tipo I (rejeitar hipótese verdadeira).

Relacionar variáveis com suas respectivas ordenações é o meio de interpretar tais variáveis. Tal relação pode ser feita de duas principais formas: a sobreposição e a correlação. Por não se limitar a relações lineares apenas, a sobreposição é uma forma flexível de verificar se uma variável é padrão. Normalmente, somente uma variável é sobreposta de cada vez, e cada ponto de ordenação é marcado por um símbolo ou valor que representa o tamanho da variável.

Por outro lado, o coeficiente de correlação fornece uma forma de comparar posições de unidades amostrais nos eixos de ordenação com outras variáveis, em especial variáveis ambientais. Caso a variável tenha relação linear com o eixo de ordenação, este é expresso como um coeficiente de correlação, sendo que o quadrado deste valor representa a proporção de variação sobre o eixo de ordenação.

É importante ressaltar que, em geral, as amostras são grandes o suficiente para que um pequeno coeficiente de correlação seja estatisticamente significativo. A solução para esse problema se baseia no valor indicado por r-value (definido por seus próprios padrões para pequenos efeitos) identificando, assim, padrões que valem a pena ser interpretados. Considerando-se significância de 95%, por exemplo, os valores de r-value inferiores a 0,05 são significativos e são os que valem a pena serem estudados.

A abundância de espécies pode ser apresentada em gráficos de dispersão em relação ao gradiente, uma vez que a correlação de espécies com eixos de ordenação pode apresentar problemas especiais. Nem sempre o coeficiente de correlação é suficiente para descrever a relação entre abundância de espécies e a posição das unidades amostrais em um gradiente; sendo necessário verificar tal fato com os próprios dados. Mas para uma boa avaliação dos resultados da ordenação é necessário o uso de uma combinação de critérios que incluem, além de métodos estatísticos, um prévio e confiável conhecimento dos resultados.

A ACP, que é considerado o primeiro e mais importante método de ordenação, tem por objetivo representar um conjunto de dados com diversas variáveis de forma mais simples, ou seja, um conjunto com um número menor de variáveis compostas, reduzindo esse conjunto de dados. Este é um método indicado para dados com relações mais próximas da linearidade entre as variáveis. Vale destacar que a ACP foi proposta pela primeira vez em 1901 por Pearson, em seguida somente em 1933 por Hotelling, mas só em 1954 foi usado pela primeira vez em ecologia. Com este método é possível obter uma matriz de correlação em que são apresentados autovalores, que correspondem a uma parte da variação total, correspondendo a um eixo (componente principal particular); o maior autovalor explica a maior variação. Cada autovalor possui um autovetor e cada autovetor possui um coeficiente linear de equação.

A ACC, proposta pela primeira vez por Braack em 1986, por sua vez, ignora estruturas da comunidade que não apresentam relação com as variáveis ambientais. Ao final desta análise é possível realizar uma avaliação independente a fim de se verificar a importância das variáveis ambientais medidas. O uso de análises multivariadas possibilita visualizar relações que não podem ser vistas diretamente e a ACC é uma forma de tornar isso possível. O uso do método ACC é mais indicado para um conjunto de dados que respeitem a duas condições: as respostas ao meio ambiente devem seguir o modelo unimodal e as variáveis ambientais importantes devem ser medidas. Contudo, se atualmente a ACC é considerada a técnica de ordenação em comunidade ecológica mais popular, esta é também uma das mais perigosas por ser um método relativamente complexo.

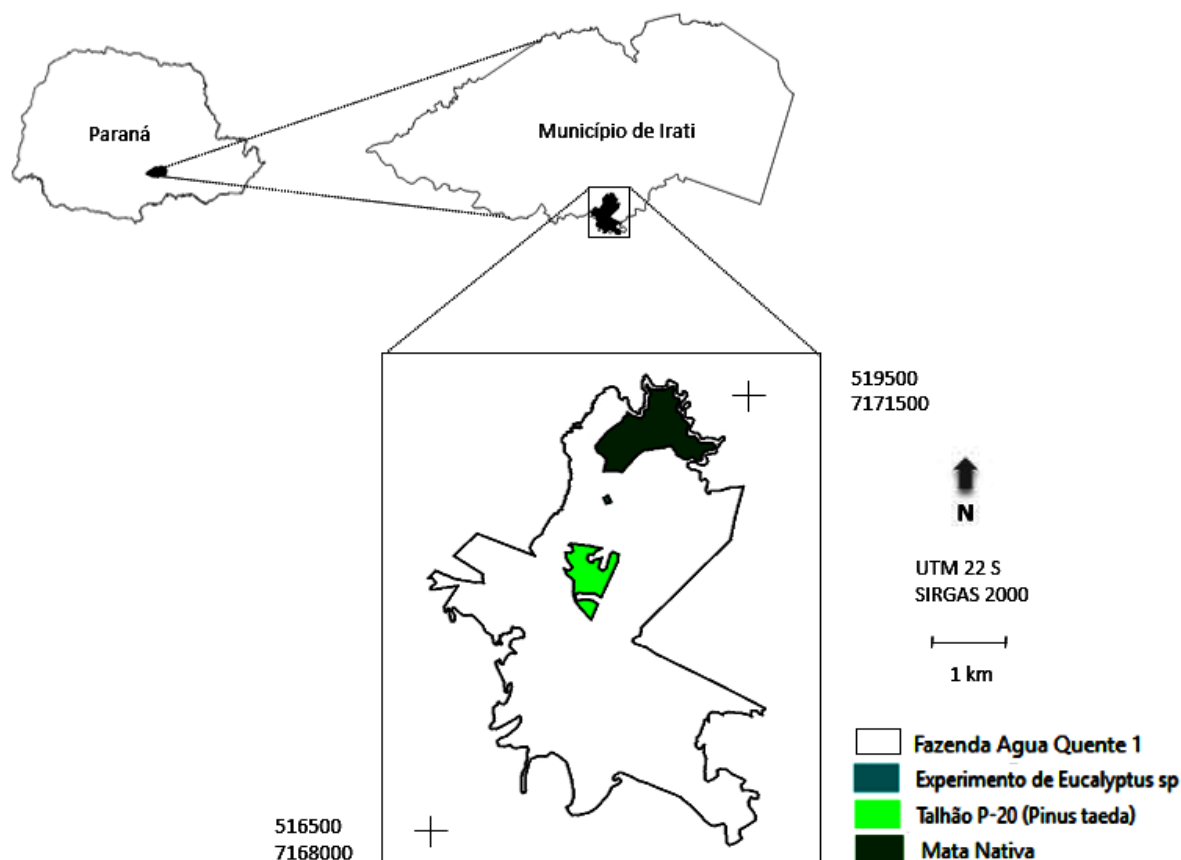
### **3. Material e Métodos**

#### **3.1. Localização e caracterização das áreas de estudo**

O presente estudo foi realizado em três talhões: plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e Floresta Natural (Floresta Ombrófila Mista – FOM) da Fazenda Água Quente 1 que possui cerca de 409 ha e onde 59 espécies de aves foram registradas (MARCELINO, MARTINS 2014). Esta propriedade da empresa Emílio B. Gomes e Filhos S/A está localizada no Distrito de Guamirim distante aproximadamente 27 Km de Irati-PR. A Figura 2 mostra a localização exata das áreas de estudo.

O plantio de *Pinus taeda*, com área aproximada de 35 ha, possui 15 anos de idade e apresenta espaçamento de 3 x 2 entre as árvores, cuja altura média é de aproximadamente 22 m. No ato da primeira coleta era praticamente inexistente a presença de um sub bosque (Figura 3A) diferentemente da segunda coleta quando foi observado uma área de regeneração natural (Figura 4A).

O plantio de *Eucalyptus dunnii*, com uma área muito menor em relação ao plantio de Pinus (7 ha), possui 5 anos de idade e também apresenta um espaçamento de 3 x 2 entre as árvores, cuja a altura média é de cerca de 14 m. A área já apresentava regeneração natural quando da locação do experimento (primeira coleta) representada pela Figura 3B, após 9 meses (segunda coleta) observou-se um desenvolvimento da regeneração (Figura 4B).



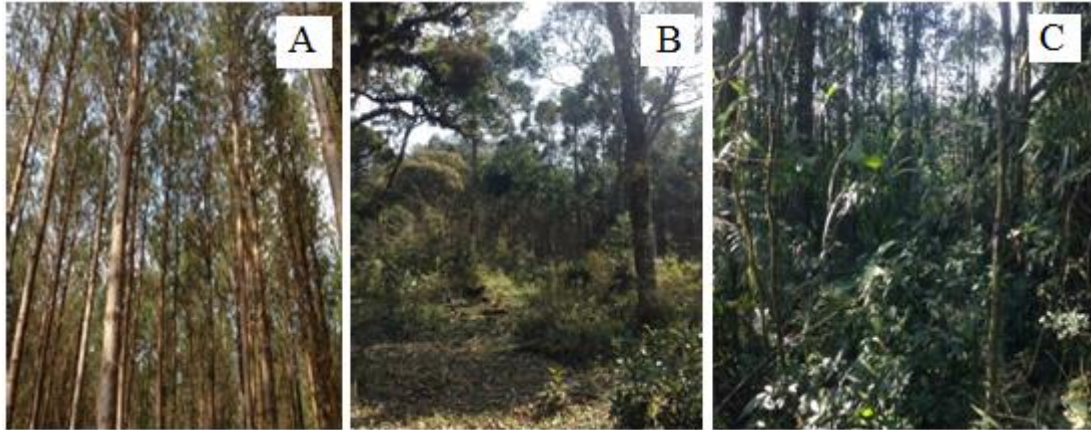
**Figura 2. Localização exata da região de estudo com as três áreas estudadas em destaque**

A área de floresta estudada caracteriza-se como estágio sucessional intermediário, pois apresenta início de estratificação vertical (Figuras 3C e 4C). A espécie mais representativa é a pioneira longeva *Araucaria angustifolia*. De forma geral, segundo Marcelino e Martins (2014) na Fazenda Água Quente 1 as espécies mais representativas são a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Pinheiro-brasileiro) – Araucariaceae, *Cinnamodendron dinisii* Schwacke (Pimenteira) – Canellaceae, *Nectandra grandiflora* Nees (Canela-amarela) – Lauraceae, *Matayba elaeagnoides* Radlk. (Miguel-pintado) – Sapindaceae.

Conforme exposto pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2000) o clima no município de Irati é classificado como sendo Cfb, segundo a classificação de Köppen, sendo considerado clima temperado propriamente dito. É marcado por apresentar temperaturas médias inferiores a 18 °C no mês mais frio e temperaturas médias inferiores a 22 °C no mês mais quente, não apresentando estação seca definida.

As Figuras 5 e 6 apresentam os dados de temperaturas mensais de mínima e máxima, temperaturas médias mensais de mínima e máxima, temperatura média mensal, precipitação e umidade relativa do ar para o período de janeiro de 2014 à dezembro de 2015. Estes dados são referentes à estação meteorológica 25275035 localizada em Fernandes Pinheiro e foram fornecidos pelo Simepar.





**Figura 3. Demonstração de como estavam as três áreas na primeira coleta de solo, sendo: (A) área de plantio de Pinus sem presença de sub-bosque; (B) área de plantio de Eucalipto onde foi constatada a presença de regeneração natural; e (C) área de Floresta Nativa caracterizada como estágio sucessional intermediário pela presença de uma estratificação vertical**



**Figura 4. Demonstração de como estavam as três áreas na segunda coleta de solo, sendo: (A) área de plantio de Pinus evidenciando presença de regeneração natural; (B) área de plantio de Eucalipto com desenvolvimento da regeneração natural; e (C) área de Floresta Nativa caracterizada como estágio sucessional intermediário pela presença de uma estratificação vertical**

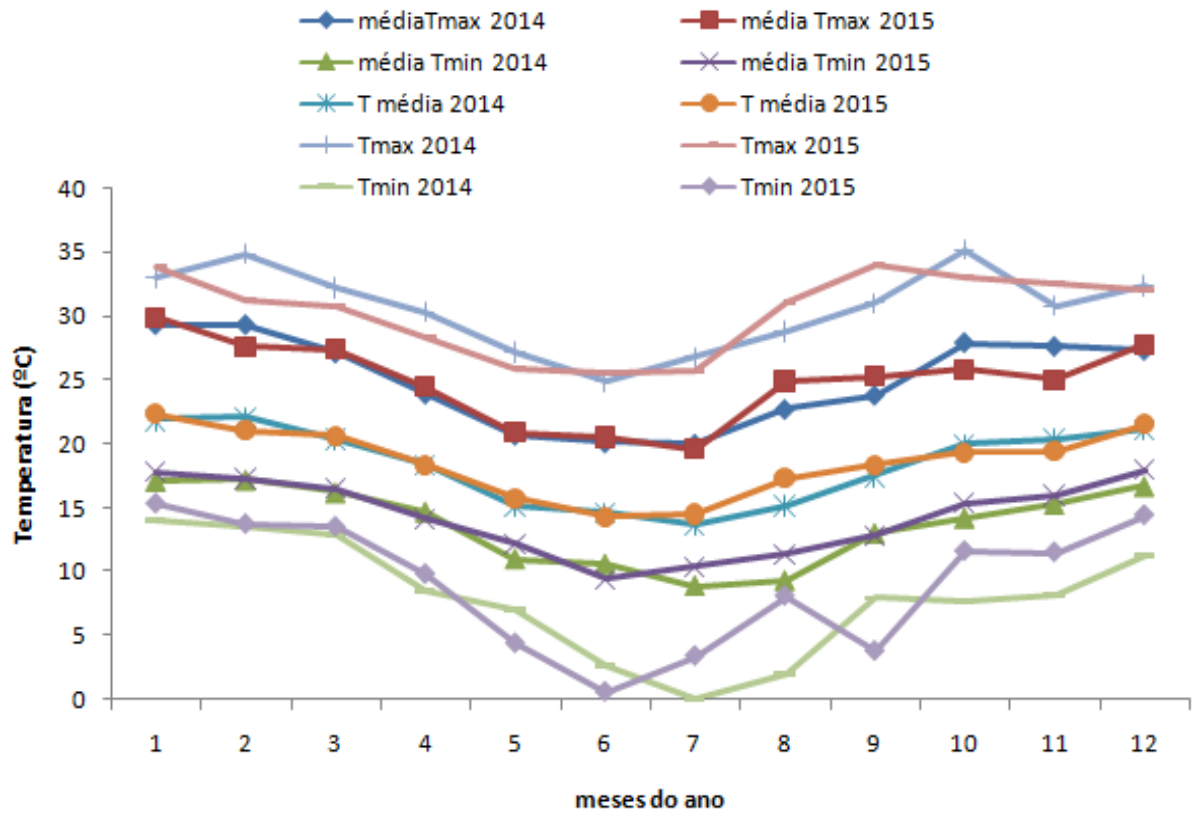


Figura 5. Dados referentes às temperaturas médias mensais de máxima e mínima, temperaturas médias mensais e temperaturas mensais de máxima e mínima, para o período entre janeiro de 2014 e dezembro de 2015

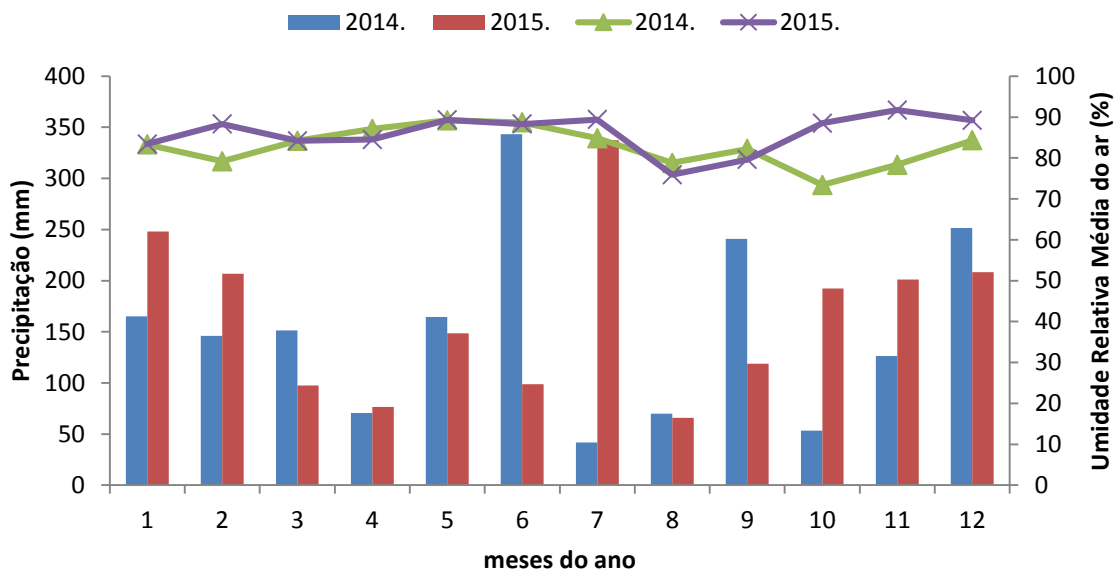
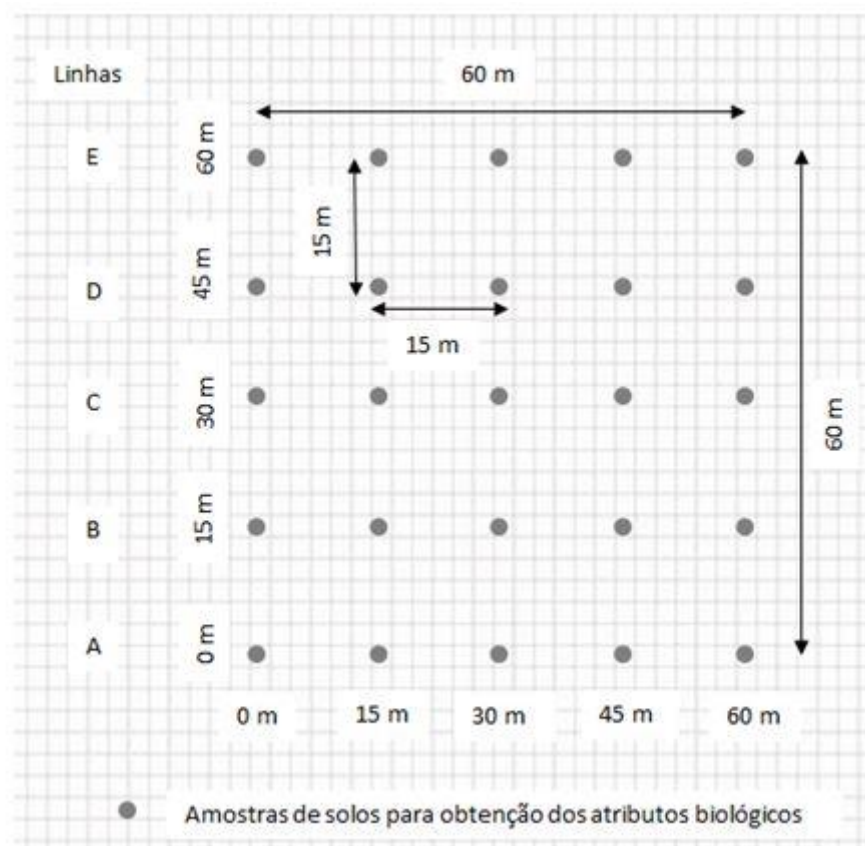


Figura 6. Dados referentes à precipitação mensal e umidade relativa do ar para o período entre janeiro de 2014 e dezembro de 2015

### 3.2. Coleta de dados

Foram realizadas coletas em duas estações do ano, sendo a primeira mais quente e úmida no início da primavera (outubro) e a segunda mais fria e seca no auge do inverno (julho). A primeira coleta foi realizada com espaçamento de 15 m entre os pontos amostrais (x e y), sendo 25 (5 x 5) pontos nas áreas de plantio de Pinus e de Floresta Ombrófila Mista (FOM) (Figura 7) e 27 (3 x 9) pontos na área de plantio de Eucalipto (Figura 8), totalizando 77 pontos amostrais. A coleta de solo foi realizada desta forma para possível modelagem espacial em ambiente SIG. A Figura 7 apresenta o padrão de espacialização utilizado nas áreas de plantio de Pinus e na FOM e a Figura 8 apresenta o padrão de espacialização utilizado na área de plantio de Eucalipto. A Figura 9 apresenta a localização das áreas de estudo com o padrão de espacialização utilizado.



**Figura 7. Croqui da área experimental utilizado para a área de plantio de Pinus e para a FOM feita em papel milimetrado**

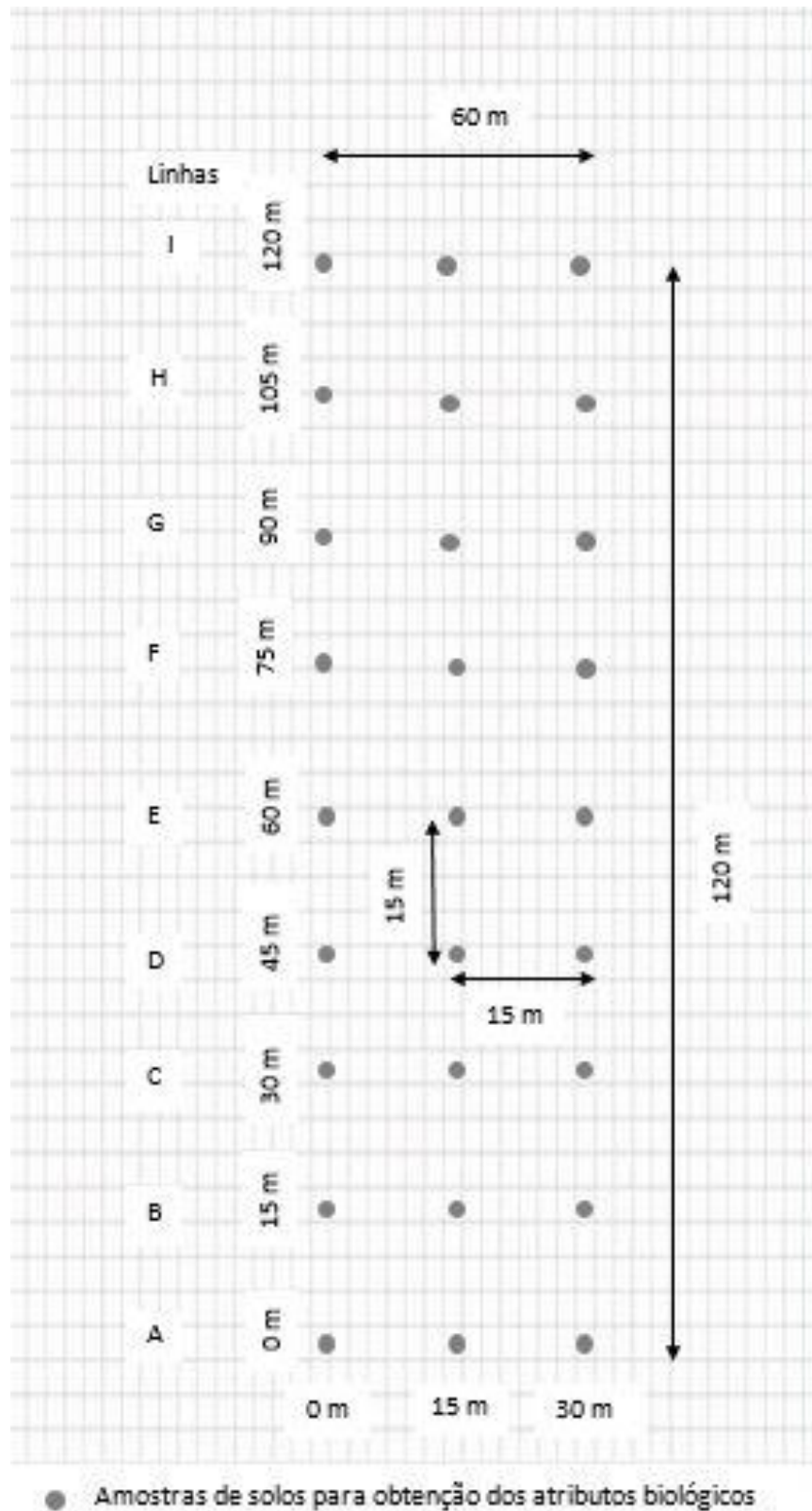
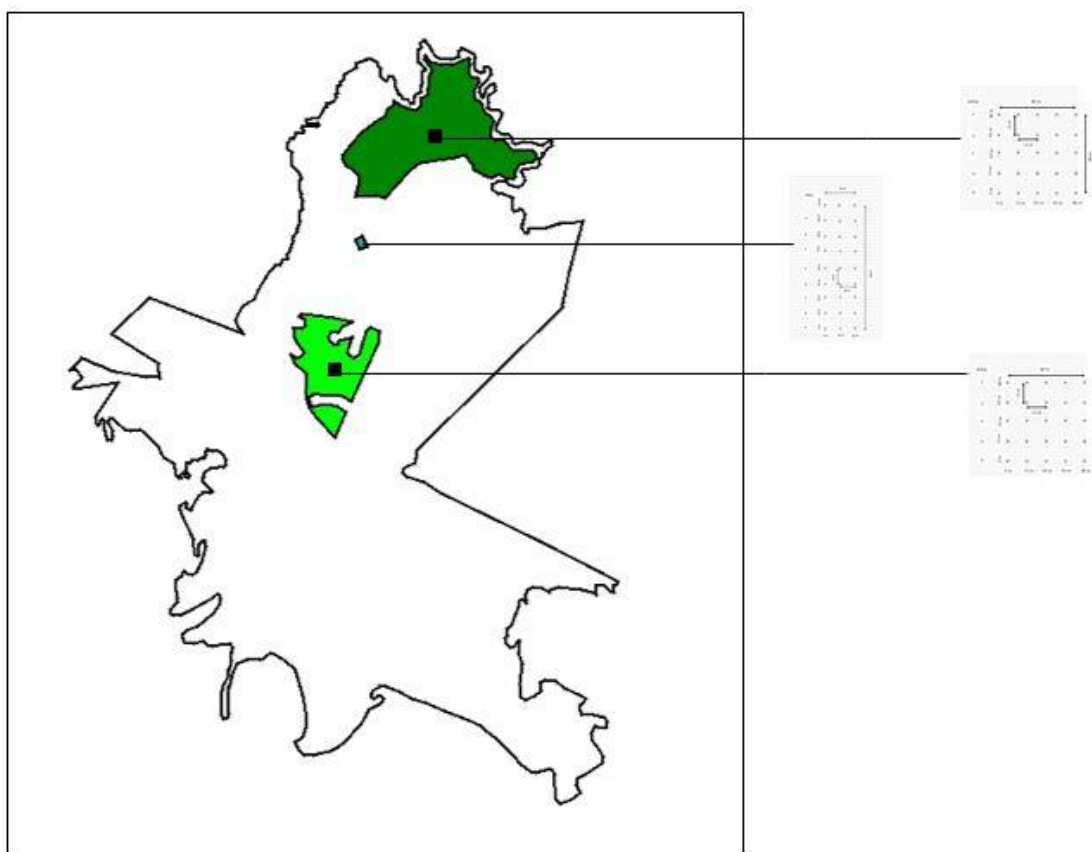


Figura 8. Croqui da área experimental utilizado para a área de plantio de Eucalipto feita em papel milimetrado



**Figura 9. Padrão de espacialização utilizado nas três áreas de estudo**

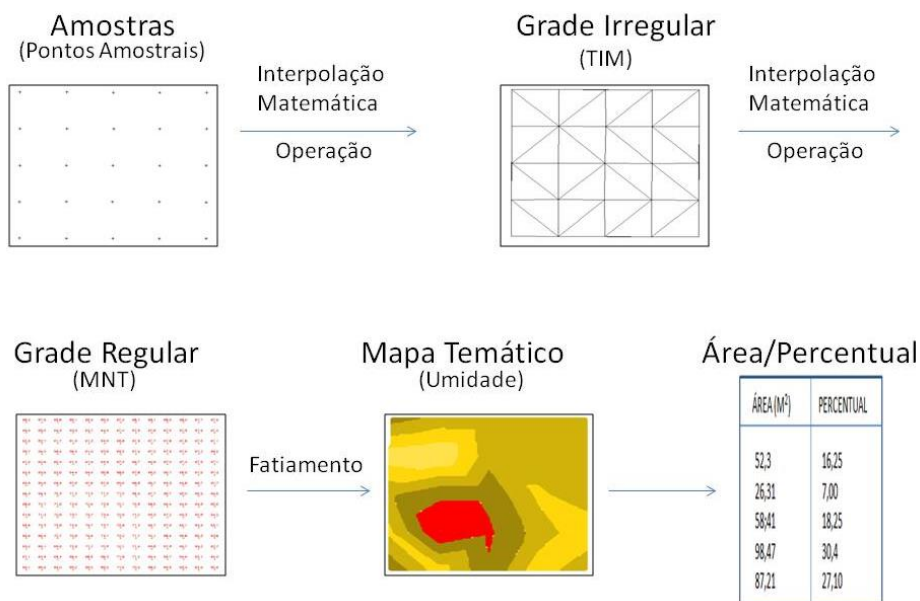
Na segunda coleta, foi utilizada uma metodologia diferente da primeira coleta anterior, pois as três áreas foram divididas em quatro parcelas ao acaso, ou seja, foram realizadas quatro coletas de solo em cada talhão. Mas em ambas as coletas, o solo foi coletado a uma profundidade de 0-5 cm com o auxílio de anéis volumétricos e colocados em sacos plásticos para posterior análise no laboratório.

### **3.3. Implementação do modelo de dados em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG)**

A partir de um croqui com informações sobre a localização das parcelas utilizadas em campo para a coleta de solo, as informações foram espacializadas no SIG utilizando um sistema de referência arbitrário. Posteriormente, foram realizadas coletas de solo para a determinação de seus atributos microbiológicos em laboratório, os quais são: Respiração Basal do Solo, Carbono da Biomassa Microbiana do Solo e o Quociente Metabólico do Solo. Com esses parâmetros foram construídos Modelos Numéricos do Terreno – MNT para as três

áreas definidas. Definidos os MNT para os três parâmetros, realizou-se o fatiamento dos mesmos e a confecção dos mapas temáticos. Também foi confeccionado um mapa temático a partir de um MNT para a variável umidade para cada uma das três áreas.

Este procedimento foi realizado apenas na primeira coleta, já que a segunda coleta de solo possuía poucos dados para a elaboração do MNT. O fluxograma da Figura 10 apresenta de forma simplificada a sequência passo a passo para a elaboração dos mapas temáticos.



**Figura 10. Fluxograma passo a passo para a elaboração dos mapas temáticos**

### 3.4. Preparo das amostras

No laboratório de Química Ambiental do Departamento de Engenharia Ambiental da UNICENTRO, *Campus Irati-PR*, as amostras de solo foram peneiradas em peneira com malha de 2 mm a fim de se retirar restos de vegetais, raízes e pequenos animais coletados junto ao material.

Foram pesados 10g de cada ponto amostral e secos em estufa à 105 °C para se determinar a umidade do solo (EMBRAPA, 2007), conforme a Figura 11. A Equação 1 determina o percentual de umidade do solo.



**Figura 11. Amostras de solo para serem secas na estufa**

$$U (\%) = \frac{Pu - Ps}{Ps} * 100$$

Equação 1

Onde:

U: umidade do solo em porcentagem

Pu: peso úmido do solo (g)

Ps: peso seco do solo (g)

### **3.5. Respiração Basal do Solo (RBS)**

A Respiração Basal do Solo foi determinada conforme o método proposto por Jenkinson e Powson (1976), o qual também é descrito pela EMBRAPA (2007a). Foram pesados 100 g de solo de cada ponto amostral. Estas amostras úmidas foram incubadas por sete dias em ambiente hermeticamente fechado com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,5 mol/L. Em todos os recipientes (incubadoras) foram inseridos papéis filtro umedecidos com água com o intuito de manter a umidade do ambiente. Também foram preparadas incubadoras para funcionarem como controle (ou branco) (Figura 12).

Após o período de incubação a solução de NaOH foi titulada com o auxílio de uma solução de HCl (ácido clorídrico) a 0,5 mol/L. Duas gotas de indicador fenolftaleína 1% foram pingadas na solução de NaOH e também 2 mL de BaCl (cloreto de bário) 10% (m/v) para completa sedimentação do CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono). Foi possível assim a aferição do excedente de CO<sub>2</sub> resultante da respiração dos microrganismos. A Equação 2 foi usada na determinação da RBS.



**Figura 12.** Incubadoras com o solo, NaOH e papel umedecido para determinação da RBS. À direita da figura estão as incubadoras que funcionaram como controle

$$RBS (mg C - CO_2 Kg^{-1} solo h^{-1}) = \frac{(V_a - V_b) * M * 6 * 1000}{P_s} / T \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

RBS = carbono oriundo da respiração basal do solo;

V<sub>b</sub> = volume de HCl gasto na titulação da solução controle;

V<sub>a</sub> = volume de HCl gasto na titulação da amostra;

M = molaridade da solução de HCl;

P<sub>s</sub> (g) = massa do solo seco;

T = tempo de incubação das amostras em horas;

Os valores 6 e 1000 correspondem a fatores de correção.



### 3.6. Biomassa Microbiana do Solo (C-BMS)

O C-BMS foi determinado pelo método da respiração induzida proposto por Anderson e Domsch (1978). Para tanto foram pesados 30 g de solo de cada ponto ao qual foi adicionado uma solução de 60 mg de glicose e 25 mL de água deionizada. Este preparado foi incubado por 4 h em ambiente hermeticamente fechado com a presença de uma solução de NaOH 0,5 mol/L. Dentro de cada pote de incubação foi inserido papel filtro umedecido. Este procedimento de incubação ocorreu de forma semelhante ao da RBS, como apresentado pela Figura 10. Após o período de incubação, também semelhantemente à RBS, foi adicionado à solução de NaOH duas gotas de fenolftaleína 1% para posterior titulação com HCl 0,5 mol/L. Incubadoras controle (sem a presença de solo) também foram preparadas. A Equação 3 apresenta o cálculo do C-BMS.

$$C-BMS (Kg C Kg^{-1} solo) = 30 * (b - a) * \left( \frac{K * 22}{1,8295 * Ps * 4} \right) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

C-BMS = carbono da biomassa microbiana (mg Cmic Kg<sup>-1</sup> de solo seco);

30 = constante (mg Cmic h/mL CO<sub>2</sub>);

b = média do volume (mL) de HCl gasto para titular as provas em branco;

a = volume (mL) HCl gastos para titular as amostras;

K = concentração da solução de HCl;

22 = fator de conversão (1mL HCl 1M corresponde a 22 mg de CO<sub>2</sub>);

1,8295 = densidade do CO<sub>2</sub> a 22°C (Kg/m<sup>3</sup>);

Ps = peso da amostra (g de solo seco);

4 = fator de conversão de 4h para 1h.

### 3.7. Quociente Metabólico (qCO<sub>2</sub>)

O Quociente Metabólico consiste na razão entre a Respiração e o Carbono da Biomassa Microbiana como proposto por Anderson e Domsch (1993) e descrito pela EMBRAPA (2007a).

$$qCO_2 (mg\ C - CO_2\ g^{-1}\ C - BMS\ h^{-1}) = \frac{RBS (mg\ C - CO_2\ Kg^{-1}\ solo\ h^{-1})}{C - BMS (Kg\ C\ Kg^{-1}\ solo)}$$

Equação 4

Onde:

qCO<sub>2</sub> = Quociente Metabólico do Solo

RBS = Respiração Basal do Solo

C-BMS = Carbono da Biomassa Microbiana do Solo

### 3.8. Análise físico-química do solo

As análises físico-químicas do solo foram feitas a partir de três pontos amostrais para que fosse possível proceder com as análises estatísticas. Essas análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Análises de Rotina de Solos do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, *Campus Irati-PR*. O pH foi determinado em CaCl<sub>2</sub> 1:2:5. P e K foram extraídos por meio de solução Mehlich-1. Ca, Mg e Al trocáveis foram extraídos por meio de KCl 1mol<sup>-1</sup>. E a digestão úmida foi o método usado para a determinação da matéria orgânica (EMBRAPA, 1999).

### 3.9. Análises estatísticas

Para responder se o tipo de cobertura florestal interfere na qualidade do solo foi utilizado uma análise de variância (ANOVA), onde os fatores ou variáveis independentes foram as coberturas florestais (plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM) e as variáveis dependentes foram os parâmetros de qualidade do solo (RBS, C-BMS, qCO<sub>2</sub>). As diferenças entre as médias foram asseguradas pelo teste *post hoc* de *Fischer-LSD* (ZAR, 1999). Concomitante às análises univariadas, uma Análise de Componentes Principais de todos os atributos pedológicos foi calculada com o objetivo de visualizar uma ordenação dos trechos estudados em função de todos os atributos.

Para responder se existe correlação entre a umidade e os parâmetros de qualidade foram calculados a Correlação Linear de Spearman a 5% de significância. E para responder se existe correlação entre os atributos pedológicos e os parâmetros de qualidade foi realizada

uma Análises de Correspondência Canônica. Tal correlação foi efetuada com a matriz de atributos microbiológicos e a matriz de atributos físico-químicos do solo. Todas as análises foram calculadas com o auxílio do pacote R Commander do *software* R versão 3.2.2 e Canoco for Windows versão 4.1. Para todos os testes a significância considerada foi de 5%.

#### 4. Resultados e discussão

Foram realizadas ao todo 356 análises em laboratório entre análises de RBS, de C-BMS, de  $qCO_2$  e de determinação de umidade do solo, sendo 308 análises para a primeira coleta de solo e 48 para a segunda. Além disso, a partir dos resultados das análises laboratoriais do solo para a primeira coleta também foram gerados 12 mapas temáticos. Finalmente, foram realizadas 9 análises de solo referentes a propriedades físico-químicas a partir da segunda coleta de solo. A seguir são apresentados os resultados obtidos e a consequente discussão dos mesmos.

##### 4.1. Análise de Componentes Principais dos atributos físico-químicos do solo

O resultado das análises físico-químicas do solo das áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e de FOM são apresentados na Tabela 2.

Dados	Pinus	Eucalipto	FOM
pH (CaCl <sub>2</sub> )	3,53 ± 0,15	4,43 ± 0,35	3,80 ± 0,00
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,13 ± 0,05	0,17 ± 0,06	0,19 ± 0,03
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,47 ± 0,15	4,10 ± 2,21	0,83 ± 0,21
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,50 ± 0,26	3,83 ± 0,97	0,67 ± 0,23
Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,93 ± 0,12	7,93 ± 3,18	1,50 ± 0,17
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	8,02 ± 0,28	1,70 ± 1,43	4,16 ± 0,22
H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	21,22 ± 4,00	9,76 ± 2,79	16,29 ± 1,46
M.O. (g/dm <sup>3</sup> )	55,40 ± 10,36	53,80 ± 4,24	58,97 ± 5,52
P (mg/dm <sup>3</sup> )	6,33 ± 1,26	4,53 ± 0,65	11,60 ± 2,82
V% (g/100g)	4,93 ± 1,30	45,10 ± 15,37	9,47 ± 1,63
Areia Grossa (g/100g)	1,94 ± 0,75	1,93 ± 1,46	2,73 ± 0,23
Areia Fina (g/100g)	8,45 ± 2,47	22,33 ± 3,55	9,77 ± 8,85
Silte (g/100g)	41,47 ± 1,50	32,67 ± 9,24	57,03 ± 6,92
Argila (g/100g)	48,13 ± 3,23	43,07 ± 8,16	30,47 ± 6,44

Tabela 2. Médias e desvio padrão das propriedades físico-químicas do solo referentes às áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM

A Análise de Componentes Principais foi possível de ser realizada, pois os solos nas três áreas de estudo são comparáveis texturalmente (Tabela 2). Tal fato implica que as diferenças encontradas e descritas nos itens posteriores dos resultados são influenciadas pelo uso e cobertura do solo e não pela textura do mesmo.

Conforme o critério de Kaiser, são significativas apenas as Componentes com autovalores maior que 1; assim as duas componentes principais significativas (maiores que 1) explicam em conjunto 73% da variação dos dados (Tabela 3). A Análise de Ordenação (Figura 13) demonstrou que as áreas ficaram divididas segundo o uso e ocupação da terra, pois cada classe (Pinus, Eucalipto e FOM) ficou em um quadrante da figura. A área de FOM caracterizou-se por ser a mais homogênea, uma vez que os pontos de estudo da mesma apresentaram menor variação entre eles. Já a área de Eucalipto foi a que apresentou maior dispersão dos valores nos pontos de estudo. O pH,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Al^{3+}$  foram os atributos que mais influenciaram na ordenação representada na figura, conforme descrito na Tabela 3.

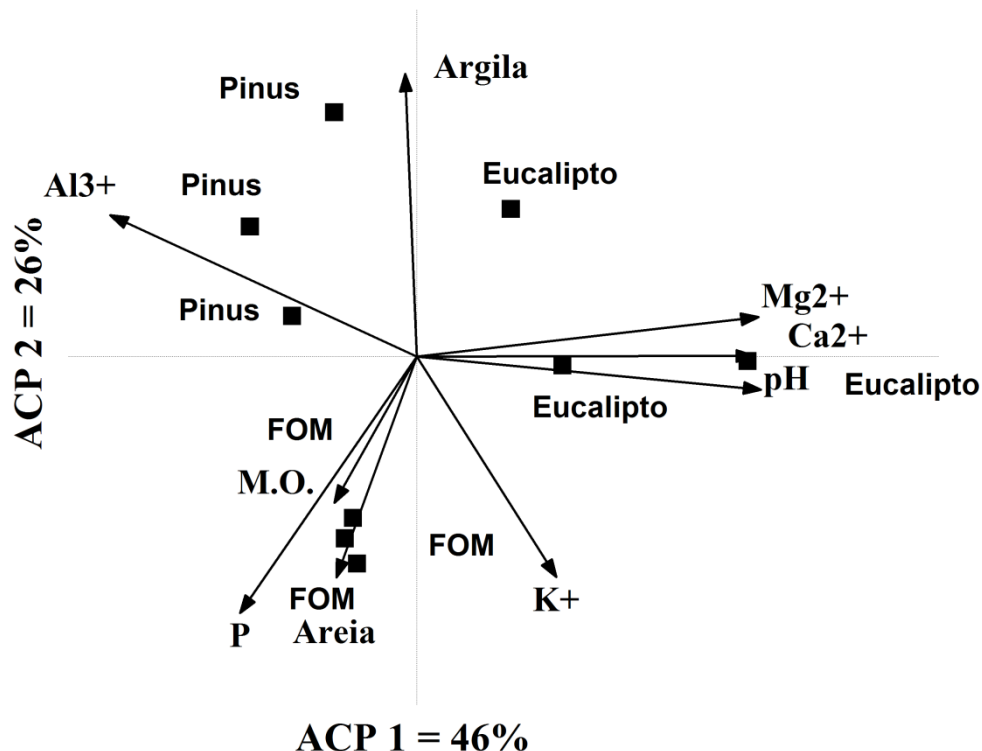


Figura 13. Análise de Componentes Principais dos atributos físico-químicos do solo em função do tipo de uso e cobertura do solo

Atributos/autovalores	Componente 1 = 4,180	Componente 2 = 2,370
pH	0,989	0,062
K <sup>+</sup>	0,400	0,411
Ca <sup>2+</sup>	0,968	- 0,001
Mg <sup>2+</sup>	0,981	- 0,074
Al <sup>3+</sup>	- 0,880	- 0,264
P	- 0,507	0,479
M.O.	- 0,236	0,273
Areia Grossa	- 0,231	0,412
Argila	- 0,034	- 0,528

Tabela 3. Apresentação dos autovalores e a correlação das variáveis com as componentes

#### 4.2. Respiração Basal do Solo

Para a primeira coleta de solo realizada na primavera foram encontrados valores médios de 7,74 mg C-CO<sub>2</sub> . Kg<sup>-1</sup> solo . h<sup>-1</sup>, 7,87 mg C-CO<sub>2</sub> . Kg<sup>-1</sup> solo . h<sup>-1</sup> e 8,97 mg C-CO<sub>2</sub> . Kg<sup>-1</sup> solo . h<sup>-1</sup> para o atributo RBS para os plantios de Pinus e Eucalipto e para a FOM, respectivamente. Pela ANOVA ( $F_{(2,13)} = 3,468$  e  $p = 0,0621$ ) não houve diferença entre as áreas porém, a Figura 14 mostra que a área de FOM diferiu das demais.

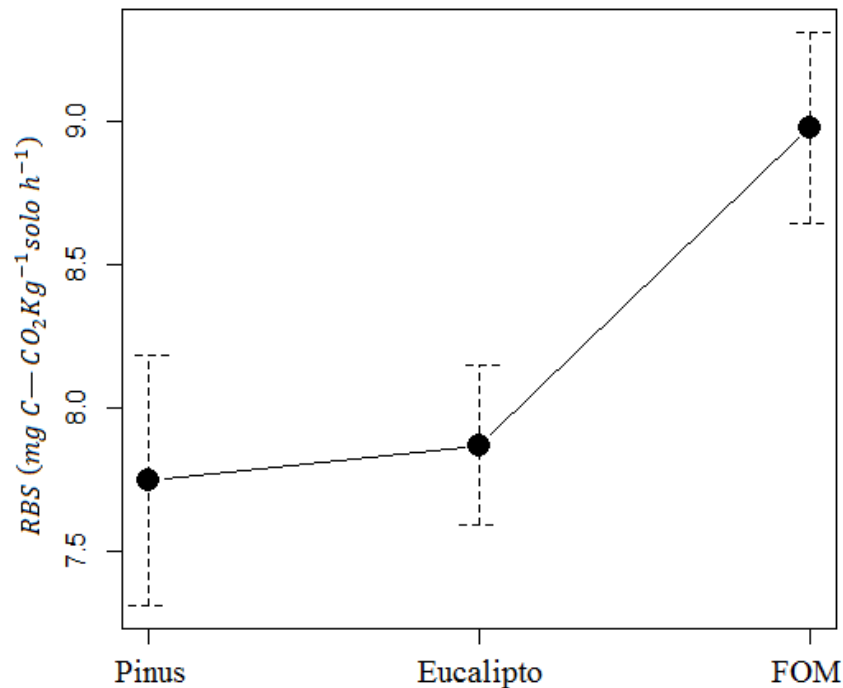
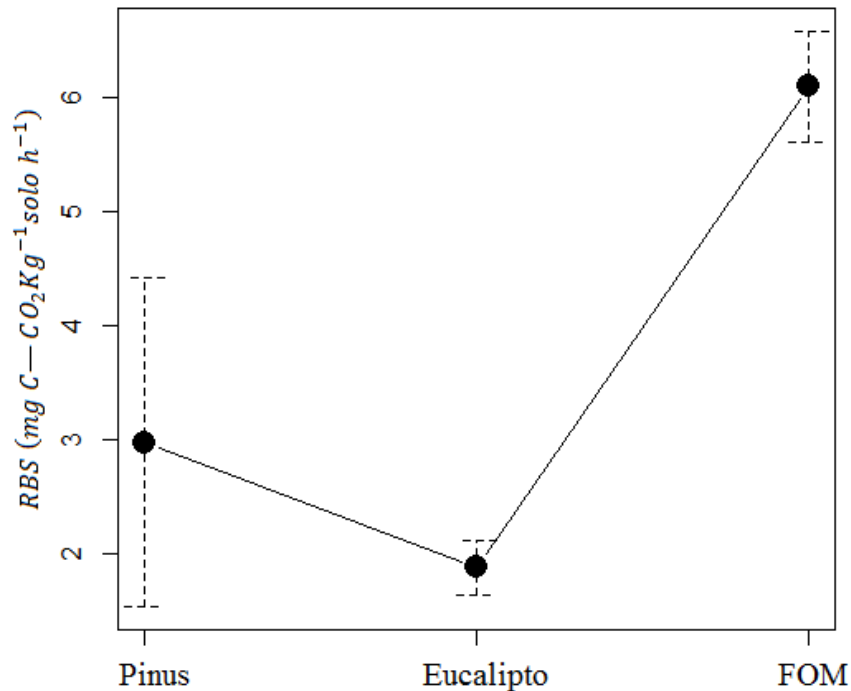


Figura 14. Média dos valores de RBS (mg C-CO<sub>2</sub> . Kg<sup>-1</sup> solo . h<sup>-1</sup>) para a primeira coleta de solo nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM

Nas amostras de solo da segunda coleta, realizada no inverno, foram encontrados valores médios de  $2,98 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ solo} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $1,88 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ solo} \cdot \text{h}^{-1}$  e  $6,09 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ solo} \cdot \text{h}^{-1}$ , respectivamente para os plantios de Pinus e Eucalipto e para a FOM. Pela ANOVA ( $F_{(2, 9)} = 6,087$  e  $p = 0,0213$ ) as áreas apresentaram diferença significativa entre si e a Figura 15 mostra que apenas a área de FOM apresentou diferença entre as demais.



**Figura 15.** Média dos valores de RBS ( $\text{mg C-CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ solo} \cdot \text{h}^{-1}$ ) para a segunda coleta de solo nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM

O solo da floresta nativa, por apresentar maior heterogeneidade vegetal, é mais rico em nutrientes, uma vez que fornece ao solo, além de um maior aporte de matéria orgânica, uma maior variedade também (CARVALHO, 2005). Este fato que, não somente favorece um maior desenvolvimento de biomassa microbiana – como foi constatado no presente trabalho e será discutido a seguir (Figuras 19 e 20) – como também favorece uma maior atividade microbiológica representada pela respiração do solo, que foi maior na área de floresta para ambas as épocas do ano em que foram realizadas as análises de solo.

Behera e Sahani (2003), estudando uma floresta nativa tropical, uma floresta em processo de regeneração e uma plantação de Eucalipto no leste indiano, apesar de terem encontrado valores inferiores se comparados aos encontrados no presente trabalho, também verificaram valores inferiores de Respiração do Solo na área de plantio de Eucalipto em relação às demais áreas estudadas por eles. Ainda segundo eles, o solo do plantio de Eucalipto apresentou maior densidade e menor porosidade, conseqüentemente maior compactação, o que pode ter contribuído para um menor desenvolvimento de sub-bosque e menor quantidade

de carbono orgânico no solo. Estes podem ter sido também fatores que explicam o menor desempenho da atividade microbiana encontrado no plantio de Eucalipto em relação à FOM no atual estudo.

É importante destacar que nos meses mais frios foram encontrados os maiores índices de atividade microbiana e nos meses mais quentes os menores índices. Esta situação foi inversa à encontrada aqui. É provável que tal discordância se deva principalmente pela temperatura, pois se por um lado temperaturas muito baixas inibem a atividade microbiana, por outro lado temperaturas muito elevadas também podem fazer o mesmo (WEBSTER et al, 2008; SUBKE, BAHN, 2010). Enquanto as temperaturas mínimas médias são mais amenas em ambos os trabalhos e variam pouco no presente estudo (9 e 18 °C) (Figura 5) em relação ao realizado na Índia (11 e 22 °C), as temperaturas máximas médias na região de estudo deste trabalho não passam dos 30 °C e na Índia chegam a 43 °C. Este fato torna o inverno no leste indiano e o verão na região sul do Brasil mais favoráveis à maior atividade microbiana.

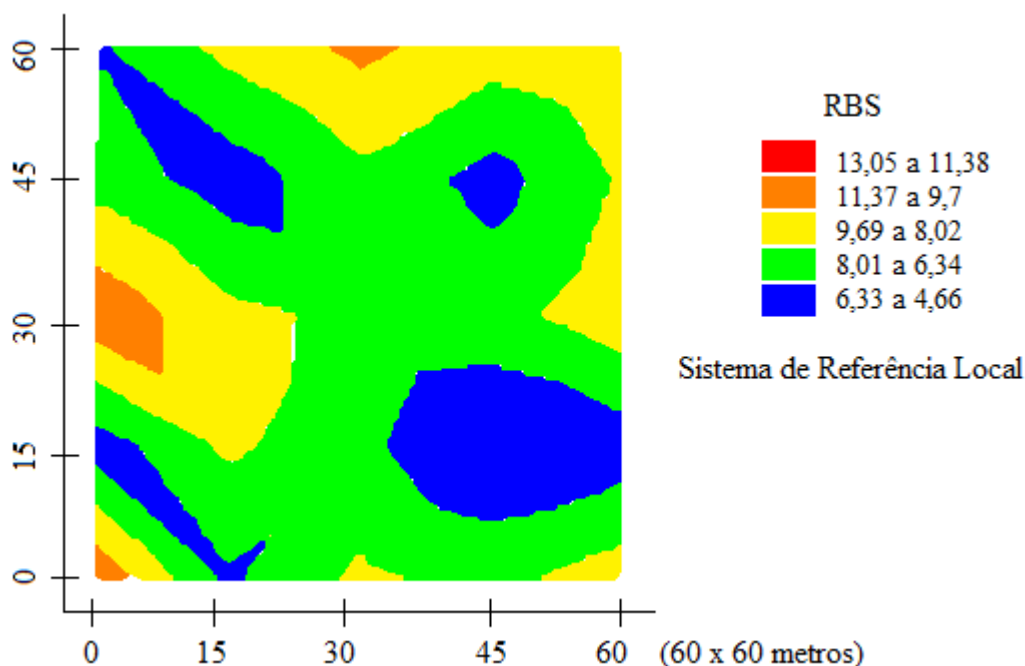
Vinhal-Freitas et al (2012) realizaram estudos em três usos do solo na região do triângulo mineiro cujo clima, segundo a classificação de Köppen, é Cwa. Os tipos de uso do solo estudados nos meses de janeiro, junho e dezembro de 2008 foram: vegetação de savana no cerrado, plantio de Pinus (*Pinus caribae* e *Pinus honduriensis*) e plantio direto em agricultura. Eles estudaram a influência da adição de P na atividade microbiana do solo e na biomassa microbiana. Nas análises sem a adição de P é possível perceber que a vegetação nativa (savana) foi a que apresentou maior atividade microbiana, enquanto que o solo do plantio de Pinus foi o que apresentou menor atividade.

Esses autores atribuem esse mal desempenho na atividade microbiana no plantio de Pinus à reduzida quantidade de nutrientes essenciais ao desenvolvimento microbiano, tais como P, Mg e K, além do menor teor de C e de CTC (capacidade de troca de cátions) que foram encontrados neste solo. O mesmo pode ter acontecido no atual estudo. Em relação ao plantio de Pinus houve pouca variação na respiração entre as análises realizadas no período mais frio e no período mais quente, permanecendo muito baixas nas duas épocas. Já na savana pôde-se constatar uma maior respiração no período mais frio. Mais uma vez a resposta para isso pode estar relacionada às temperaturas, já que aquela região possui verão significativamente mais quente.

Outro fator que pode ter contribuído para a variação encontrada na savana está na diversidade vegetal. A vegetação esparça e com menor diversidade em relação à floresta tropical deixa o solo mais exposto e conseqüentemente mais vulnerável as variações climáticas. Thakur et al (2015) destacam que a maior diversidade vegetal contribui para

amenizar os efeitos climáticos. Isso também explicaria a pouca variação encontrada neste trabalho na área da FOM e a maior variação encontrada nos plantios de Pinus e de Eucalipto.

As Figuras 16, 17 e 18 apresentam os resultados espaciais do MNT transformados em mapas temáticos de referência local ou arbitrária por meio de operações de fatiamento (em cinco classes) para a RBS nas três áreas estudadas para os plantios de Pinus e Eucalipto e para a FOM, respectivamente.



**Figura 16.** Mapa temático para a RBS para a área experimental de plantio de Pinus considerando 5 classes

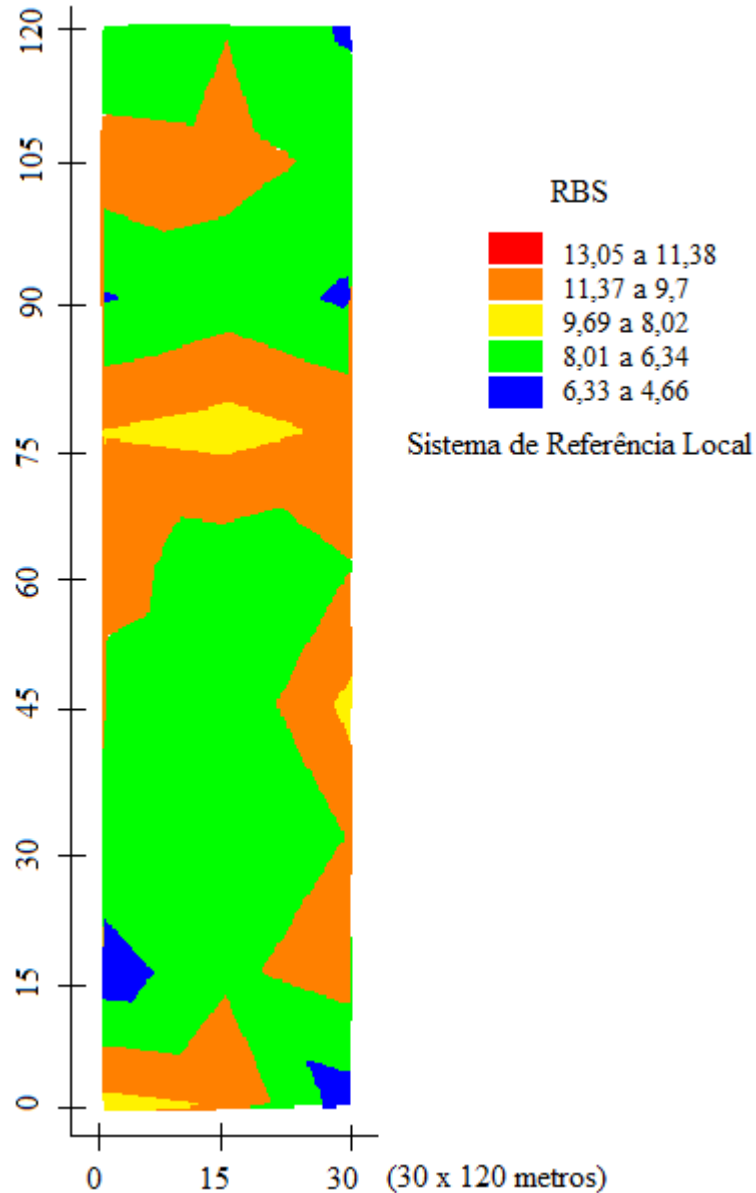
Enquanto a área de plantio de Pinus e de Eucalipto não apresentaram RBS na classe mais alta de valores (vermelho) e a região de maior abrangência em ambos os mapas foi na segunda faixa de valores mais baixa (verde), com 56,9% e 63,2%, respectivamente (Figuras 16 e 17). As faixas de valores de maior abrangência no mapa da área de FOM (Figura 18) foram as de valores mais intermediários (amarelo e laranja, com 34,6% e 33,2% consecutivamente). A área de FOM também apresentou RBS em todas as cinco classes de valores. Tais fatos mostram que a RBS apresentou-se, de forma geral, mais baixa nos plantios e mais bem distribuída por toda a área experimental do estudo na FOM.

Por meio da modelagem espacial explícita apresentada por intermédio desses mapas e dos próximos é possível analisar e verificar como ocorre a variabilidade dos atributos microbiológicos ao longo do espaço amostral e não apenas de forma pontual, como seria sem essa ferramenta (LOPES et al, 2008). Para Corá (1997) e Corá et al (2004) as camadas mais superficiais do solo, alvo do presente estudo, são as que sofrem maior interferência em função



do manejo, o qual pode causar alterações não apenas nos atributos microbiológicos como também nos químicos, mineralógicos, físicos e biológicos.

Apesar da grande variabilidade de C-BMS encontrada entre as áreas como mostram as Figuras 21, 22 e 23, a RBS não apresentou grandes diferenças entre as áreas de plantios e, de modo geral, a área de FOM apresentou maior respiração em relação às demais áreas, como já verificado estatisticamente (Figura 14) e também pelos mapas (Figuras 16, 17 e 18).



**Figura 17.** Mapa temático para a RBS para a área experimental de plantio de Eucalipto considerando 5 classes

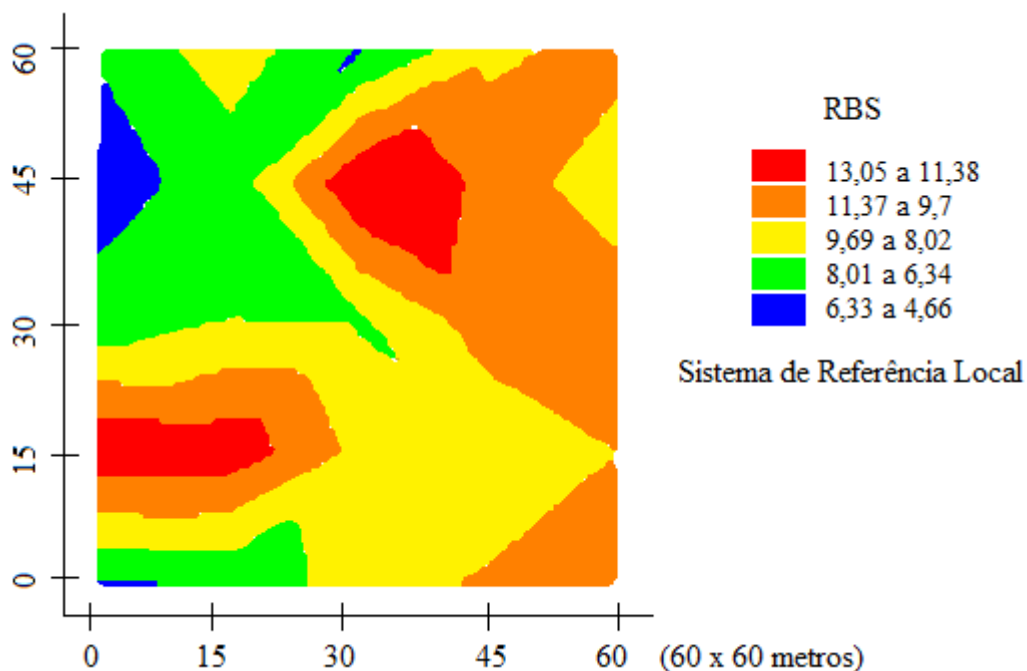


Figura 18. Mapa temático para a RBS para a área experimental de FOM considerando 3 (a) e 5 (b) classes

### 4.3. Biomassa Microbiana do Solo

Os valores médios de C-BMS encontrados nas amostras coletadas na primavera nos plantios de Pinus e de Eucalipto e na FOM, respectivamente, foram: 43,65 g C . Kg<sup>-1</sup> solo, 10,71 g C . Kg<sup>-1</sup> solo e 74,21 g C . Kg<sup>-1</sup> solo. Pode-se perceber pela Figura 19 que a média dos valores de C-BMS diferem estatisticamente entre as três áreas. O valor de  $F_{(2,13)} = 12,36$  e  $p = 0,00098$  encontrado pela ANOVA indica que há diferenças entre as três áreas de estudo.

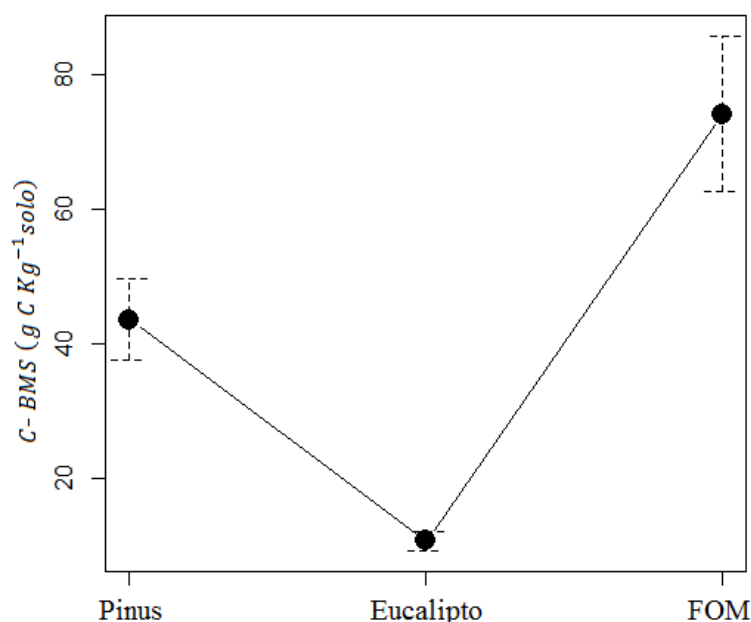
Os valores médios de C-BMS encontrados na coleta do inverno para os plantios de Pinus e de Eucalipto e para a FOM, respectivamente, foram: 6,19 g C . Kg<sup>-1</sup> solo, 29,56 g C . Kg<sup>-1</sup> solo e 41,75 g C . Kg<sup>-1</sup> solo. O valor de  $F_{(2,9)} = 14,17$  e  $p = 0,00166$  encontrado pela ANOVA indica que as áreas de estudo diferem estatisticamente entre si e a Figura 20 mostra q apenas a área de plantio de Pinus apresentou diferença significativa entre as demais áreas.

Carvalho (2005), em concordância com Thakur et al (2015), afirma que o solo da floresta nativa é mais rico em nutrientes, uma vez que esta fornece maior aporte de matéria orgânica e de melhor qualidade. Thakur et al (2015), em seu estudo, selecionaram trabalhos em que haviam experimentos com diversidade de plantas e ao menos um fator de mudança ambiental global a fim de verificarem a influência desses dois fatores sobre a biomassa microbiana do solo. Estes autores, assim como Steinauer et al (2015), constataram que a

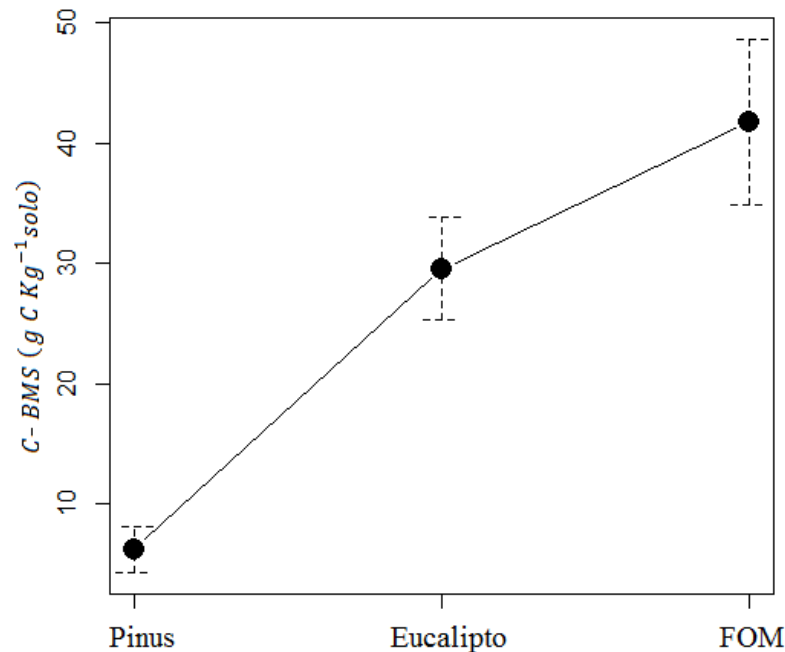
quantidade de biomassa microbiana está relacionada à diversidade vegetal, e de fato é o que foi verificado no presente trabalho, pois a FOM, que apresenta maior diversidade de flora, também foi a área que apresentou maior quantidade de biomassa. Porém, eles também perceberam que a diversidade vegetal possui limitada capacidade de minimizar os efeitos do clima, provável razão que explicaria a sensível redução na quantidade de biomassa encontrada nas amostras da segunda coleta que foi realizada em uma época bem mais fria ( $T_{mín} < 4\text{ °C}$  e  $T_{mín}$  médias  $< 10\text{ °C}$ ) que a coleta anterior ( $T_{mín}$  médias  $< 8\text{ °C}$  e as  $T_{mín} > 13\text{ °C}$ ).

Apesar do maior desenvolvimento de sub-bosque no plantio de Eucalipto em relação ao plantio de Pinus, o que a princípio pode indicar maior fertilidade do solo, devido à maior disponibilidade de nutrientes, este apresentou menor C-BMS nas amostras da primeira coleta. A disponibilidade hídrica pode ter sido o fator limitante neste caso, uma vez que essa tenha ficado em torno dos 35%. Thakur et al (2015), em seu trabalho, verificaram que a seca foi o único fator ambiental que teve significativo e negativo impacto sobre a biomassa microbiana.

Em relação às amostras de solo da segunda coleta, o plantio de Eucalipto foi a única área que apresentou aumento no C-BMS, o que está associado ao aumento da umidade do solo devido às intensas chuvas ocorridas nesse período (Figura 6). Mas se por um lado o aumento da umidade possibilitou esse aumento de biomassa, por outro lado as baixas temperaturas foram limitantes, impedindo que ele fosse ainda maior.



**Figura 19.** Média dos valores de C-BMS (g C Kg<sup>-1</sup> solo) nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM para a primeira coleta de solo

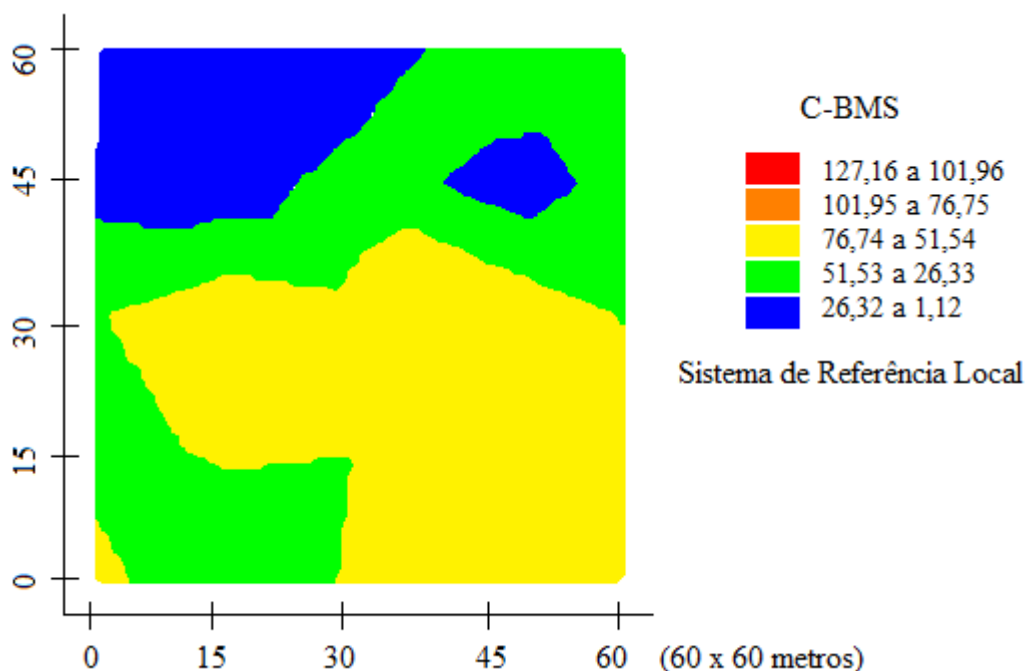


**Figura 20.** Média dos valores de C-BMS (g C Kg<sup>-1</sup> solo) nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM para a segunda coleta de solo

Behera e Sahani (2003), em seu estudo no leste indiano, também constataram significativa diferença entre a quantidade de C-BMS medido entre o solo do plantio de Eucalipto e o da floresta nativa. O índice de compactação do solo foi um dos fatores apontados por eles para os menores valores de biomassa. Este fator juntamente com a pouca disponibilidade de água na primeira coleta de solo para este trabalho, como já comentado, podem ter contribuído para tais valores. E assim como na RBS, os valores mais elevados de biomassa microbiana coincidiram com o período de inverno naquela região, diferentemente do ocorrido no atual estudo. Mais uma vez a explicação se encontra na temperatura, uma vez que o verão naquele local é muito mais quente ( $T_{máx}$  média > 40 °C).

Os baixos valores de biomassa microbiana encontrados no plantio de Pinus no estudo de Vinhal-Freitas et al (2012) em relação à savana realizados na região do triângulo mineiro também foram mais baixos como os verificados no atual trabalho. A baixa fertilidade do solo, pobre em nutrientes, foi apontado pelos autores como principal motivo para o menor índice de biomassa microbiana encontrada. A falta de um sub-bosque na área de plantio de Pinus para o atual estudo pode ser indicativo de baixa fertilidade do solo, o que inibiria, concordando com Vinhal-Freitas et al (2012), o desenvolvimento da biomassa microbiana.

As Figuras 21, 22 e 23 apresentam os resultados espaciais do MNT transformados em mapas temáticos de referência local por meio de operações de fatiamento (em cinco classes) para o C-BMS nas três áreas estudadas para plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM, respectivamente.



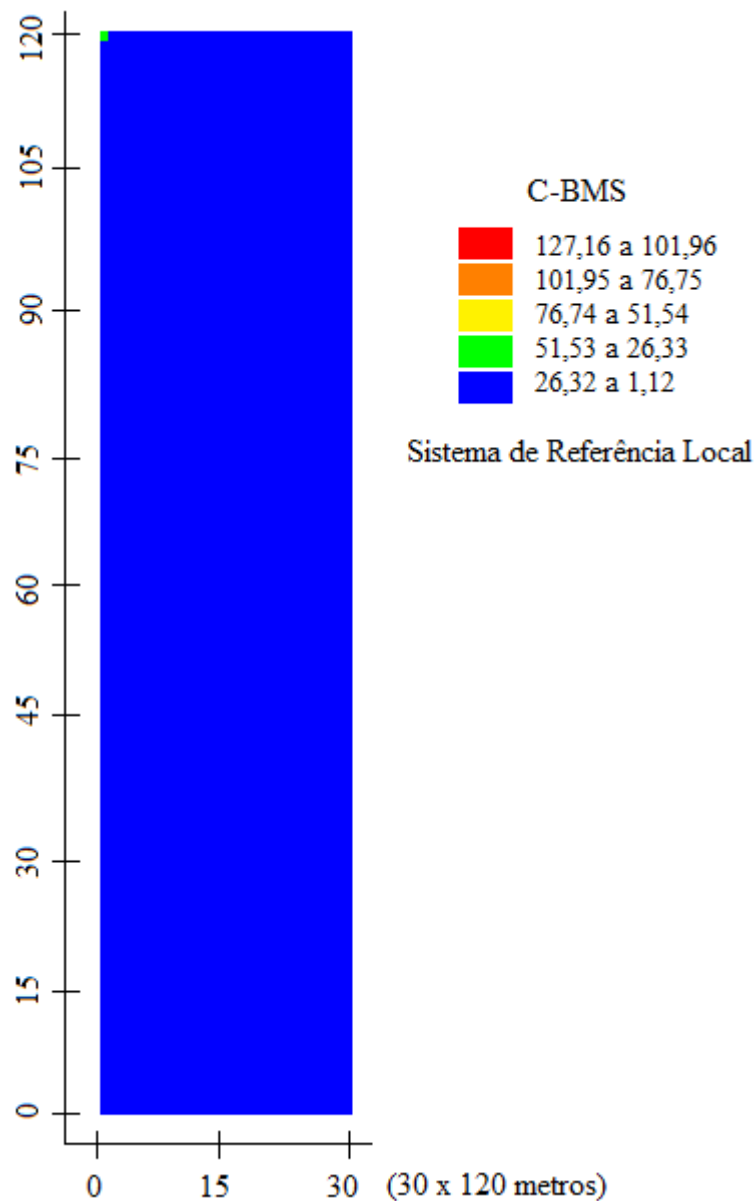
**Figura 21.** Mapa temático para o C-BMS para a área experimental de plantio de Pinus considerando 5 classes

Enquanto a área de plantio de Pinus (Figura 21) não apresentou biomassa microbiana nos mais altos valores (vermelho e laranja) e a região de maior abrangência neste mapa foram as de valores intermediários a baixo (amarelo e verde, com 44% e 38,1%, respectivamente); a área de plantio de Eucalipto (Figura 22) somente apresentou C-BMS na classe mais baixa de valores (azul). Já a região de maior extensão no mapa da área de FOM (Figura 23) foi o da segunda classe de valores mais alta (laranja com 38,7%). Este fato contribuiu para explicar o que foi verificado estatisticamente pela Figura 20, pois, embora a área de plantio de Pinus tenha apresentado baixos valores de C-BMS, estes não foram tão baixos quanto os verificados na área de plantio de Eucalipto e nem tão altos quanto os da área de FOM.

Variações ao longo do espaço amostral sobre os atributos pedológicos do solo podem ter sido fatores complementares para a variabilidade encontrada dentro das áreas, pois conforme Silva e Lima (2012), pequenas alterações nos parâmetros físico-químicos do solo podem implicar em grandes variações de produtividade e, segundo Bernardi et al (2010), esses valores podem variar consideravelmente no espaço. Para Corá et al (2004), complexas interações de processos e fatores são a causa das variabilidades encontradas nos solos, e conforme Corá (1997), o tipo de cultura e as práticas de manejo são fatores complementares a essas variabilidades.

Desta forma, pode-se afirmar que o tipo de uso e cobertura do solo interferiu de forma significativa não somente sobre os atributos pedológicos como também sobre os atributos

microbiológicos, os quais também sofrem influência dos atributos pedológicos do solo. E se pequenas variações nos atributos pedológicos, como já mencionado, podem causar grande variabilidade sobre os atributos microbiológicos, quanto mais grandes variações, que podem acentuar ainda mais tal acontecimento. A variabilidade dos atributos pedológicos dentro das áreas pode ser uma das explicações para a grande variabilidade da quantidade de biomassa encontrada não somente dentro delas como também entre elas. Outra explicação pode estar no uso e cobertura do solo, uma vez que foi possível perceber diferença entre os plantios e a área de floresta nativa.



**Figura 22.** Mapa temático para o C-BMS para a área experimental de plantio de Eucalipto considerando 5 classes

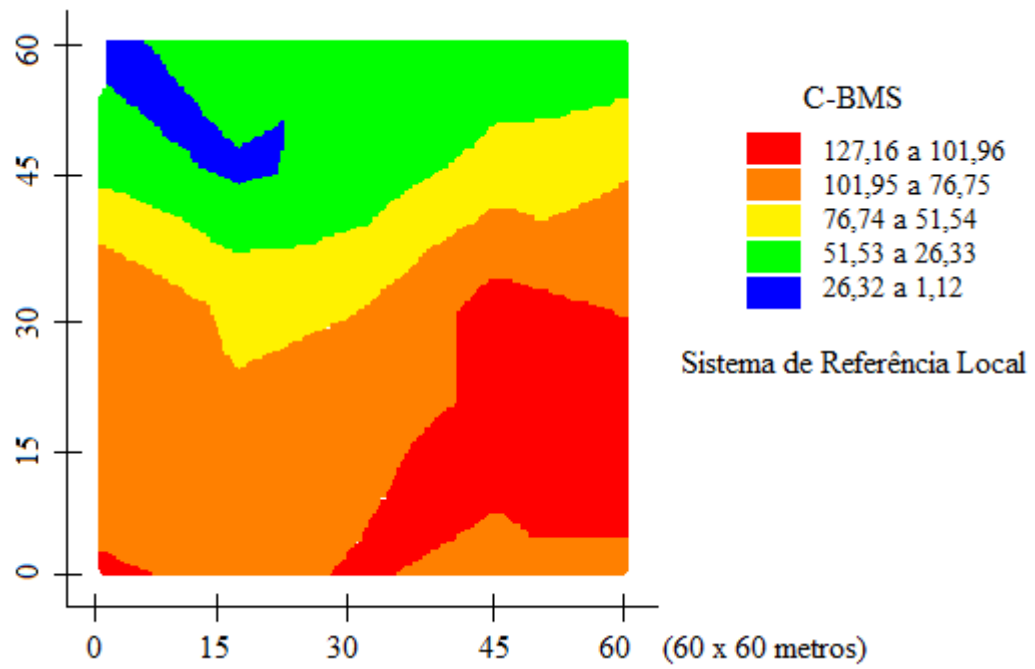
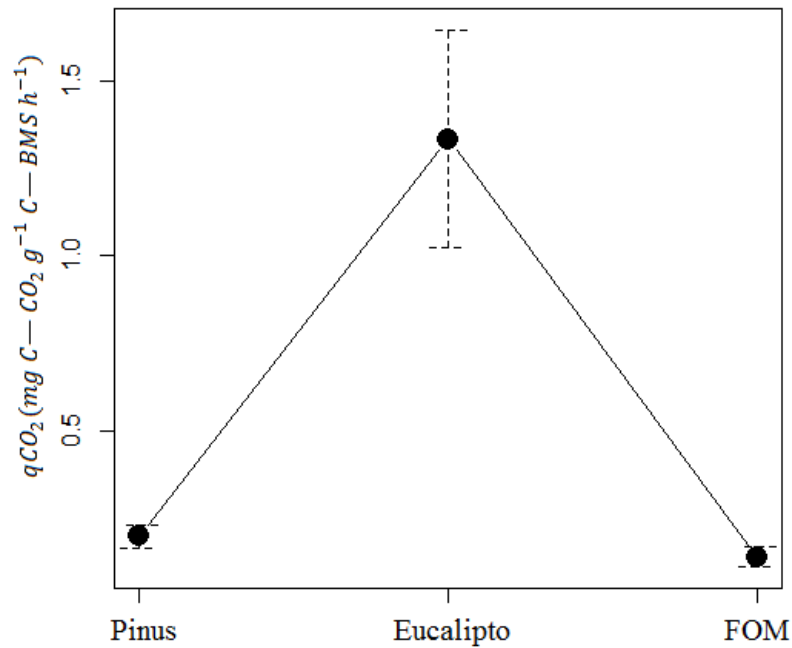


Figura 23. Mapa temático para o C-BMS para a área experimental de FOM considerando 5 classes

#### 4.4. Quociente Metabólico do Solo

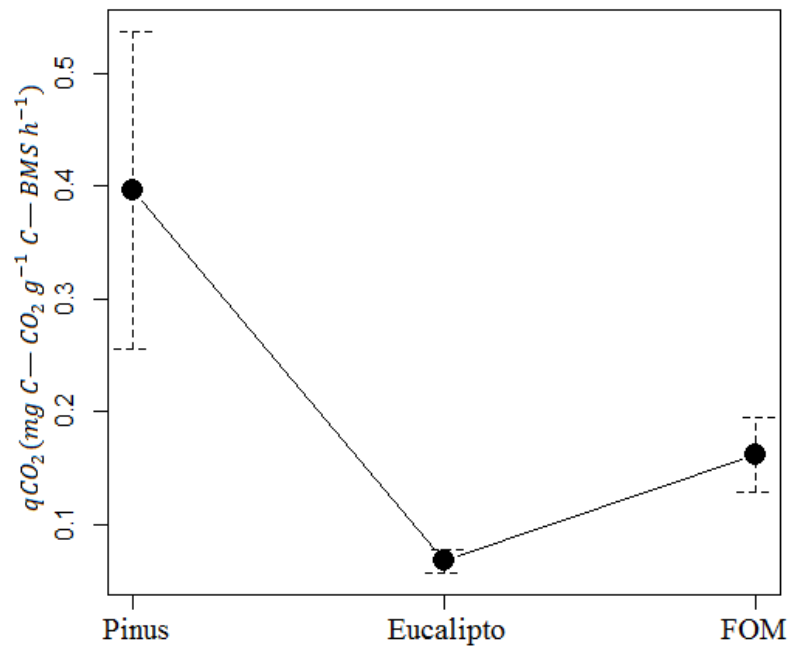
O  $qCO_2$  apresentou os valores médios para a coleta da primavera de  $0,18 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ C-BMS} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $1,33 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ C-BMS} \cdot \text{h}^{-1}$  e  $0,12 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ C-BMS} \cdot \text{h}^{-1}$  para o plantio de Pinus e Eucalipto e para a FOM, respectivamente. Pela ANOVA ( $F_{(2,13)} = 21,91$  e  $p < 0,01$ ) é possível perceber que há diferença significativa entre as áreas e a Figura 24 mostra que a área de plantio de Eucalipto é a única que difere estatisticamente das demais



**Figura 24.** Média dos valores de  $qCO_2$  ( $\text{mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ C-BMS} \cdot \text{h}^{-1}$ ) nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM para a primeira coleta de solo



O  $qCO_2$  apresentou os valores médios para a coleta da primavera de  $0,39 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ C-BMS} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $0,07 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ C-BMS} \cdot \text{h}^{-1}$  e  $0,16 \text{ mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ C-BMS} \cdot \text{h}^{-1}$  para o plantio de Pinus e Eucalipto e para a FOM, respectivamente. Os valores encontrados na ANOVA ( $F_{(2,9)} = 4,097$  e  $p = 0,0543$ ) mostram que as áreas não diferem estatisticamente entre si porém, a Figura 25 mostra que há diferença significativa entre as três áreas.



**Figura 25.** Média dos valores de  $qCO_2$  ( $\text{mg C-CO}_2 \cdot \text{g}^{-1} \text{ C-BMS} \cdot \text{h}^{-1}$ ) nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM para a segunda coleta de solo

O quociente metabólico é um importante parâmetro biológico a ser considerado, pois em determinados casos a ocorrência de maior atividade microbiana (maior respiração do solo) pode indicar um distúrbio da área (SILVA et al 2007; BARETTA et al 2008). O  $qCO_2$  portanto, apresenta a eficiência dessa atividade microbiana, uma vez que a relaciona com a biomassa, mostrando o quanto de carbono é perdido para a atmosfera e, supostamente, o quão estável é este ambiente ou o quão está próximo da estabilidade (TÓTOLA, CHAER, 2002).

Sendo assim, a biomassa mais eficiente é aquela que consome menos carbono, e desta forma, incorpora-o mais. De acordo com a literatura (BEHERA, SAHANI, 2003; BARETTA et al, 2005), espera-se que essa maior eficiência seja encontrada em florestas nativas, o que foi confirmado neste trabalho para a primeira coleta de solo (Figura 24). Com clima semelhante ao de Irati-PR, o estudo de Baretta et al (2005) se deu na região de Lages-SC no ano de 2002. Na época, esses autores verificaram o efeito de alguns usos do solo sobre os atributos microbiológicos. Foram os usos: mata nativa (com predominância da *Araucaria agustifolia*), campo nativo, campo nativo sujeito à queimada e plantio de *Pinus taeda*. Eles puderam verificar que as áreas nativas foram as que apresentaram menores valores de  $qCO_2$ , indicando

que esses, segundo os autores, são sistemas mais sustentáveis por apresentarem menores perdas de C.

Em contrapartida, as áreas antropizadas foram as que apresentaram pior índice de  $qCO_2$ , evidenciando um desequilíbrio, provavelmente pelo maior desenvolvimento de microrganismos de crescimento rápido. O mesmo pode ter ocorrido no presente estudo, inclusive o valor  $qCO_2 > 1$  encontrado no plantio de Eucalipto indica uma perda de C orgânico do solo; porém, a mesma área na segunda coleta de solo apresentou valor de  $qCO_2$  muito menor, sendo menor que o da FOM. Isso se deve ao fato do grande aumento do C-BMS decorrente do aumento da umidade do solo para esse período, mesmo com a drástica diminuição da RBS em virtude das baixas temperaturas, causando, dessa forma, uma situação atípica.

Balota et al (2015), estudando a qualidade do solo na floresta nativa, em cultivo de café, cultivo convencional e cultivo direto no norte do Estado do Paraná, também constataram que o melhor desempenho foi na floresta nativa. Em concordância com o que também foi verificado por Baretta et al (2005), eles ainda verificaram que quanto mais natural for a forma de manejo, com menor nível de intervenção humana, melhor é a eficiência no uso do C, portanto os valores de  $qCO_2$  são menores. No atual estudo, isso pôde ser verificado nas amostras do solo da primeira coleta de solo, quando a área de FOM foi a que apresentou melhor relação RBS/C-BMS. Já para nas amostras da segunda coleta houve uma situação atípica como já foi comentado.

As Figuras 26, 27 e 28 apresentam a espacialização dos resultados do MNT transformados em mapas temáticos de referência local através de operações de fatiamento (em cinco classes) para o  $qCO_2$  nas três áreas estudadas.

Considerando-se que valores de  $qCO_2$  inferiores a 1 constituem em maior absorção de C orgânico no solo e valores de  $qCO_2$  superiores a 1 representam perda real de C orgânico (perda de qualidade). É possível perceber que, na área de plantio de Pinus (Figura 26), a região de maior abrangência é a com os menores valores de  $qCO_2$  (azul = 93,7%) e portanto a melhor situação. A área de plantio de Eucalipto (Figura 27) foi a que apresentou a maior variação e também os maiores valores para este parâmetro, sendo que menos da metade da área apresentou absorção de C (azul e verde) e 53,3% de toda a área apresentou uma pequena perda real de C (amarelo). Apesar de uma região pequena, a área de plantio de Pinus também apresentou uma região com perda de C (amarelo = 1,6%). Já para a área de FOM (Figura 28) a faixa com os menores valores de  $qCO_2$  (azul) ocupou toda a região do mapa, mostrando-se como a área mais sustentável dentre as três estudadas.

Vale destacar que, como os atributos pedológicos, assim como o uso e cobertura do solo, foram determinantes na variabilidade dos valores de C-BMS encontrados, a variabilidade do  $qCO_2$  aqui verificada também teve grande influência desses fatores, uma vez que o  $qCO_2$  consiste na relação entre RBS e C-BMS.

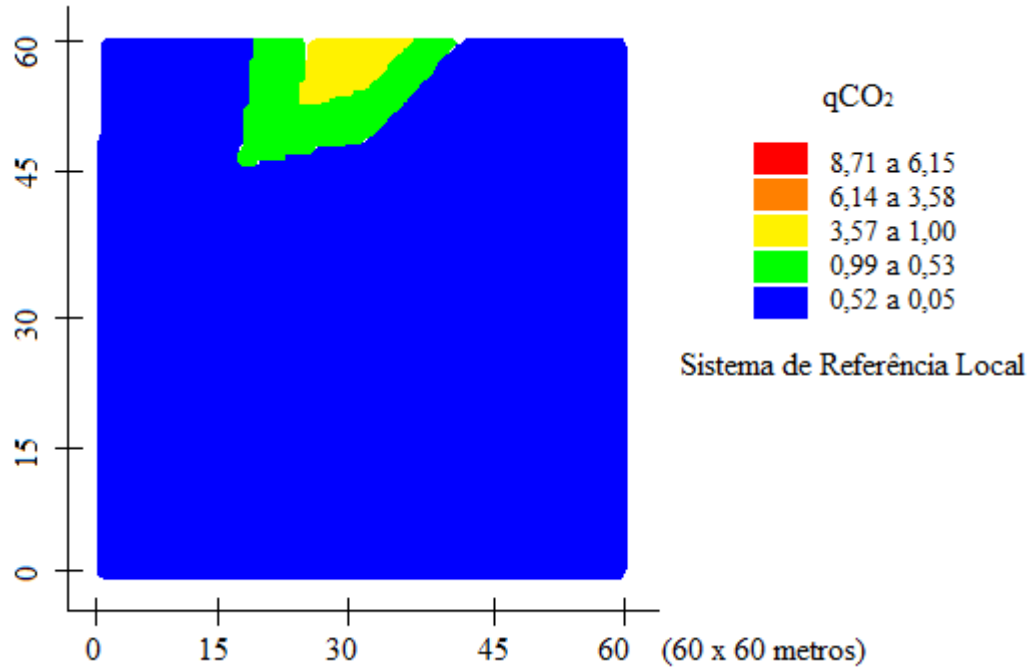


Figura 26. Mapa temático para o  $qCO_2$  para a área experimental de plantio de Pinus considerando 5 classes

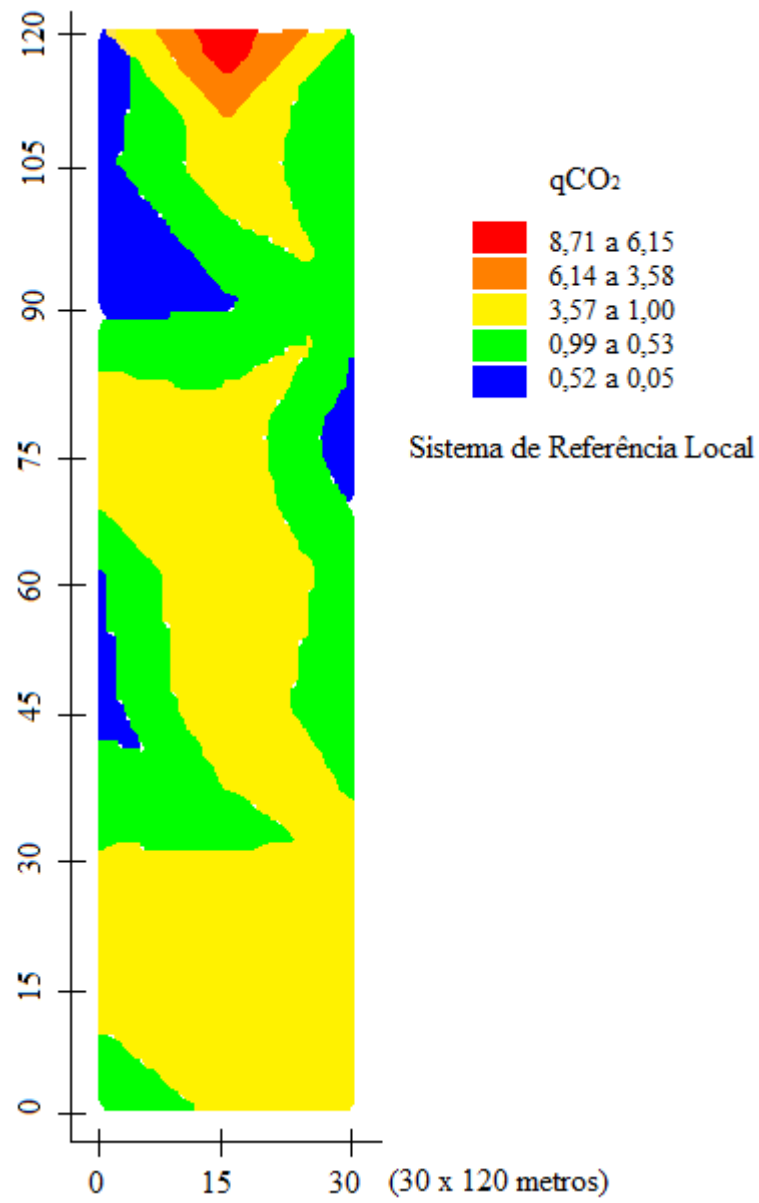


Figura 27. Mapa temático para o  $qCO_2$  para a área experimental de plantio de Eucalipto considerando 5 classes

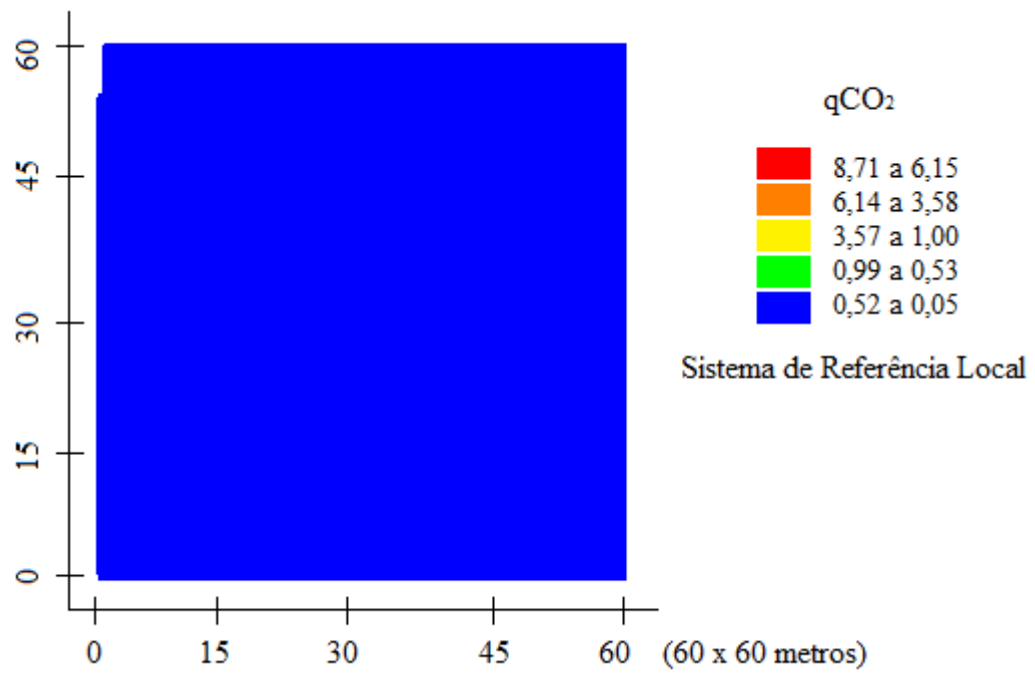
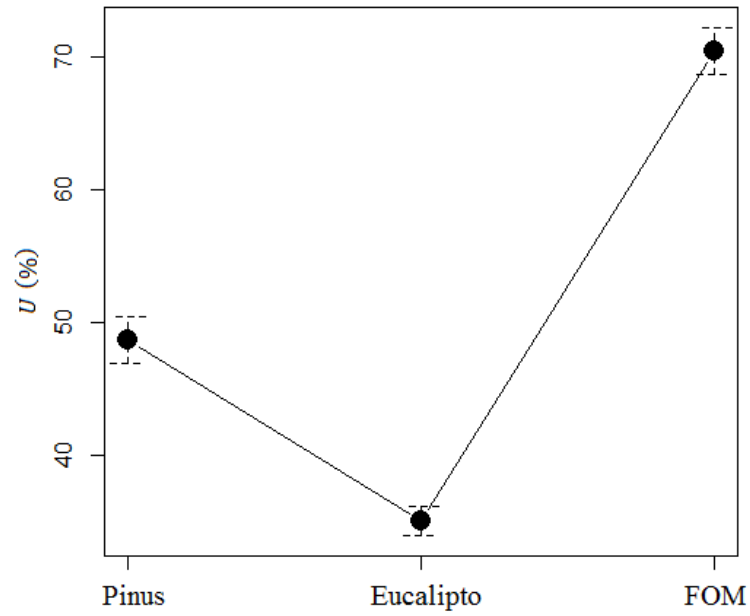


Figura 28. Mapa temático para o  $qCO_2$  para a área experimental de FOM considerando 5 classes

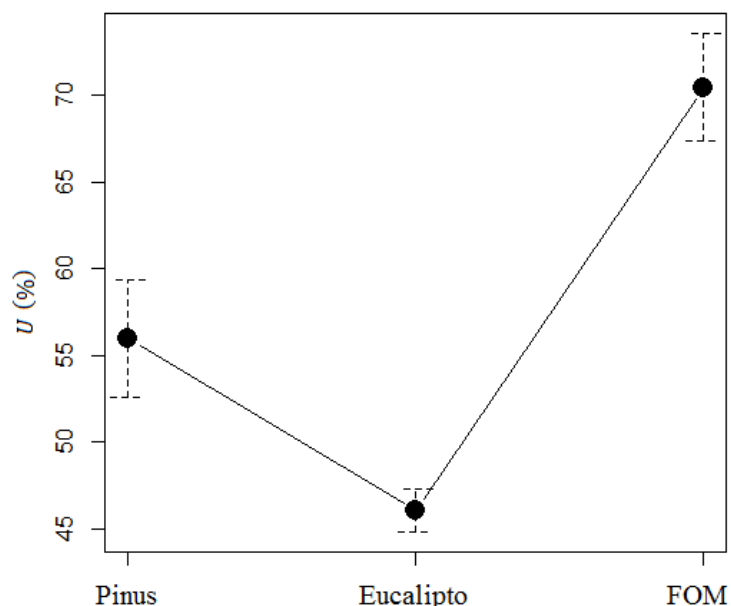
#### 4.5. Umidade

A umidade apresentou valores médios para a primeira coleta de 48,7%, 35,1% e 70,5% para os plantios de Pinus e de Eucalipto e para a FOM, respectivamente. Houve diferença significativa entre as médias de umidade nas áreas de estudo de acordo com a Figura 29. Pelos valores de  $F_{(2, 13)} = 104,8$  e  $p < 0,01$  calculados pela ANOVA é possível perceber que há grande diferença estatística entre as áreas em relação à umidade.



**Figura 29. Média dos valores de umidade (%) nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto, FOM para a primeira coleta de solo**

A umidade apresentou valores médios para a segunda coleta de solo de 56,0%, 46,1% e 70,4% para os plantios de Pinus e de Eucalipto e para a FOM, respectivamente. As médias de umidade foram estatisticamente diferente para as três áreas, como apresentado na Figura 30. Pelos valores de  $F_{(2, 9)} = 19,85$  e  $p < 0,01$  calculados pela ANOVA, é possível perceber que há grande diferença estatística entre as áreas em relação à umidade.



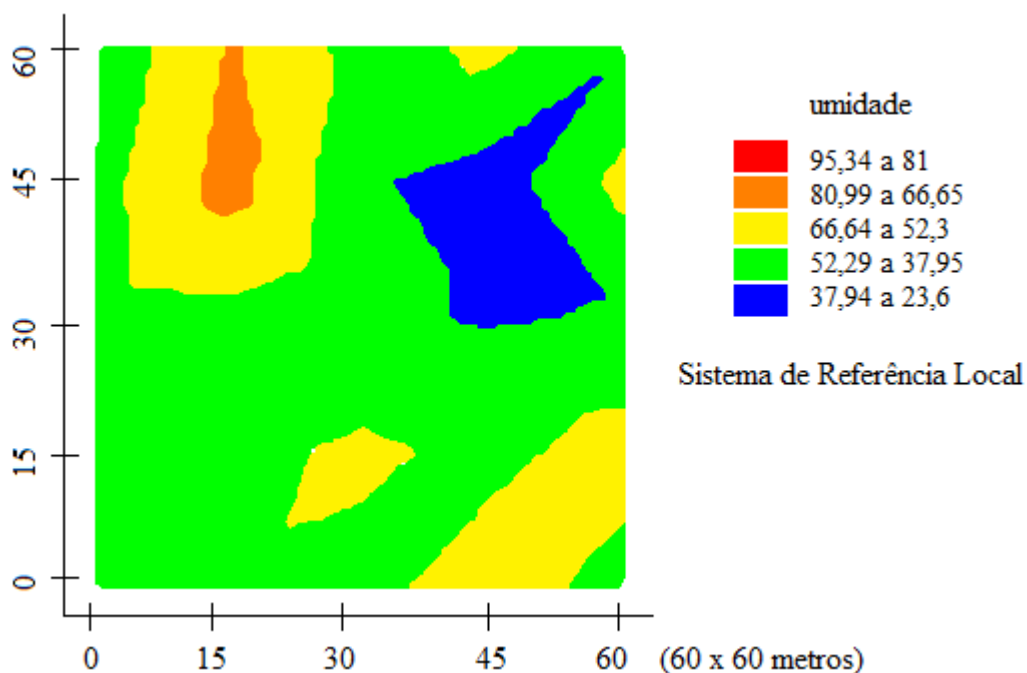
**Figura 30. Média dos valores de umidade (%) nas áreas de plantio de Pinus, plantio de Eucalipto, FOM para a segunda coleta de solo**

A maior diversidade vegetal, além de proporcionar, em geral, um ambiente mais favorável ao desenvolvimento de microrganismos pela maior disponibilidade de nutrientes, ainda está relacionada à atenuação dos efeitos climáticos sobre o solo, como é exposto por Thakur et al (2015). Um exemplo disso é a umidade do solo, sendo que a FOM foi a área que apresentou o maior teor de umidade, mesmo em um período com menores índices pluviométricos como os que foram constatados na época da primeira coleta de solo (Figura 6).

Se comparadas as duas estações em que ocorreram as coletas de solo é possível perceber como a diversidade de plantas contribuiu para o equilíbrio da umidade no ambiente mesmo em um período em que os índices pluviométricos foram bem maiores (Figura 6), como os ocorridos no período da segunda coleta de solo. Enquanto a umidade aumentou significativamente nas áreas de plantio de Pinus e de Eucalipto, na FOM o teor de umidade se manteve estável. É possível perceber ainda que a área de plantio de Eucalipto é a que está mais sujeita às variações de umidade, para este estudo.

As Figuras 31, 32 e 33 apresentam os resultados espaciais do MNT transformados em mapas temáticos de referência local por meio de operações de fatiamento (em cinco classes)

para a umidade nas três áreas de estudo para plantio de Pinus, plantio de Eucalipto e FOM, respectivamente.



**Figura 31.** Mapa temático para umidade para a área experimental de plantio de Pinus considerando 5 classes

A área de plantio de Pinus (Figura 31) não apresentou os valores mais altos de umidade e a região de maior abrangência no mapa foi a classe em verde com 65,7% da área. Já a área de plantio de Eucalipto (Figura 32) foi a que apresentou os menores valores de umidade uma vez que, as três classes mais altas de valores (vermelho, laranja e amarelo) não ocorreram no mapa e a classe com os menores valores foi a de maior abrangência (86,3%). Ao contrario da área de Eucalipto a área de FOM (Figura 33) foi a que apresentou os maiores valores de umidade, pois os valores mais baixos de umidade (azul e verde) não ocorreram. O que foi verificado por meio desses mapas também foi constatado estatisticamente pela Figura 29 Tal fato, além de estar relacionado com a diversidade vegetal (THAKUR et al, 2015), também está relacionado com os atributos pedológicos, dentre os quais a estrutura do solo pode ser citada.



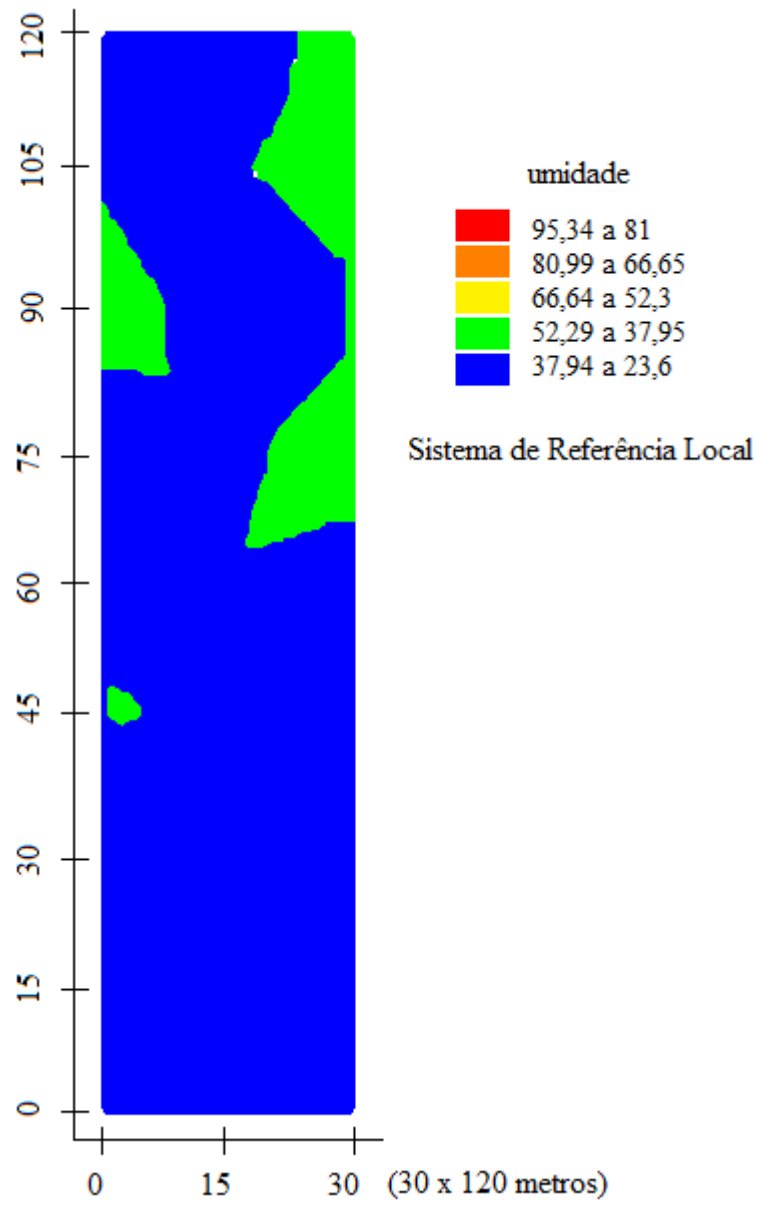


Figura 32. Mapa temático para umidade para a área experimental de plantio de Eucalipto considerando 5 classes

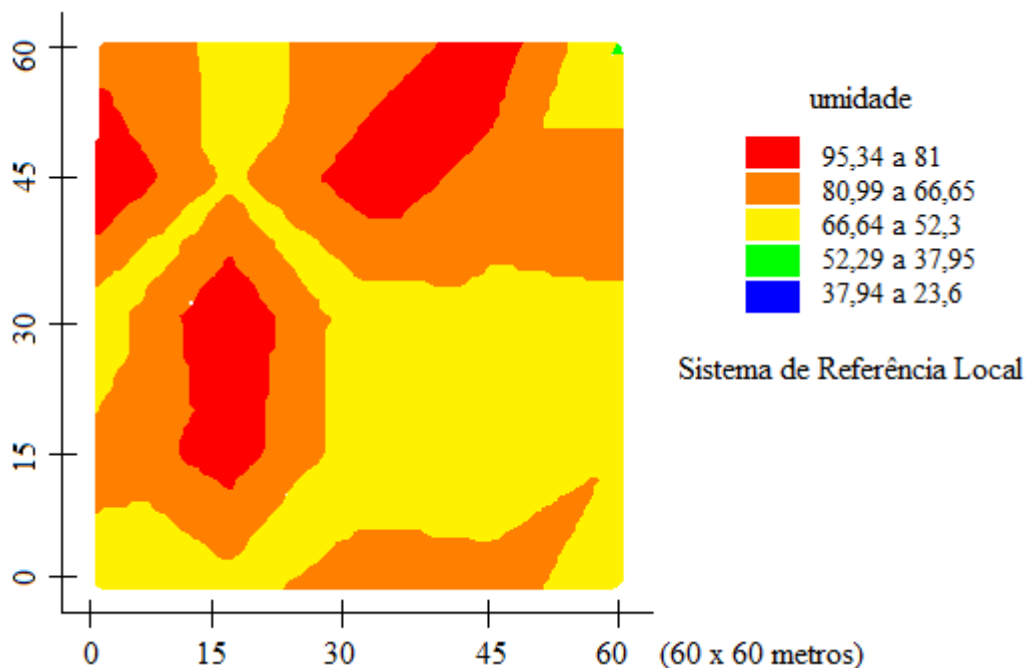


Figura 33. Mapa temático para umidade para a área experimental de FOM considerando 5 classes

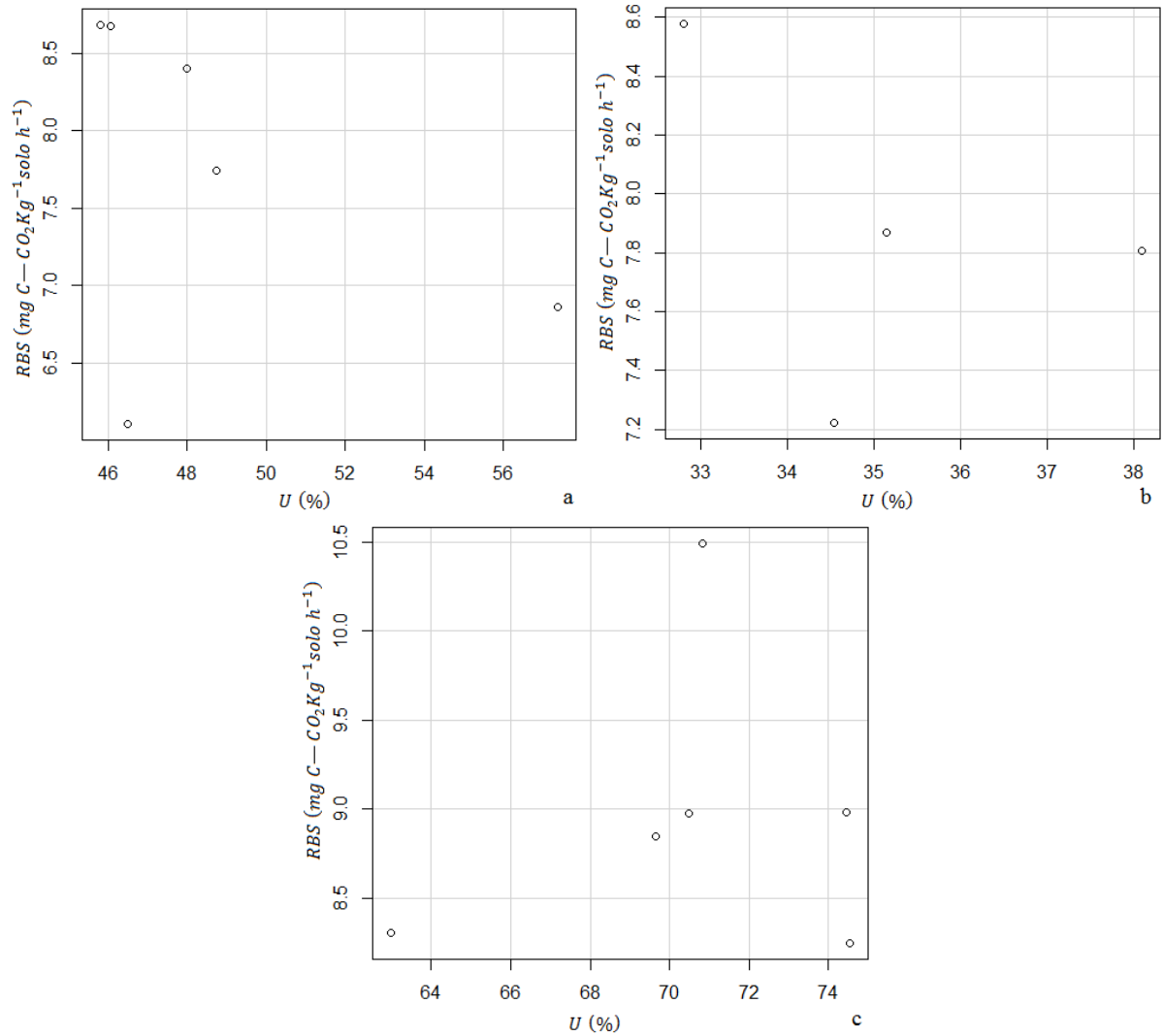
#### 4.5.1. Correlação dos atributos microbiológicos com a umidade do solo

Enquanto as Figuras 34, 35 e 36 apresentam os diagramas de dispersão da correlação entre a umidade e os atributos RBS, C-BMS e  $qCO_2$ , respectivamente para a primeira coleta nas três áreas de estudo, as Figuras 37, 38 e 39 apresentam esses diagramas para a segunda coleta de solo. E as Tabelas 4 e 5 apresentam os valores de  $r$  e  $p$ -value calculados pelo teste de correlação de Spearman a 95% de significância consecutivamente para a primeira e segunda coletas.

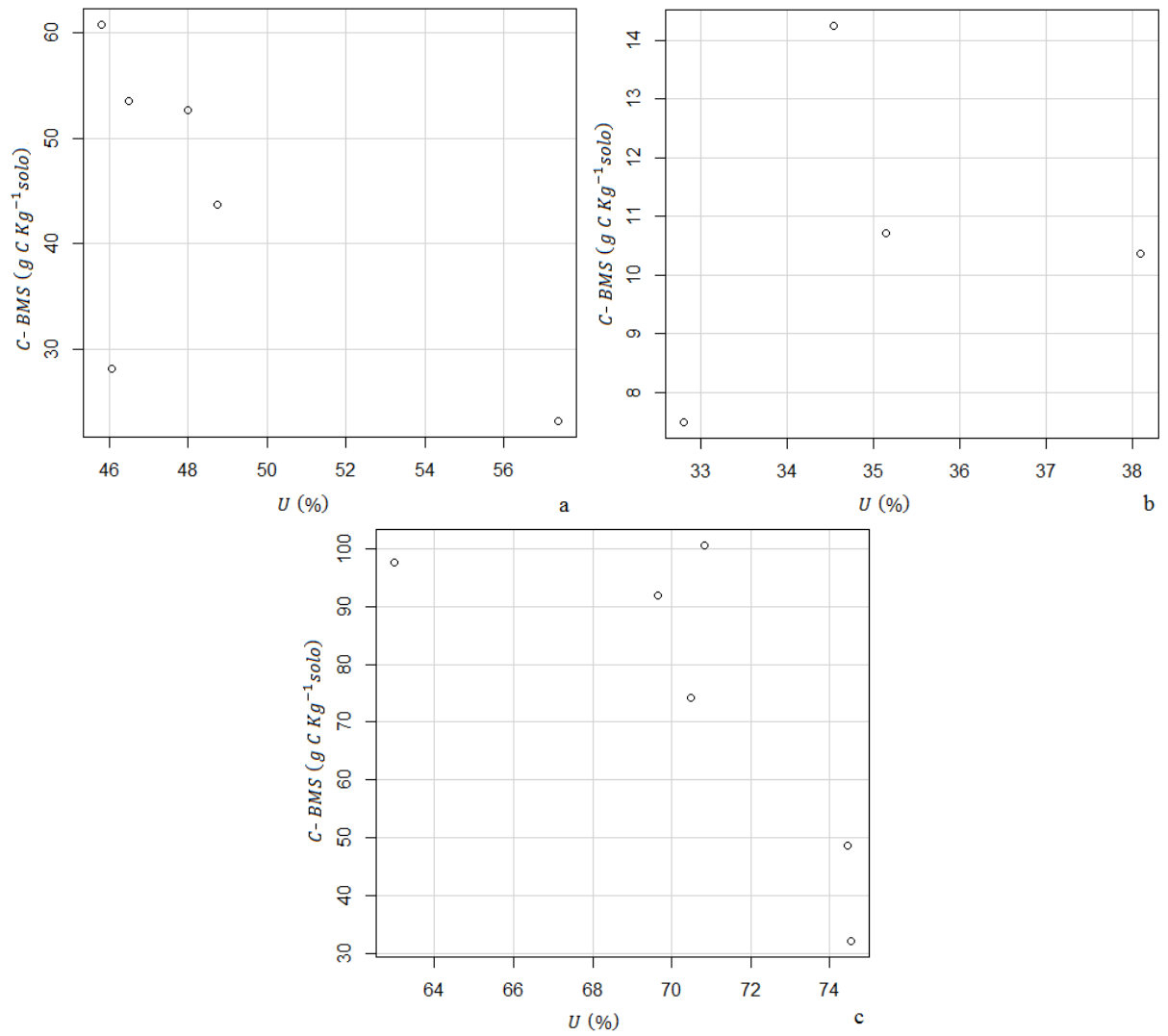
Apesar de a umidade ter sido apontada como o principal fator limitante do C-BMS para a primeira coleta e as médias encontradas terem apresentado diferença estatística entre as áreas, a umidade não apresentou correlação significativa com nenhum dos atributos microbiológicos dentro das áreas, com exceção do  $qCO_2$  para a área da FOM que apresentou forte correlação positiva e significativa (Tabela 4). Em relação à segunda coleta, a umidade somente apresentou forte correlação e negativa com o  $qCO_2$  para o plantio de *Pinus*, mas não foi significativo (Tabela 5).

Para Silva et al (2016), a disponibilidade de água afeta a taxa de respiração do solo e a biomassa microbiana, porém esses mesmos autores ressaltam que essa influência somente ocorre de forma mais marcante em valores extremos de umidade, seja pelo excesso ou pela

escassez. Isso que pode ter influenciado o baixo valor de C-BMS encontrado no plantio de Eucalipto, como já comentado. De natureza complexa, são muitos os atributos pedológicos ou ambientais que interferem na RBS (D'ANDREA et al, 2010) e nos outros atributos biológicos do solo também.



**Figura 34. Diagrama de correlação entre umidade e RBS para (a) o plantio de Pinus, (b) o plantio de Eucalipto e (c) a FOM para a primeira coleta de solo**



**Figura 35. Diagrama de correlação entre umidade e C-BMS para (a) o plantio de Pinus, (b) o plantio de Eucalipto e (c) a FOM para a primeira coleta de solo**

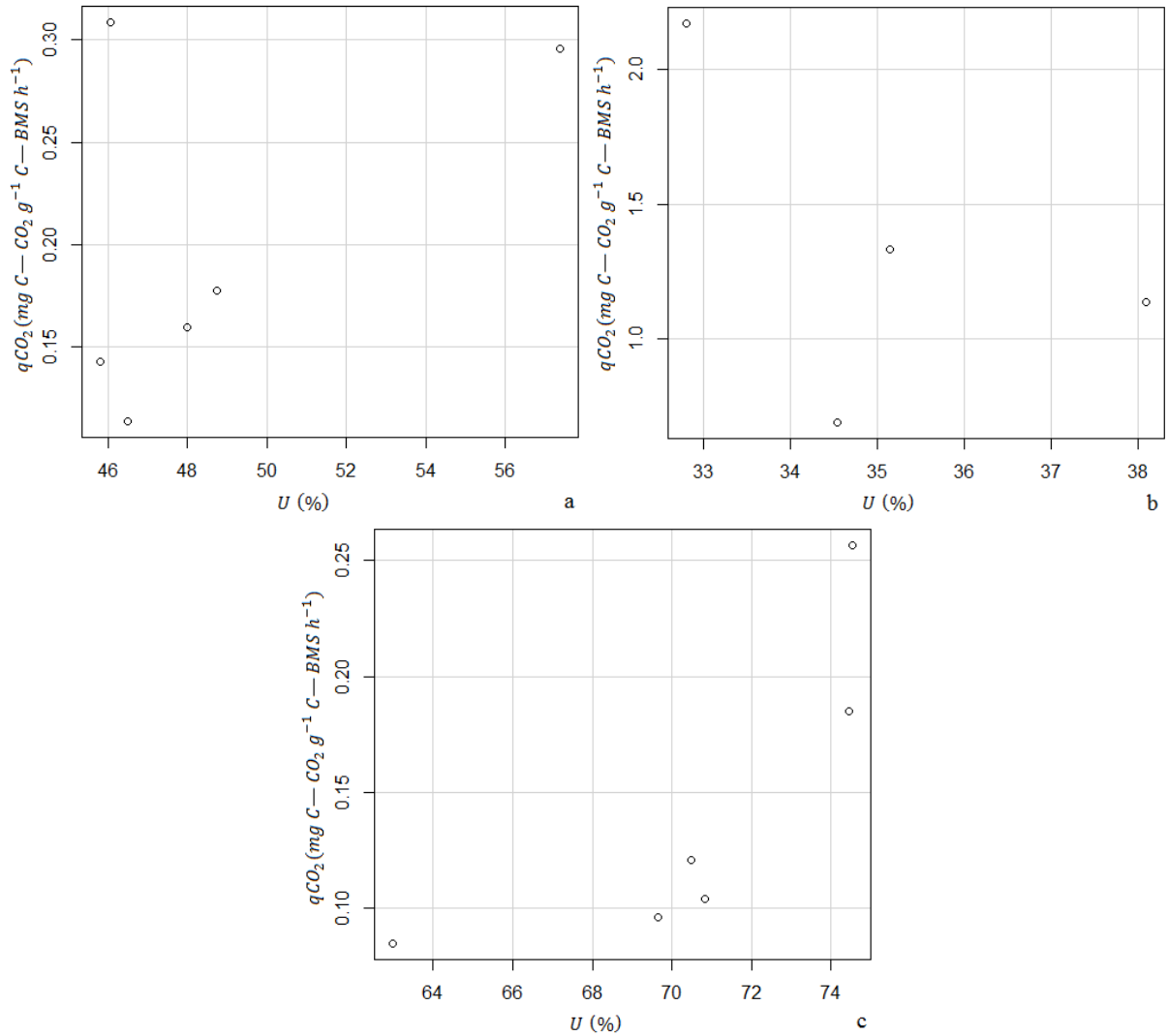
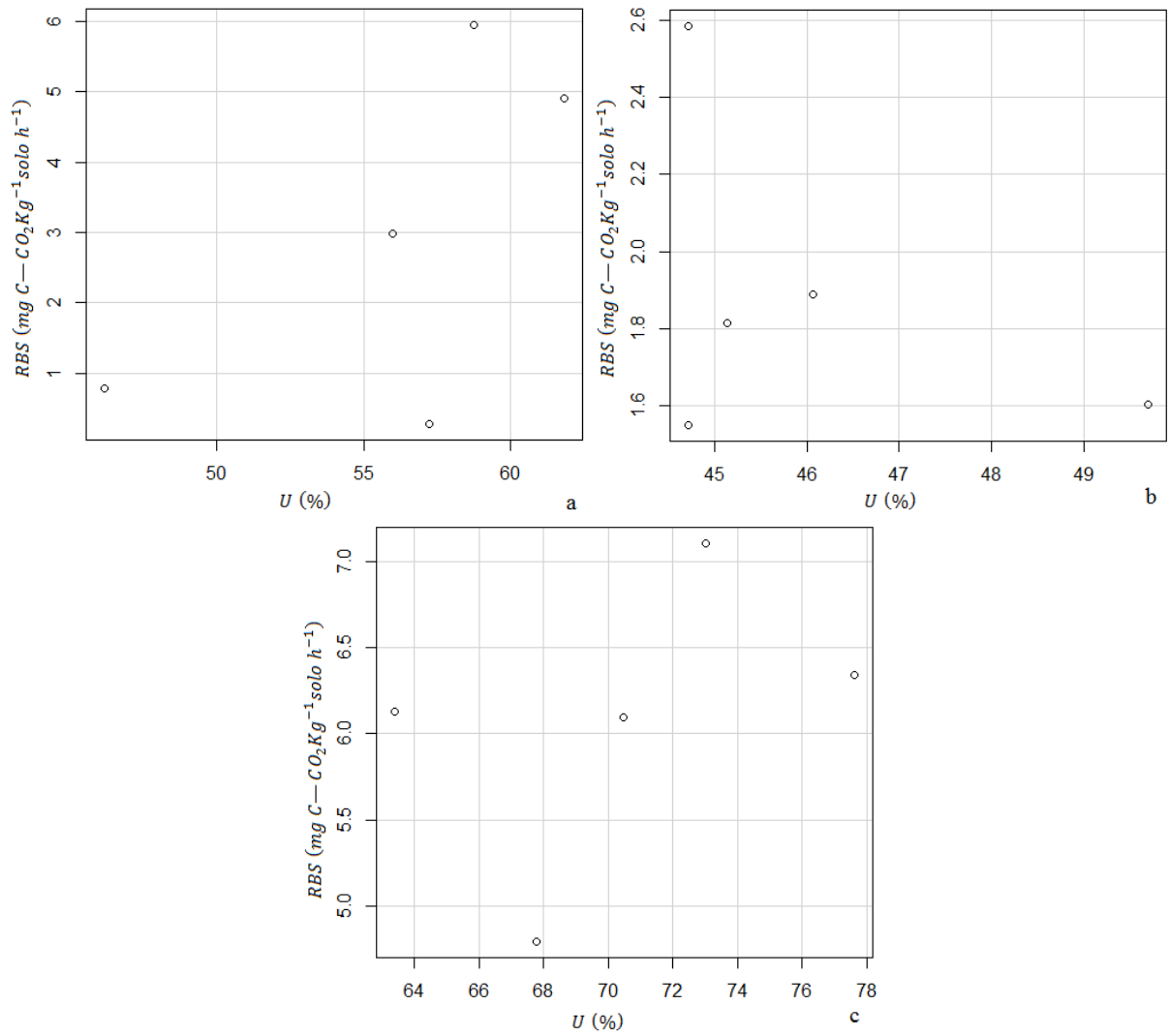


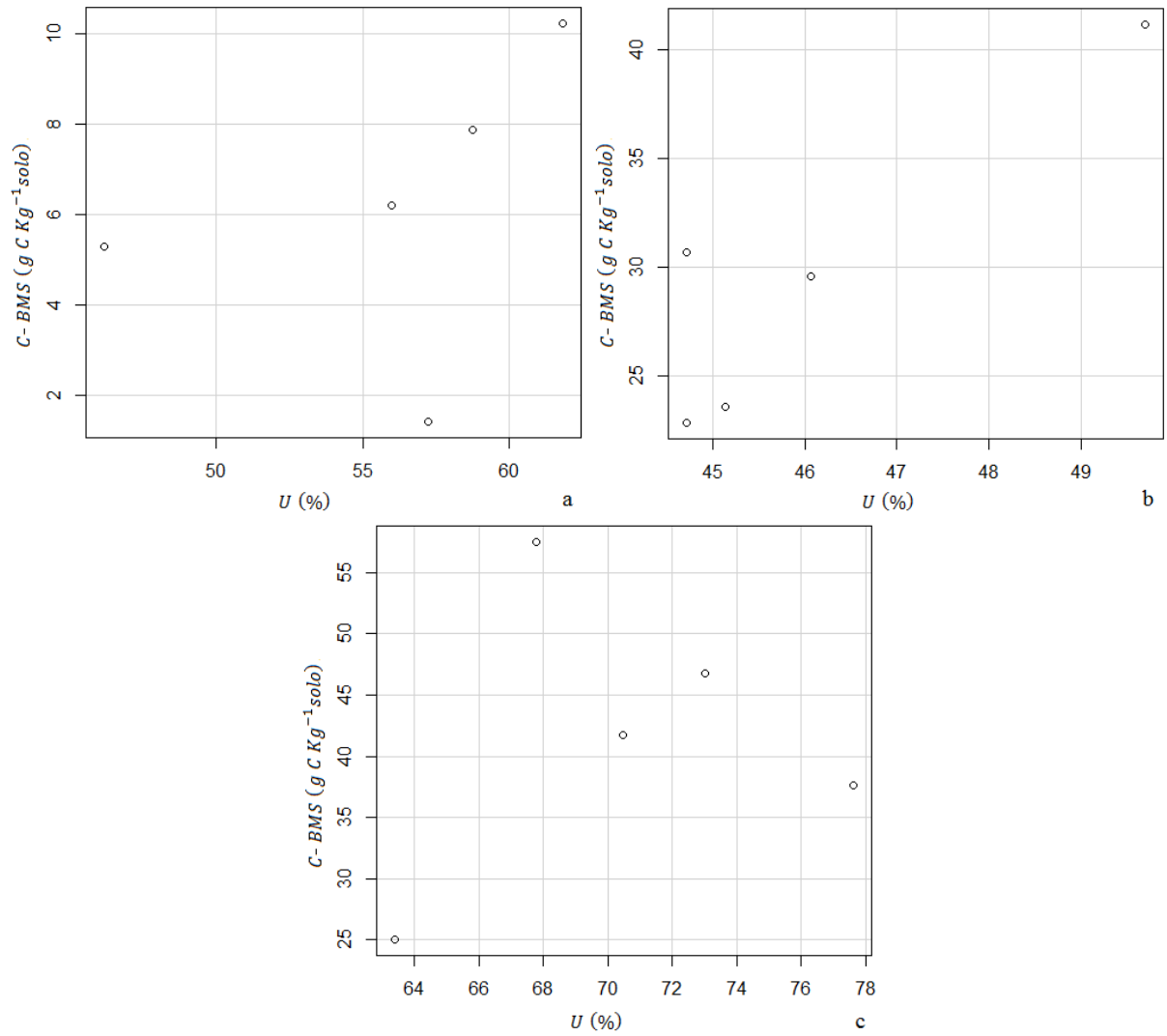
Figura 36. Diagrama de correlação entre umidade e  $qCO_2$  para (a) o plantio de Pinus, (b) o plantio de Eucalipto e (c) a FOM para a primeira coleta de solo

		Pinus	Eucalipto	FOM
RBS x umidade	$p$	0,175	0,75	0,919
	$r$	-0,66	-0,4	0,09
C-BMS x umidade	$p$	0,175	0,917	0,175
	$r$	-0,66	0,2	-0,66
$qCO_2$ x umidade	$p$	0,564	0,75	0,017
	$r$	0,31	-0,4	0,94

Tabela 4. Valores de  $p$ -value e  $r$  calculados pelo teste de correlação de Spearman a 95% de significância entre a umidade e os atributos microbiológicos (RBS, C-BMS e  $qCO_2$ ) para os plantios de Pinus e de Eucalipto e para a FOM para a primeira coleta de solo



**Figura 37. Diagrama de correlação entre umidade e RBS para (a) o plantio de Pinus, (b) o plantio de Eucalypto e (c) a FOM para a segunda coleta de solo**



**Figura 38.** Diagrama de correlação entre umidade e C-BMS para (a) o plantio de Pinus, (b) o plantio de Eucalypto e (c) a FOM para a segunda coleta de solo

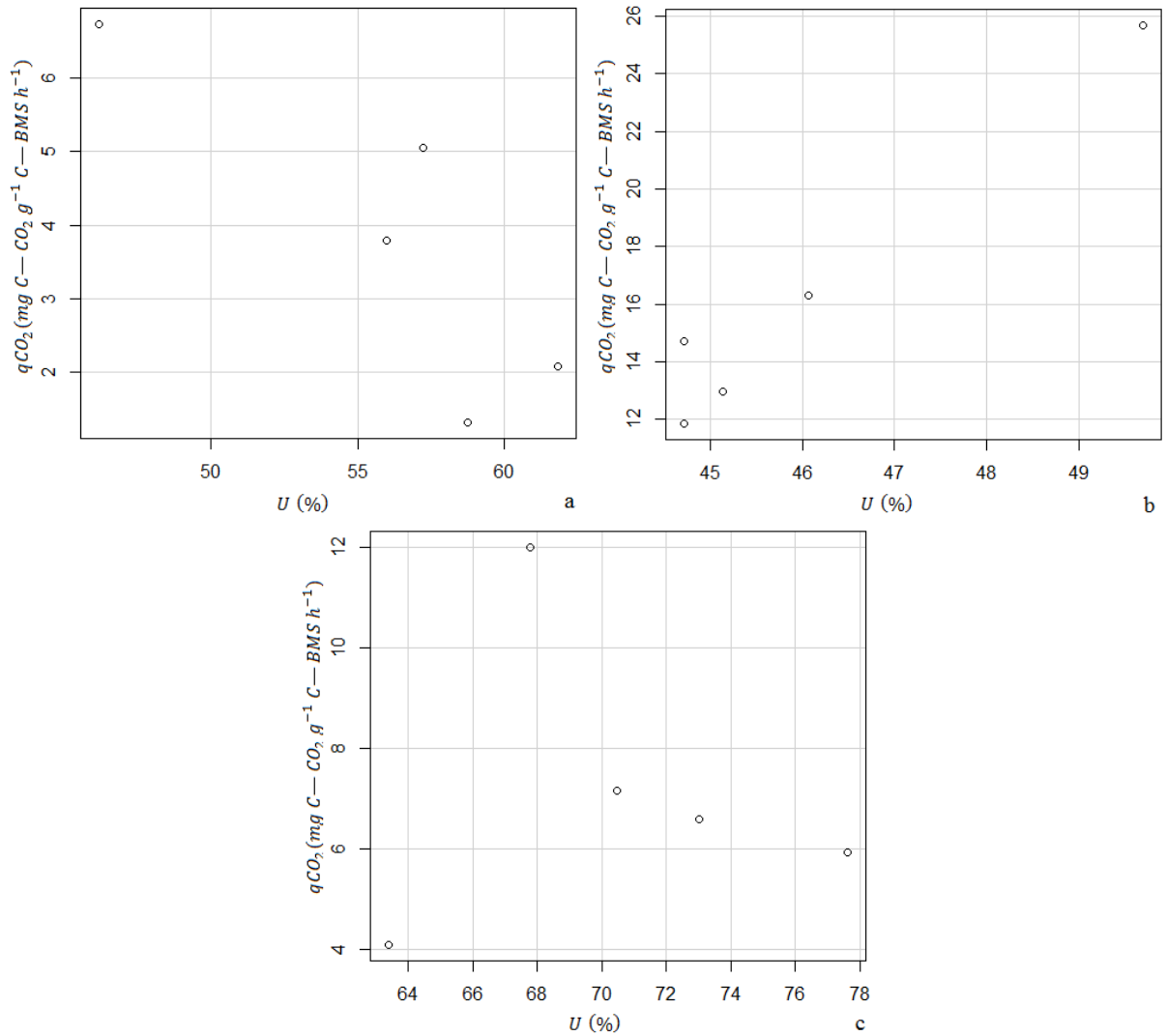


Figura 39. Diagrama de correlação entre umidade e  $qCO_2$  para (a) o plantio de Pinus, (b) o plantio de Eucalipto e (c) a FOM para a segunda coleta de solo

		Pinus	Eucalipto	FOM
RBS x umidade	$p$	0,35	0,95	0,35
	$r$	0,6	0,1	0,6
C-BMS x umidade	$p$	0,233	0,233	0,95
	$r$	0,7	0,7	0,1
$qCO_2$ x umidade	$p$	0,133	0,233	1
	$r$	-0,8	0,7	0

Tabela 5. Valores de  $p$ -value e  $r$  calculados pelo teste de correlação de Spearman a 95% de significância entre a umidade e os atributos microbiológicos (RBS, C-BMS e  $qCO_2$ ) para os plantios de Pinus e de Eucalipto e para a FOM para a segunda coleta de solo



#### 4.5.2. Correspondência Canônica dos atributos físico-químicos com atributos microbiológicos

Segundo a Análise de Correspondência Canônica, foi significativa apenas a correlação do  $\text{Al}^{3+}$  ( $F = 14,78$ ,  $p = 0,001$ ,  $r_{\text{ACC1}} = -0,8922$  e  $r_{\text{ACC2}} = -0,3498$ ), do  $\text{Ca}^{2+}$  ( $F = 8,74$ ,  $p = 0,004$ ,  $r_{\text{ACC1}} = 0,09601$  e  $r_{\text{ACC2}} = -0,028$ ) e do  $\text{K}^+$  ( $F = 12,13$ ,  $p = 0,09$ ,  $r_{\text{ACC1}} = -0,5098$  e  $r_{\text{ACC2}} = 0,7632$ ) com os atributos microbiológicos, como apresentado na Figura 40. Enquanto nenhum atributo pedológico influenciou fortemente os resultados obtidos na área de FOM, na área de plantio de Pinus foi o Al que mais influenciou nos resultados e na área de plantio de Eucalipto foi o Ca e o K que mais interferiram.

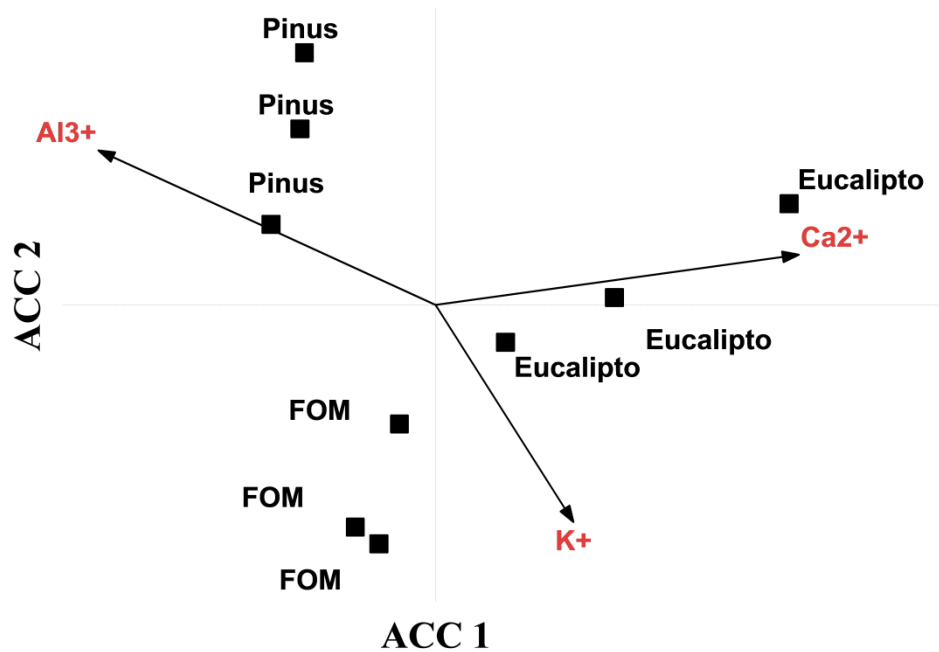


Figura 40. Análise de Correspondência Canônica (ACC) entre  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  e as áreas de estudo (Pinus, Eucalipto e FOM)

Embora o pH não tenha apresentado correlação com os resultados microbiológicos do solo, é importante verificar que a alta concentração de Al encontrado na área de plantio de Pinus abaixou o nível de pH. O solo mais ácido influenciou para a baixa atividade microbiana verificada. Outro fator importante a ser considerado é que altas concentrações de Al são tóxicos para os microorganismos (fungos, actinomicetos e bactérias) (INSAM, DOMSCH, 1988).

Assim como altas concentrações de Al diminuem o pH, altas concentrações de Ca, K e Mg o elevam (MELLO et al, 1985), sendo que apenas esse último não apresentou forte correlação com os atributos microbiológicos encontrados na área de plantio de Eucalipto, e o

Ca foi o que interferiu mais fortemente no resultado. De fato, a área de plantio de Eucalipto foi a que apresentou os menores valores de Al e os maiores de Ca e conseqüentemente os maiores valores de pH (Tabela 2).

E por fim, nenhum atributo pedológico apresentou forte influência na área de FOM. Tal fato ocorreu devido essa área ter apresentado pouca variação desses atributos, tornando a área, de um modo geral, mais homogênea que as demais áreas estudadas.

Maluche-Baretta et al (2006), estudando as diferenças entre dois sistemas de cultivo de maçã em Santa Catarina, verificaram que houve alta correlação canônica entre os atributos microbiológicos e químicos do solo com destaque para o pH e o Al. Semelhantemente, aconteceu no atual estudo, pois houve alta correlação de atributos microbiológicos e químicos do solo, sendo que a área de plantio de Pinus apresentou correlação canônica com o Al que está relacionado com o pH. A maior concentração de Al diminui o pH do solo e a solubilização da matéria orgânica (MIYAZAWA et al, 1993), acidificando o solo.

A área de plantio de Eucalipto apresentou correlação canônica com o Ca e K, que por sua vez, também estão relacionados ao pH do solo, como já comentado. O Ca, K e Mg são as três principais bases que elevam o pH do solo e a presença desses diminui a concentração de Al (EMBRAPA, 2010). Isso se confirmou, pois a maior presença de Ca e de K aumentaram o pH e diminuíram a concentração de Al do solo na área estudada.

## 5. Conclusão

- Os valores de pH, Ca, Mg e Al são os atributos químicos que mais influenciaram nas três áreas estudadas;
- Diferentes tipos de uso e cobertura do solo interferem nos atributos microbiológicos e na qualidade do mesmo;
- A diversidade vegetal influenciou positiva e significativamente na qualidade do solo, por exemplo, minimizando os efeitos negativos da temperatura sobre os atributos microbiológicos;
- A umidade foi limitante na determinação do C-BMS na primeira coleta e a maior diversidade vegetal da FOM favoreceu o maior desenvolvimento desse atributo;
- A área da FOM apresentou-se como mais sustentável por possuir menor perda de C devido aos menores valores de  $qCO_2$ ;

- A área de Eucalipto apresentou-se como mais suscetível às variações de umidade para este estudo;
- A umidade não apresentou correlação com os atributos microbiológicos apesar da diferença estatística apresentada entre as áreas e estações do ano;
- A confecção dos mapas temáticos possibilitou verificar e analisar a variabilidade espacial dos atributos microbiológicos;
- Apesar do pH não estar diretamente correlacionado com os atributos microbiológicos do solo, foi possível perceber que outros elementos como o Al, que é influenciado pelo pH e o Ca e o K, que influenciam no pH, apresentaram correlação com esses atributos.

## 6. Recomendações

Mais estudos sobre a qualidade biológica do solo devem ser realizados. Para tanto, em trabalhos futuros podem ser realizadas análises desses atributos microbiológicos em duas estações do ano e utilizando-se da mesma metodologia de coleta de solo obtendo-se a mesma quantidade de pontos amostrais em todas as coletas. Sugere-se também a realização de análises físico-químicas do solo nesses pontos amostrais e a confecção de mapas temáticos para todas as propriedades do solo a fim de se compreender melhor a relação de cada propriedade com cada parâmetro microbiológico.

## 7. Referências Bibliográficas

ALVAREZ VENEGAS, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS N. F. de; MELLO, J. W. V. de; COSTA, L. M. da. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 195-276.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiologically active method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 10, p. 215-221, 1978.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such pH, on the microbial biomass of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**. Oxford, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**. V. 21, n. 4, p. 471-479, 1989.

ANDREA, M. M.; MORENO HOLLWEG, M. J. Comparação de métodos para determinação de biomassa microbiana em dois solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 981-986, 2004.

ARAÚJO, A. S. F. Ecologia microbiana do solo. **Sapiência**, Teresina, v. 4, n. 12, p. 3, jul/2007.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Biosciens Jouinal**, Uberlandia, v. 23, n. 3, p. 66-75, jul/set 2007.

ARAÚJO, A. S. F. de; MELO, W. J. Oil microbial biomass in organicfarming system. **Ciência Rural**, Santa Maria, Online, v. 40, p. 2419-2426, 2010.

ASSIS JUNIOR, S. L. de; ZANUNCIO, J. C.; KASUYA, M. C. M.; COUTO, L.; MELIDO, R. C. N. atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatadas. **Revista Árvore**. Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 35-41, 2003.

BALOTA, E., L.; UBUKATA, I., F.; AMARAL, H., F.; NAKATANI, A., S.; HUNGRIA, M.; DICK, R., P.; COYNE, M., S. Soil quality in relation to forest conversion to perennial or annual cropping in southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 39, p. 1003 – 1014, 2015.

BARETTA, D.; BARETTA, C. R. D. M.; CARDOSO, E. J. B. N. Análise multivariada de atributos microbiológicos e químicos do solo em Florestas com *Araucaria angustifolia*. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 32, n. especial, p. 2683-2691, 2008.

BATJES, N. H. Mitigation of atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations by increased carbon sequestration in the soil. **Biology and Fertility Soils**, New York, v. 27, p. 230-235, 1998.

BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**. v. 65, p 4-21, 2014.

BEALS, E.W. Bray Curtis ordination: an effective strategy for analysis of multivariate ecological data. *Advances in Ecological Research*. v. 14, p. 1–55, 1984.

BEHERA, N.; SAHANI, U. Soil microbial biomass and activity in response to *Eucalyptus* plantation and nature regeneration on tropical soil. **Forest Ecology and Management**, Ed. Elsevier, v. 174, p. 1-11, 2003.

BERNARDI, A., C. de C.; GREGO, C., R.; ANDRADE, R., G.; REBELLO, L., M.; INAMASU, R., Y.; Variabilidade espacial de parâmetros do solo e índice de vegetação em área cultivada com sorgo e capim-marandu em sistema de integração lavoura pecuária. **EMBRAPA**. Comunicado técnico 96, São Carlos-SP, Nov/2010.

BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**. n. 60, p. 77-87, 2009.

BINI, D.; FIGUEIREDO, A., L.; SILVA, M., C., P. da, VASCONCELLOS, R., L., de F., CARDOSO, E., J., B., N. Microbial biomass activity in litter during the initial development of

purê and mixed plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, p. 76-85, 2015.

BORGO, M.; TIEPOLO, G.; REGINATO, M.; KUNIYOSHI, Y., S.; GALVÃO, F.; CAPRETZ, R., L.; ZWIENER, V., P. Espécies arbóreas de um trecho de Mata Atlântica do município de Antonina, Paraná, Brasil. **Floresta**. Curitiba-PR, v. 41, n. 4, p. 819-832, 2011.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006.

BRASIL. Decreto nº 6.660, de 21 de novembro de 2008.

CÂMARA G.; MONTEIRO, A. M.; FUCKS, S. D.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e Geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; CARVALHO, M. S. **Análise espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S. de. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004.

CAMPANILI, M.; SCHÄFFER, W.B. **Mata Atlântica: manual de adequação ambiental**. Brasília: MMA/SBF, 96p. 2010.

CAMPOS, J. P.; SILVEIRA FILHO, L. **Série ecossistemas paranaenses: Floresta com Araucária**. Curitiba, v. 4, 8p. 2010.

CARDOSO FILHO, J. A.; MINHONI, M. T. de A. Interações microbianas e controle de fitopatógenos na rizosfera. In: SILVEIRA, A. P. D. da; FREITAS S. dos S. **microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007

CARVALHO, F. de. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade de solo em floresta de Araucária angustifolia (Bert.) O. Ktze. no estado de São Paulo**. 2005. 95 f. (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas), Universidade de São Paulo – USP. Piracicaba, 2005.

CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Informativo CEPEA setor florestal** – exportações de celulose e papel continuaram a crescer em janeiro. n. 146. Piracicaba – SP. Fev/2014.

CEPEA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **Informativo CEPEA setor florestal** – mercado de madeiras apresenta oscilações mistas de preços no Estado de São Paulo. n. 166. Piracicaba – SP. out/2015.

CORÁ, J. E. **The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage**. 1997, 104 f. (Tese de Doutorado). Michigan State University. East Lansing, 1997.

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

CUNHA, E. de Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. de B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A.; LEANDRO, W. M. Sistema de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. II – atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35, p. 603-611, 2011.

D'ANDREA, A. F.; SILVA, M., L., N.; FREITAS, D. A. F. de; CURI, N.; SILVA, C. A. Variações de curto prazo no fluxo e variabilidade espacial do CO<sub>2</sub> do solo em floresta nativa. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 30, n. 62, p. 85-92, 2010.

DELALIBERA, H. C.; WEIRICH NETO, P. H.; NAGATA, N. Management zones in agriculture according to the soil and landscape variables. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 32, n. 6, p. 1197-1204, 2012.

DICKOW, K. M. C. **Ciclagem de fitomassa e nutrientes em sucessão secundária na Mata Atlântica, Antonina, PR**. 2010, 215 f. (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba, 2010.

EISENHAUER, N.; DOBIES, T.; CESARZ, S.; HOBBIIE, S. E.; MEYER, R. J.; WORM, K.; REICH, P., B. Plant diversity effects on soil food webs are stronger than those of elevated CO<sub>2</sub> and N deposition in a long-term grassland experiment. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America – PNAS**.v. 110, n. 17, p. 6889-6894, abril/2013.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO<sub>2</sub>)**. Comunicado técnico n. 99. Seropédica – RJ, ago/2007a

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Biomassa microbiana do solo**. Documentos, n. 205. Planaltina – DF, dez/2007b

EMBRAPA– EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Ecologia microbiana do solo**. Documentos, n. 164. Teresina, dez/2007c

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Comunicado técnico n. 8. Campinas – SP, Nov/2010.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G. Modelo numérico do terreno. In: CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S. de. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004.

FELGUEIRAS, C. A.; GOODCHILD, M. F., 1995. **Two Papers on Triangulated Surface Modeling**. Relatório Técnico 95-2 do National Center for Geographic Information and Analysis - NCGIA. University of California, Santa Barbara, CA, U.S.A.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA; INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica** – período 2011-2012. São Paulo. 2013.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA; INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica** – período 2012-2013. São Paulo. 2014.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLANTICA, 2015. Disponível em: <<http://www.sosma.org.br/>> acessado em 21/04/2015

GAMA RODRIGUES, E. F. da; GAMA RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de. Biomassa microbiana de carbono e nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 21, p. 361-365, 1997.

GOSTTSCHAL, J. C. Phenotypic response to environmental changes. **FEMS Microbiology and Ecology**. v.74, p.93-102, 1990.

GOU, X.; TAN, B.; WU, F.; YANG, W.; XU, Z.; LI, Z.; ZHANG, X. Seasonal Dynamics of Soil Microbial Biomass C and N along an Elevational Gradient on the Eastern Tibetan Plateau, China. **Plos one**. v. 10, jul/2015.

GREGO, C., R.; VIEIRA, S., R. Variabilidade espacial de propriedades físicas de solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 29, p. 169-177, 2005.

HARTLEY, M. J. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantations forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 155, p. 81-95, 2002.

HEIMANN, M., REICHSTEIN, M. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks. **Nature**, v. 451, p. 289-292, jan/2008.

HOUGHTON, R.A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000. **Tellus B** 55, p. 378-390, 2003.

IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**, Londrina: IAPAR, CD. 2000.

IAPAR, 2000

IAP – INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ, 2015. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/>> acessado em 22/04/2015.

IBF – INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS. Disponível em: <<http://www.ibflorestas.org.br/>> acessado em 12/10/2015.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira: Série Manuais Técnicos em Geociências**. IBGE: Rio de Janeiro. 1992.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. (eds J.T. Houghton, G.J. Jenkins & J.J. Ephraums) Cambridge University Press, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

INSAM, H. & DOMSCH, K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. **Microbial Ecology**, v. 15, p. 177-188, 1988.

JACKSON, L. E.; CALDERON, F. J.; STEENWRTH, K. L.; SCOW K. M.; ROLSTON, D. E. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. **Geoderma**, Ed. Elsevier, v. 114, p. 305-317, 2003.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.8, n.3, p. 209-213, 1976.

KARLEN, D. L.; WOLLWHAUPT, N. C.; ERBACH, D. C.; BERRY, E. C.; SWAN, J. B.; EASH, N. C.; JORDAHL, J. L. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. **Soil Tillage Research**, v. 31, p. 149-167, 1994.

KIRSCHBAUM, M. U. K. Seasonal variations in the availability of labile substrate confound the temperature dependence of organic matter decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, p. 568-576, 2013.

KUWANO, B. H.; KNOB, A. F.; DÁFILA S. L.; MELÉM JÚNIOR, N. J.; GODOY, L.; DIEHL, R. C.; KRAWULSKI, C. C.; ANDRADE FILHO, G.; ZANGARO FILHO, W.; TAVARES-FILHO, J.; NOGUEIRA, M. A. Soil quality indicators in a rhodic kandudult under different uses in northern Parana, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 38, n. 1, p. 50-59, 2014.

LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; WHITMAN, C. Towards improving the global database on soil carbon. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINI, E.; ATEWART, B. A. Soils and global change. **BoacRaton**: Lewis, p. 343-436, 1995.

LANGE, M.; HABEKOST, M.; EISENHAEUER, N.; ROSCHER, C.; BESSLER, H.; ENGELS, C.; OELMANN, Y.; SCHEU, S.; WOLFGANG, W.; SCHULZER, E., D.; GLEIXNER, G. Biotic and Abiotic properties mediating plant diversity effects on soil microbial communities in an experimental grassland. **Plosone**. v. 9, maio/2014.

LEITE, P. F. **As diferentes unidades fitoecológicas da Região Sul do Brasil**: proposta de classificação. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

LIMA, P. C. F. Sistemas agrossilviculturais desenvolvidos no semi-árido brasileiro. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 16, p.7-17, 1988.

LEPŠ, J.; ŠMILAUER, P. Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO. **Cambridge University Press**. 254 p., 2003.

LOPES, F.; MERTEN, G. H.; MIELNICZK, J.; TORNQUIST, C. G.; OLIVEIRA, E. S. Simulação da dinâmica do carbono do solo numa microbacia rural pelo modelo Century. **Revista Agropecuária Brasileira**. v. 43, n. 6, p. 745-753, jun/2008.



MALUCHE-BARETTA, C. R. D.; AMARANTE, C. V. T. do; KLAUBERG FILHO, O. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 41, n.10, p. 1531-1539, out/2006.

MANZONI, S.; TAYLOR, P.; RICHTER, A.; PORPORATO, A.; AGREN, G., I. Environmental and stoichiometric control on microbial carbon-use efficiency in soils. **New Phytologist**. v. 196, p. 79-91, 2012.

MARCELINO, V. R.; MARTINS, K. G. Avifauna em quatro fazendas madeiras de Irati-PR: análise par certificação ambiental. **Floresta e Ambiente**. v. 21, n. 2, p. 127-139, abr/jun 2014.

McCUNE, B.; JAMES, B. **Analysis of Ecological Communities**. MJM, 300p. 2002, Oregon USA.

MEDEIROS, J. de D. Os estados da Mata Atlântica: ameaças em Santa Catarina. In: REDE DE ONGS DA MATA ATLÂNTICA. Mata Atlântica - uma rede pela floresta. RMA: Rio do Sul, Santa Catarina, p. 252-268. 2006.

MELLO, F. de A. F.; SOBRINHO, M. de O. C. B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; NETTO, A. C.; KIEHL, J. de C. **Fertilidade do solo**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Piracicaba, SP, 3ed., Ed. Livraria Nobel S. A., 1985.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA, 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>> acessado em 21/04/2015.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 17, p. 411- 416, 1993.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica da material orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1103-1110, nov/2004.

MUCHAILH, M. C. **Metodologia de planejamento da paisagem para sustentabilidade ambiental – região centro sul do Paraná**. 2010, 260 f. (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná – UFPR. Curitiba. 2010.

MYERS, N. Threatened biotas: 'hotspots' in tropical forests. **Environmentalist**. v. 8, p. 187-208, 1988.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NORMAN, J. M.; KUCHARIK, C. J.; GOWER, S. T.; BALDOCCHI, D. D.; CRILL, P. M.; RAYMENT, M.; SAVAGE, K.; STRIEGL, R. G. A comparison of six methods for measuring soil-surface carbon dioxide fluxes. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, Washington, DC, v. 102, p. 28771-28777, 1997.

PÉLLICO NETTO, S.; SANQUETTA, C. R.; BRENA, D. A. A Floresta de Araucária e transições. In: SEELIGER, U.; CORDAZZO, C.; BARBOSA, F. (Ed.). Os sites e o Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais: Fundação Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. p. 167-184.

PEÑA, M. L. P.; MARQUES, R.; JAHNEL, M. C.; ANJOS A. dos. Respiração microbiana como indicador da qualidade do solo em ecossistema florestal. **Floresta**. Curitiba, PR, v. 35, n. 1, jan/abr, 2005.

PENG, Y.; THOMAS, S. C.; TIAN, D. Forest management and soil respiration: implications for carbon sequestration. **Environmental Review**, v. 16, p. 93-111, 2008

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 567-573, jun/2004.

PEREZ, K. S. S.; RAMOS, M. L. G.; MCMANUS, C. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo, nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 2, p. 137-144, fev/2005.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G.. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. *Ciência & Ambiente*, Santa Maria, v. 24, p. 75-92, 2002.

ROSIM, S.; FELGUEIRAS, C.A.; NAMIKAWA, L.M. Uma metodologia para geração de MNT por grades triangulares. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, Brasil, 1993. Anais. v.2, p. 420-427.

SAWCZUK, A. L.; FILHO, A. F.; DIAS, A. N.; WATZLAWICK, L. F.; STEPKA, T. F. Alterações na estrutura horizontal, no período de 2002-2008, em Floresta Ombrófila Mista no centro-sul do estado do Paraná. **Ciências Florestais**. Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 149-160, jan-mar, 2014.

SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. de S.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R. S. (Ed.). *Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental*. Brasília: EMBRAPA-SPI, p. 142, 1994.

SEEHUSEN, S. E.; PREM, I. Por que pagamos por serviços ambientais?. In: GUEDES, F. B.; SEEHUSEN, S. E. Pagamentos por serviços ambientais na Mata Atlântica – Lições aprendidas e desafios. **MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE**. Brasília-DF, 2 ed., p. 15-54, 2012.

SHABAGA, J. A.; BASILIKO, N.; CASPERSEN, J. P.; JONES, T. A. Seasonal controls on patterns of soil respiration and temperature sensitivity in a northern mixed deciduous forest following partial-harvesting. **Forest Ecology and Management**, v. 348, p. 208-219, jul/2015.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS – SNIF, 2015. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/>> acessado em 21/04/2015.

SILVA, C., M. da; VASCONCELOS, S., S.; MOURÃO JUNIOR, M.; BISPO, C., J., C.; KATO, O., R.; SILVA JUNIOR, A., C. da, CASTELLANI, D., C. Variação temporal do

efluxo de CO<sub>2</sub> do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**. v. 46, n. 1, p. 1-12, 2016.

Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington DC, 2005.

SILVA, M. B. da; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M. LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v. 42, p. 1755-1761, 2007.

SILVA, S. de A.; LIMA, J. S. de S. Multivariate analysis and geostatistics of the fertility of a humic rhodic hapludox under coffee cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 36, n. 2, p. 467-474, 2012.

SPOSITO, G.; ZABEL, A. The assessment of soil quality. **Geroderma**, v. 114, p. 143-144, 2003.

STEINAUER, K.; TILMAN, D.; WRAGG, P. D.; CESARZ, S.; COWLES, J. M.; PRITSCH, K.; REICH, P. B.; WEISSER, W. W.; EISENHAUER, N. Plant diversity effects on soil microbial functions and enzymes are stronger than warming in a grassland experiment. **Ecology**. v. 96, n. 1, p. 99-112, 2015.

SUBKE, J.A.; BAHN, M. On the 'temperature sensitivity' of soil respiration: can we use the immeasurable to predict the unknown? **Soil Biology Biochemistry**, v. 42, p. 1653-1656, 2010.

THAKUR, M. P.; MILCU, A.; MANNING, P.; NIKLAUS, P. A.; ROSCHER, C.; POWER, S.; REICH, P. B.; SCHEU, S.; TILMAN, D.; AI, F.; GUO, H.; JI, R.; PIERCE, S.; RAMIREZ, M. G.; RICHTER, A. N.; STEINAUER, K.; STRECKER, T.; VOGEL, A.; EISENHAUER, N. Plant diversity drives soil microbial biomass carbon in grasslands irrespective of global environmental change factors. **Global Change Biology**. jun/2015.

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

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J. L. Fundamentos em ecologia. **Artmed**. São Paulo, 3 ed., 576 p., 2010.

VANCURA, V.; KUNC, F. Soil microbial associations: control of structures and functions. Amesterdan: **Elsevier**, p. 405, 1988.

VICENTE, G. C. M. P. **Atributos microbiológicos, físicos e químicos de solos na região oeste paulista**. 2010. 39 f. (Mestrado em Agronomia), Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente-SP, 2010.

VINHAL-FREITAS, I. C.; FERREIRA, A. S.; CORRÊA, G. F.; ENDLING, B. Influence of Phosphorus and Carbon on soil microbial activity in a Savannah agroecosystem of Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 43, p. 1291-1302, 2012.

WEBSTER, K. L.; CREED, I. F.; BOURBONNIERE, R. A.; Beall, F. D. Controls on the heterogeneity of soil respiration in a tolerant hardwood forest. **Journal of Geophysical Research**, v. 113, 2008.

XU, X.; SCHIMEL, J., P.; THORNTON, P., E.; SONG, X.; YUAN, F.; GOSWAMI, S. Substrate and environmental controls on microbial assimilation of soil organic carbon: a framework for Earth system models. **Ecology Letters**. 2014.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. Prentice-Hall, New Jersey. 666 p. 1999.

ZHOU, Z. H.; WANG, C. K. Soil resources and climate jointly drive variations in microbial biomass carbon and nitrogen in China's forest ecosystems. **Biogeosciences Discussions**. v. 12, p. 11191-11216, 2015.

ZILLI, J. E.; RUMJANEK, N. G.; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. da C.; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Caderno de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 391-411, set/dez/2003.