

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC  
UNIDADE ACADÊMICA DE HUMANIDADES, CIÊNCIAS E EDUCAÇÃO  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS - BACHARELADO**

**SAMUEL GALVÃO ELIAS**

**TAXA DE DEGRADAÇÃO DE CELULOSE EM SOLOS ÁREA NATURAL E ÁREA  
CONSTRUIDA NO MUNICÍPIO DE TREVISO, SANTA CATARINA**

**CRICIÚMA  
2014**

**SAMUEL GALVÃO ELIAS**

**TAXA DE DEGRADAÇÃO DE CELULOSE EM SOLOS ÁREA NATURAL E ÁREA  
CONSTRUIDA NO MUNICÍPIO DE TREVISÓ, SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para  
obtenção do grau de Bacharel no Curso de Ciências  
Biológicas da Universidade do Extremo Sul  
Catarinense, UNESC.

Orientador: Prof. MSc. Cláudio Ricken

**CRICIÚMA  
2014**

**SAMUEL GALVÃO ELIAS**

**TAXA DE DEGRADAÇÃO DE CELULOSE EM SOLOS ÁREA NATURAL E ÁREA  
CONSTRUIDA NO MUNICÍPIO DE TREVISÓ, SANTA CATARINA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para  
obtenção do grau de Bacharel no Curso de Ciências  
Biológicas da Universidade do Extremo Sul  
Catarinense, UNESC.

Criciúma, 27 de junho de 2014

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Cláudio Ricken – Mestre (UNESC) – Orientador

Prof. Birgit Harter Marques – Doutora (UNESC)

Prof. Marcos Back – Mestre (UNESC)

**Dedico esse trabalho a toda minha família, mas principalmente a meus pais, pois sem eles não teria aprendido o verdadeiro significado do respeito ao próximo e a natureza.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao professor, orientador, amigo e referência, Claudio Ricken pelos conhecimentos prestados e principalmente pela confiança depositada no meu trabalho, contribuindo assim em muito para minha formação como biólogo.

Agradeço aos colegas de curso Robson Patrício, Altamir Antunes, Kathleen Felisbino, Samara Bristot e Jhoni Caetano pela ajuda durante a realização dos experimentos de campo, pois sem sua parceria não seria possível a realização do experimento.

Agradeço a bióloga e amiga Grazielle Milioli por sua paciência e principalmente os conhecimentos a mim depositados, que ajudaram a compreender e me aproximar ainda mais do mundo da microbiologia.

A todos os que foram e ainda são meus colegas de classe, que transformaram essa longa missão em uma caminhada muito mais prazerosa mesmo nas horas de dificuldade.

Um agradecimento especial a minha namorada, por me incentivar e compreender as diversas horas de lazer que foram e ainda serão ocupadas com estudo e por ser uma incrível companheira.

E finalmente, agradeço principalmente aos meus pais Evaldo Colossi Elias e Wânia Reis Galvão Elias por serem minha fonte de inspiração e por todos os esforços despendidos para minha criação e de todos os meus irmãos, transformando-nos em pessoas de caráter e verdadeiramente vivas. Palavras são poucas para lhes dizer o quanto agradeço por tudo isso. Muito obrigado!

**“O mundo é um lugar perigoso de se viver, não por causa daqueles que fazem o mal, mas sim por causa daqueles que observam e deixam o mal acontecer”**

**Albert Einstein**

## RESUMO

A fragmentação de habitats representa hoje uma das maiores ameaças aos ecossistemas florestais, transformando grandes áreas contínuas em pequenas manchas de habitat extremamente susceptíveis a fatores externos. Em resposta a fragmentação diversos padrões são alterados no ecossistema, entre os diversos, pode-se citar a taxa de degradação de matéria orgânica. Considerando essas alterações, o presente estudo teve por objetivo (i) comparar a taxa de degradação de celulose entre um fragmento florestal e uma área reabilitada após atividade de mineração de carvão e (ii) avaliar a influência das áreas de borda e interior de mata na taxa de degradação de celulose no fragmento florestal, ambas as áreas estão localizadas no Campo Morozini, Treviso, SC. Para tal foram utilizados discos de papel filtro qualitativo envolvidos em malha de nylon (funcionando como barreira seletiva para microrganismos). Os discos foram implantados nas duas áreas amostrais distribuídos em seis parcelas cada, na qual para o fragmento florestal foram alocadas três parcelas em áreas de borda e três no interior do fragmento e a área reabilitada as parcelas foram implantadas de forma linear. Os dados foram analisados pela ANOVA hierárquica e Decaimento Exponencial Simples (DES). Através do DES foi observada maior velocidade de decomposição do material celulósico na área reabilitada em relação ao fragmento florestal, no entanto a maior velocidade não refletiu maior eficiência, indicado pela elevada quantidade de material remanescente ao final do experimento para área reabilitada. A maior quantidade reflete uma possível ausência de grupos funcionais de microrganismos no compartimento do solo estudado. Na comparação entre parcelas do fragmento florestal para avaliação do efeito de borda, apenas a parcela alocada na região mais central do fragmento apresentou menor taxa de degradação de celulose durante a maior parte do experimento, indicando que a área em questão está sendo influenciada por variáveis externas, como temperatura e incidência de ventos assim como as áreas de borda estão atuando sobre regiões a grandes distâncias da borda do fragmento, já a área reabilitada apresentou homogeneidade no processo de decomposição de celulose. Considerando que através da metodologia utilizada, foi possível refletir diferentes fenômenos em relação a alterações nos processos de decomposição de material orgânico já registrados na literatura para áreas de borda e áreas em estágios iniciais, o modelo pode ser considerado adequado para utilização no monitoramento ambiental.

**Palavras-chave:** Degradação de celulose, matéria orgânica, efeito de borda, mineração de carvão, antropossolo.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da região de estudo com destaque para localidade de Campo Morozini, Treviso, SC, contornada em amarelo.....	17
Figura 2. Localização da área de estudo com destaque para as área amostrais, em que: FF – Fragmento florestal; e AR – Área reabilitada.....	21
Figura 3. Esquemática da disposição dos discos de celulose nas diferentes parcelas e tempos amostrais utilizados no experimento.....	24
Figura 4. Mapa do Fragmento florestal demonstrando aproximação da área da borda do fragmento. Polígonos cinza escuro e cinza claro representam respectivamente 0-50 e 50-100 metros partindo-se do limite do fragmento. Retângulos exemplificam a localização das parcelas em que: borda trilha (BT); borda estrada 1 e 2 (BE1 e BE2) e; interior 1, 2 e 3 (I1, I2 e I3).....	25
Figura 5. Discos de celulose utilizados no experimento exibindo a quantidade de material remanescente dos discos de celulose expostos no fragmento florestal (A, C e E) e os discos expostos na área recuperada (B, D e F). Barras pretas = 1 cm.....	28
Figura 6. Médias $\pm$ desvio padrão (DP) da taxa de decomposição de celulose sob os diferentes tempos amostrais para o fragmento florestal e área reabilitada.....	29
Figura 7. Médias da taxa de decomposição de celulose entre as diferentes parcelas amostrais do fragmento florestal, em que: borda trilha (BT); borda estrada 1 e 2 (BE1 e BE2) e; interior 1, 2 e 3 (I1, I2 e I3).....	30
Figura 8. Médias da taxa de decomposição de celulose entre as diferentes parcelas amostrais da área reabilitada, em que: parcela 1 a 6 (P1, P2, P3, P4, P5 e P6).....	31

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
1.1	FRAGMENTAÇÃO DE HABITAT .....	10
1.2	MINERAÇÃO DE CARVÃO .....	11
1.3	MATÉRIA ORGÂNICA E SUA DECOMPOSIÇÃO .....	12
1.4	INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO .....	15
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO .....	17
3.2	DESCRIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO .....	18
<b>3.2.1</b>	<b>Clima .....</b>	<b>18</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Geologia, geomorfologia e solos.....</b>	<b>18</b>
3.3	DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO .....	19
<b>3.3.1</b>	<b>Fragmento florestal .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Área reabilitada .....</b>	<b>19</b>
3.4	COLETA E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS .....	21
<b>3.4.1</b>	<b>Decomposição de celulose.....</b>	<b>21</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Delineamento experimental e análise estatística .....</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÕES .....</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>35</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 FRAGMENTAÇÃO DE HABITAT

O Bioma Mata Atlântica é composto pelo conjunto de 5 formações florestais: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual (IBGE, 2012).

Originalmente o bioma cobria cerca de 150 milhões de m<sup>2</sup> do solo brasileiro, apresentando em sua estrutura, uma malha altamente heterogênea de condições ambientais que possibilitaram a produção de diferentes composições vegetais em um gradiente latitudinal, estendendo-se desde regiões tropicais à subtropicais (RIBEIRO et al., 2009).

Dentre as diversas formações encontradas no bioma, a formação Floresta Ombrófila Densa caracteriza-se e distingue-se das demais formações por suas características ombrotérmicas como temperatura média relativamente alta ( $\Rightarrow 25^{\circ}\text{C}$ ) em grande parte do ano e alta precipitação pluviométrica (1220 – 1660 mm), possibilitando assim o estabelecimento de fanerófitos, lianas lenhosas e epífitas em abundância (IBGE, 2012).

Em relação aos componentes arbóreos presentes no bioma, podem ser citadas as espécies *Ficus organensis* (Miq.) Miq., *Alchornea triplinervia* (Spreng.) M. Arg., *Calophyllum brasiliense* Cambess., *Handroanthus umbellatus* (Sond.) Mattos., *Magnolia ovata* (A. St.-Hil.) Spreng., *Brosimum lactescens* (S. Moore) C.C. Berg e *Myrcia glabra* (O.Berg) D. Legrand. para as regiões de planícies litorâneas assim como *Weinmannia humilis* Engl., *Clethra scabra* Pers., *Eugenia pluriflora* DC., *Ilex theezans* Mart. ex Reissek e *I. microdonta* Reissek como componentes de regiões de maiores altitudes (LINGNER et al., 2013).

Apesar da sua grande extensão e riqueza, o bioma encontra-se hoje sob intensa pressão antrópica, apresenta-se altamente fragmentado, com cerca de 80% dos fragmentos com área inferior a 50 ha, grandes distâncias entre áreas remanescentes ( $\pm 1440$  m) e as áreas de floresta original representam cerca de apenas 1% de sua extensão original (RIBEIRO et al., 2009). Em relação a formação Floresta Ombrófila Densa Submontana Teixeira et al. (1986) citam apenas pouco mais de 900 km<sup>2</sup> distribuídos em forma de relictos encontrados em áreas de difícil acesso, fato esse que impossibilitou a realização de atividades agrícolas e manutenção dessas áreas até tempos atuais.

A fragmentação de habitats representa hoje uma das maiores ameaças aos ecossistemas florestais, provocando alterações intensas em parâmetros funcionais e estruturais nas zonas de transição criadas após a transformação das áreas, anteriormente contínuas, em pequenas manchas de habitat (HARPER et al., 2005).

As pequenas manchas são extremamente susceptíveis a fatores externos ao fragmento, como altas temperaturas, luminosidade e maior incidência de ventos (POHLMAN; TURTON; GOOSEM, 2009; MULLER; BATAGHIN; SANTOS, 2010). O conjunto desses fatores pode ser denominado “efeito de borda” ou “limite ecológico” conforme definição de Cadenasso et al. (2003).

Os respostas ocorridas nestas zonas segundo Harper et al. (2005) podem ser divididas em respostas processuais primárias e secundárias e estruturais primárias e secundárias conforme Tabela 1.

Tabela 1. Respostas em processos e estrutura das zonas de borda de mata, em que: > indica incremento nas taxas do item e; < indica decréscimo nas taxas do item.

	Processuais	Estruturais
Primárias	> Produtividade	< Cobertura do dossel
	> Evapotranspiração	< Densidade de árvores
	> Ciclagem de nutrientes	< Biomassa
	> Decomposição	> Madeira derrubada (mortalidade de árvores)
Secundárias	> Recrutamento	> Densidade de plântulas
	> Crescimento	> Cobertura do sub-bosque
	> Mortalidade	
	> Reprodução	

Fonte: Adaptado de Harper et al. (2005).

## 1.2 MINERAÇÃO DE CARVÃO

Em território brasileiro as reservas de carvão podem chegar a cerca de 32 bilhões de toneladas do minério, compreendendo o estado de Santa Catarina como um dos maiores produtores de carvão mineral a nível nacional. Apesar do carvão apresentar grande importância econômica na produção de energia em todo o mundo, os danos causados a

ambientes terrestres e aquáticos pela sua utilização ainda representam um desafio devido a seu alto potencial poluidor (GIVIZZO; VIDOR; TEDESCO, 2000; BIAN et al, 2010).

Atualmente grande parte do combustível que fornece energia as termelétricas brasileiras provém da Bacia Carbonífera Catarinense, localizada na região sudeste do estado de Santa Catarina entre os paralelos 28°48'25" e 28°23'54" e meridianos 49°33'38" e 49°15'11" (KAUL, 1990 apud ZOCHE et al., 2010). Na região o recurso vem sendo explorado em maior intensidade a partir dos anos 1930, chegando a ser instauradas na região nos anos de 1970 onze empresas mineradoras (SILVA et al., 2009).

A extração de carvão a céu-aberto representa um processo altamente predatório desde suas fases iniciais, na qual para extração do mesmo a primeira etapa do processo consiste na completa remoção da vegetação (CITADINI-ZANETTE, 1992).

No entanto, o principal fator de risco associado a utilização do carvão provém do alto potencial de acidificação dos rejeitos derivados do processo de beneficiamento, podendo esses, quando em contato com água e oxigênio transformar-se em drenagens ácidas, que por sua vez provocam sérios danos à biodiversidade de ecossistemas aquáticos e terrestres (SALOMONS, 1995; GIVIZZO; VIDOR; TEDESCO, 2000; SILVA et al., 2009).

### 1.3 MATÉRIA ORGÂNICA E SUA DECOMPOSIÇÃO

A matéria orgânica presente nos solos é composta por uma mistura heterogênea tanto em características físicas como químicas, sendo a taxa de decomposição dessa matéria orgânica em cada tipo de solo dependente dessa heterogeneidade (BALDOCK et al., 2004). Essa matéria possui importantes funções dentro na manutenção dos ecossistemas, como estabilizar os agregados do solo através da formação de grumos, aumentar a capacidade do solo em reter água, assim como servir de fonte de energia para organismos decompositores (GUARIGUATA; OSTERTAG, 2001).

A biomassa microbiana presente nos solos representa a parte viva da matéria orgânica, sendo composta por bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários, algas assim como a microfauna (SANTOS; CAMARGO, 1999). Segundo Ritz et al. (1994), em uma pequena área de apenas 1 cm<sup>3</sup> de solo, podem existir cerca de milhões de bactérias, milhares de protozoários e centenas de metros hifas de fungos.

Materiais lignocelulósicos são constituídos basicamente por celulose, hemicelulose, lignina e pequenas quantidades de sais minerais, a degradação *in natura* desses

compostos representa um dos processos mais importantes na ciclagem dos diversos elementos nos ecossistemas (FERRAZ, 2004).

O constituinte de maior abundância do ponto de vista estrutural, que representa um componente quase exclusivo da parede celular dos vegetais é a celulose, podendo excepcionalmente ser encontrado em alguns animais como os tunicados e certas bactérias (LYND et al., 2002).

Uma importante característica necessária aos microrganismos para se desenvolver em ambientes terrestres é sua capacidade de degradar celulose aerobiamente transformando-a em açúcares de cadeia curta (KRAEPELIN; COOKE; RAYNER, 1985; LYND et al., 2002).

O processo de degradação de materiais lignocelulósicos é determinado diretamente pelas interações inter- e intra-específicas entre diferentes grupos de microrganismos presentes no solo como bactérias e fungos, podendo essas interações ser tanto agonista como antagonista (BOER et al., 2005).

Essa característica é altamente difundida entre os diversos filos de fungos como Ascomycetos, Deuteromicetos e Basidiomicetos (LYND et al., 2002). Inúmeras espécies de bactérias do solo também são conhecidas por degradarem celulose aerobiamente, podendo ser citados alguns gêneros de bactérias filamentosas como os *Streptomyces* e *Micromonospora* e outras não filamentosas dos gêneros *Bacillus*, *Cellulomonas* e *Cytophaga* (LYND et al., 2002). Outras bactérias que formam um importante grupo de decompositores terrestres são os denominados Actinomicetos (GRIFFIN, 1985).

Bactérias degradadoras de celulose podem ser encontradas nos mais variados ambientes, podendo estar presentes em simbiose com diversos outros filos, vivendo no trato intestinal de vermes que se alimentam de madeira, térmitas assim como ruminantes (BAYER; SHOHAM; LAMED, 2013).

A degradação realizada por bactérias ocorre através de interação entre diversos grupos de espécies. As espécies primárias atacam o polímero de celulose transformando-o em celobiose e glicose, na sequência as espécies denominadas “satélites” assimilam o excesso de açúcar liberado pelos micro-organismos primários. Considerando-se que a ação da celulase é inibida pelo excesso de celobiose no meio, a interação entre espécies de diferentes níveis se torna extremamente importante na efetividade do processo (BAYER; SHOHAM; LAMED, 2013). A degradação de substratos lignocelulósicos realizada por bactérias restringe-se a materiais com pequenas quantidades de lignina (LYND et al., 2002).

Um exemplo de interação antagônica foi estudado por Romani et al. (2006) na qual várias enzimas do complexo celulolítico são produzidas em quantidades significativamente elevadas por fungos quando cultivadas sem a presença de bactérias no mesmo substrato, ou seja, sem competição, ao mesmo tempo que a presença de bactérias no substrato pôde promover um efeito negativo sobre a produção dessas enzimas pelos fungos.

Outra abordagem a ser considerada, está relacionada diversidade-funcionalidade dentro do sistema solo. Segundo esta linha, a capacidade metabólica de um determinado grupo funcional é potencializada em compartimentos mais homogêneos em relação a riqueza de espécies de micro-organismos (TRINDER; JOHNSON; ARTZ, 2009). Esse fenômeno pode ser atribuído a menor interação (antagonista ou agonista) entre os metabólitos produzidos pelos diferentes grupos de micro-organismos (ANDERSON, 2003).

Dentro dos diferentes grupos de fungos, os Basidiomicetos representam um dos principais decompositores de materiais lignocelulósicos. As espécies classificadas dentro desse subfiló são distribuídos em dois grupos de acordo com sua capacidade de degradar os diferentes compostos presentes na madeira (MARTINEZ et al., 2005). Os fungos que realizam a decomposição branca são capazes de atacar todos os componentes presentes na madeira, enquanto o segundo, o grupo dos fungos de decomposição marrom/parda degradam apenas celulose e hemicelulose mantendo a lignina intacta (JAROSZ-WILKOLAZKA; GADD, 2003).

A principal característica dos fungos que realizam a degradação branca é degradarem totalmente os compostos presentes na madeira inclusive lignina, além de que sua habilidade estende-se ainda a degradação de uma ampla gama de componentes orgânicos estruturalmente similares (BALDRIAN, 2003) As espécies pertencentes a esse grupo representam a maior porção dos fungos degradadores de madeira e podem ser citados para esse grupo *Ganoderma australe* (Fr.) Pat., *Phlebia tremellosa* (Schrad.) Nakasone & Burds, *Phellinus pini* (Brot.) A. Ames, *Pleurotus* spp e *Ceriporiopsis subvermispora* (Pilát) Gilb. & Ryvar den (MARTINEZ et al., 2005).

A remoção inicial de lignina é um processo oxidativo que envolve a ação coordenada de diversas enzimas, liberando peróxido de hidrogênio extracelular que oxidam o polímero através de seu alto potencial redox (MARTÍNEZ et al., 2009), neste processo estão envolvidas também diversas lacases e celulasas (HAMMEL et al., 2002).

Fungos causadores de decomposição marrom/parda são capazes de decompor apenas celulose e hemicelulose mantendo a lignina intacta, esses representam apenas cerca de

7% de todos os Basidiomicetos degradadores de madeira (MARTINEZ et al., 2005), no entanto em ecossistemas de Florestas de Coníferas representam os principais decompositores (JENSEN et al. 2001).

Como representantes desse grupo podem ser citados *Coniophora puteana* (Schumacher: Fries) P. Karsten, *Gloeophyllum trabeum* (Persoon : Fries) Murrill, *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, *Piptoporus betulinus* (Bull.: Fr.) P. Karst., *Postia placenta* (Fr.) M. J. Larsen & Lombard e *Serpula lacrymans* (Wulfen : Fr.) S.F. Gray (MARTINEZ et al., 2005).

#### 1.4 INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO

De acordo com Holloway e Stork (1991) e Zatorre (2008), um bom indicador da qualidade do solo deve apresentar as seguintes características:

Identificar e refletir algum parâmetro funcional dentro do ecossistema, identificar as formas de perturbações ocorridas na área, ser economicamente viável, apresentar fácil utilização e monitoramento, apresentar especificidade individual aos padrões de espaço e tempo e apresentar distribuição universal.

Diversas abordagens tem sido amplamente utilizadas para avaliação da qualidade ou funcionalidade do solo através, entre elas: técnicas de genômicas (PANKRATOV et al., 2011); quantificação de enzimas extracelulares e quantificação de microrganismos através de ácidos graxos fosfolipídicos (TISCHER; BLAGODATSKAYA; HAMER, 2014); análise de carbono e nitrogênio total (RICHARDS; DALAL; SCHMIDT, 2009); entre diversos outros revisados por Bastida et al. (2008). No entanto a grande maioria, demanda de técnicas sofisticadas e muito complicadas, além de que necessitam de muito recurso financeiro. Considerando essas características, o desenvolvimento de técnicas para avaliar a qualidade e funcionalidade dos solos aliados viabilidade financeira justificam a realização do presente trabalho.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a influência do gradiente borda-interior de mata e do tipo de solo (natural e antropossolo em área reabilitada pós mineração de carvão) sobre a decomposição de matéria orgânica no município de Treviso, Santa Catarina.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

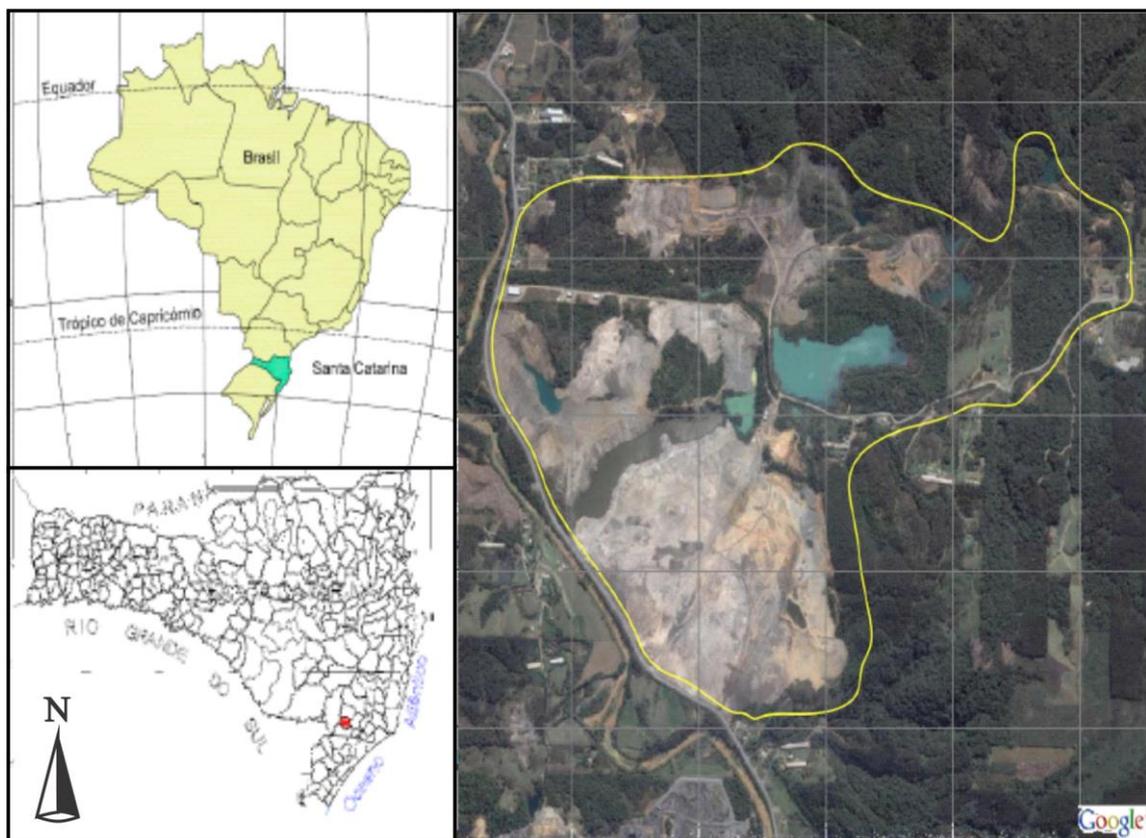
- Analisar a taxa de decomposição de celulose em solos de diferentes áreas: (i) solo construído a aproximadamente 5 anos pós mineração de carvão; (ii) solo sem influência direta da mineração de carvão;
- Avaliar a influência de áreas de borda e interior de mata na taxa de decomposição de celulose na área do fragmento florestal.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

O experimento foi realizado na localidade de Campo Morozini, município de Treviso, Santa Catarina (Figura 1). Sua área total compreende aproximadamente 381 ha dos quais cerca de 226,90 ha são compostos por áreas com forte influência da mineração de carvão, sendo esta realizada entre os anos de 1982 e 1989 pela empresa Carbonífera Próspera S.A. (IPAT, 2009).

Figura 1. Localização da região de estudo com destaque para localidade de Campo Morozini, Treviso, SC, contornada em amarelo.



Fonte: Adaptado de IPAT (2013).

## 3.2 DESCRIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

### 3.2.1 Clima

O clima da região segundo classificação de Köppen é do tipo Cfa (Mesotérmico, úmido e com verão quente) com temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C, sem estação seca definida, apresentando temperatura média do mês mais quente superior a 22°C (IPAT, 2011), a precipitação média normal anual varia entre 1220 e 1660 mm e cerca de 102 a 150 dias totais anuais de chuva, ocorrendo em termos normais 0,3 a 11,0 geadas por ano, com insolação total normal anual variando entre 1.855 a 2.182 horas (EPAGRI, 2001).

### 3.2.2 Geologia, geomorfologia e solos

A região em questão está inserida dentro na Bacia do Paraná. Dentro do estado de Santa Catarina, as rochas sedimentares da Bacia do Paraná representam o segundo grupo de rochas mais antigas, tendo sua formação entre 500 e 180 milhões de anos antes do presente (FILHO, 2003). De acordo com Krebs (2004), para a região pode-se observar basicamente três formações rochosas: Formação Rio Bonito e Palermo ambas pertencentes ao Grupo Guatá e Formação Irati pertencente ao Grupo Passa Dois, com origem as três no Permiano Médio. O Grupo Guatá é formado por rochas originadas de ambientes deltaicos, marinhos e litorâneos para a Formação Rio Bonito e apenas marinhos para a formação Palermo, o Grupo Passa Dois tem sua origem de ambientes marinhos e transicionais (SILVA et al., 2003). Em aspectos geomorfológicos, pode-se observar para tal, relevo colinoso com vales, vertentes íngremes e espesso manto composto por material sedimentar, favorecendo a ocorrência de solifluxão e possíveis movimento de massa (EPAGRI, 2001).

Em sua condição original Treviso apresenta três ordens de solos: primeiramente os **Cambissolos** que cobrem a maior parte do município com cerca de 54% seguidos pelos **Neossolos** cobrindo apenas 32% (EPAGRI, 2001). De acordo com IBGE (2007), os Cambissolos são solos que apresentam grande variação de profundidade, com drenagem imperfeita a acentuada, podendo muitas vezes ser pedregosos, cascalhentos e mesmo rochosos e ocorrem disseminados em todas as regiões do Brasil, preferencialmente em regiões serranas ou montanhosas, já os Neossolos podem ser tanto solos minerais a orgânicos, geralmente pouco espessos, ocorrendo preferencialmente em regiões de relevos muito acidentados de

morrarias e serras os Neossolos Litólicos. Por último e com menor expressão no município de Treviso, encontra-se os **Argissolos**, cobrindo cerca de 14% do município (EPAGRI, 2001).

### 3.3 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

#### 3.3.1 Fragmento florestal

Compreende a um fragmento secundário em estágio sucessional avançado, pertencente a formação Floresta Ombrófila Densa Submontana (Figura 2-RF). Em levantamento realizado pela empresa IPAT/UNESC em duas áreas no município de Siderópolis (SC) – a primeira (Área 1) em estágio avançado de regeneração natural e a segunda (Área 2) em estágio transicional entre inicial tardio e início de intermediário - tomando-se esses resultados como modelo para a possível formação da área do Campo Morozini foram evidenciados para Área 1 espécies como indivíduos de maior dominância *Ocotea catharinensis* Mez, *Matayba guianensis* Aubl., *A. triplinervia* e *Aspidosperma parvifolium* A. DC. assim como *Euterpe edulis* Matr. como espécie com maior valor de importância e para Área 2 as espécies com maior valor de importância foram *Eucalyptus saligna* Sm. sendo essa uma espécie introduzida na área e *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F. Macbr (pau-jacaré) (IPAT, 2003).

#### 3.3.2 Área reabilitada

Área aonde realizou-se mineração de carvão a céu aberto entre os anos de 1982 e 1989 pela empresa Carbonífera Próspera S.A (Figura 2-AR). Sua vegetação apresenta-se em estágio sucessional secundário inicial, com cerca de 72% de sua riqueza específica composta por espécies herbáceas terrícolas e subarbustos pertencentes às famílias Asteraceae (17 espécies), Poaceae (11), Fabaceae/Faboideae (5), Fabaceae/Mimosoideae (3), Solanaceae (3), Myrtaceae (2), Melastomataceae (2) e outras famílias incluindo espécies indeterminadas (17) (IPAT, 2013). Para construção do solo foi realizada raspagem de solo seguida de remodelagem topográfica, aplicação de calcário as pilhas de estéreis, argila compactada (aproximadamente 50 cm) para evitar a infiltração de águas superficiais no solo, aplicação de cama de aviário, turfa, fertilizantes e por fim introdução de espécies arbóreas e herbáceas por semeadura a lanço (IPAT, 2009). Seguindo-se as características apresentadas, o solo em

questão, pode-se classificar segundo proposição de Curcio, Lima e Giarola (2004) como Antropossolo Móbilico, na qual para Antropossolo delimita-se:

Volume formado por várias ou apenas uma camada antrópica, desde que possua 40 cm ou mais de espessura, constituído por material orgânico, em diferentes proporções, formado exclusivamente por intervenção humana, sobrejacente a qualquer horizonte pedogenético, ou saprólitos de rocha não intemperizada. Constituem volumes com morfologia muito variável em razão a natureza de seus materiais constitutivos, técnicas de composição e tempo de formação. Em geral, apresentam pequeno grau de evolução, caracterizado pela pequena relação pedogenética entre as camadas. A saturação iônica do complexo sortido é bastante variável e depende, principalmente, do tipo de material utilizado, em sua formação, além das características do material de solo remanescente. É muito comum ser identificada a presença de materiais tóxicos e sépticos em sua composição. A drenagem é bastante diversa, e está diretamente relacionada a natureza e a quantidade dos materiais constitutivos, técnica de estruturação para formação do volume, bem como do ambiente de deposição (CURCIO; LIMA; GIAROLA, 2004, p. 21).

A classificação dentro do segundo nível – Móbilico - dá-se baseando em características de adição, decapitação e mobilização dos diferentes materiais constitutivos assim como técnicas e tempo de formação dos solos, restringindo-se ao mesmo:

Volumes constituídos por ação humana direta, depositados em camadas ou misturados, sobre solos que foram decapitados, utilizando-se de partes de outros solos ou do solo próprio local, admitindo a presença de fragmentos e/ou saprólitos de rochas (CURCIO; LIMA; GIAROLA, 2004, p. 27).

Figura 2. Localização da área de estudo com destaque para as área amostrais, em que: FF – Fragmento florestal; e AR – Área reabilitada.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2014).

### 3.4 COLETA E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

#### 3.4.1 Decomposição de celulose

Para a determinação da taxa de decomposição de celulose, optou-se por uma adaptação do método de Ghizelini (2005). Para tal foram utilizados retângulos de papel filtro qualitativo da marca Nalgon® (80 g/m<sup>2</sup>; 3μ) com dimensões 6 x 7 cm, e peso aproximado 1,2 (± 0,02) g, atuando como iscas para micro-organismos degradadores de celulose em substituição as iscas naturais (acículas de *Pinus taeda*) utilizadas pelo autor. A adaptação do método fez-se necessária devido ao período de duração do experimento, considerando que o papel filtro não é degradado tão rapidamente quanto iscas naturais (MUELLER; BILLS; FOSTER, 2004).

Os retângulos foram envolvidos em sacos de malha de nylon 120 fios/cm<sup>2</sup> (abertura aproximada 0,003 mm) funcionando como barreira seletiva para microrganismos a cada saco foram utilizados dois retângulos de papel filtro. Antes de serem levados a campo realizou-se a secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C durante 48h (LACERDA et al, 2009), seguida por pesagem em balança analítica. O material foi implantado a uma profundidade de  $\pm 15$  cm, sendo essa a faixa de profundidade que apresenta maior atividade de microrganismos aeróbios (HUNGRIA; ARAUJO, 1994; MOREIRA; HUISING; BIGNELL, 2010). Após coleta, os discos foram submetidos a lavagens sucessivas com água destilada estéril para a remoção de propágulos superficialmente aderidos (GHIZELINI, 2005) seguida por secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C até a obtenção de peso constante. Após secagem os discos foram novamente pesados em balança analítica.

### **3.4.2 Delineamento experimental e análise estatística**

O experimento foi realizado entre os meses de outubro de 2013 a abril de 2014, com início na estação da primavera do primeiro ano e término na estação de outono do segundo. A cada área amostral foram demarcadas seis parcelas medindo aproximadamente 4 x 5 metros, sendo implantados a cada, 20 discos de celulose (acima descritos) considerando distância mínima de 50 metros inter-parcelas (Figura 3 e; Figura 4).

No Fragmento florestal foram alocadas três parcelas na região de borda e três no interior, denominadas respectivamente: borda trilha (BT); borda estrada 1 e 2 (BE1 e BE2) e; interior 1, 2 e 3 (I1, I2 e I3) (Figura 4). Na área reabilitada as parcelas foram estabelecidas com no mínimo 50 metros perpendiculares em relação a estrada de acesso a área obedecendo distância mínima de 50 metros inter-parcelas, sendo denominadas: parcela 1 a 6 (P1, P2, P3, P4, P5 e P6). Após o período de 34, 84 e 166 dias, correspondentes a estação de primavera, verão e outono respectivamente foram recolhidos 5 retângulos de celulose de cada parcela amostral para ambas as áreas e levados a laboratório para realização dos procedimentos descritos no item 3.4.1. Os retângulos correspondentes ao último tempo amostral (280 dias) foram desconsiderados nos cálculos do presente experimento, no entanto serão mantidos em campo para posterior publicação dos dados.

Para descrever a perda de material celulósico entre as áreas amostrais ao longo de todos os tempos, utilizou-se o modelo de Decaimento Exponencial Simples (DES) (OLSON, 1963). O procedimento é descrito por Wieder e Lang (1982) como uma abordagem de

considerável valor para descrição da biologia do processo de decomposição de matéria orgânica. Segundo o autor a utilização do modelo se dá ao fato da possibilidade de caracterizar a perda de massa considerando todos os tempos utilizados no experimento através de uma única constante – a constante “ $k$ ”. A expressão do modelo se dá pela equação abaixo expressa, em que:  $X_0$  – massa inicial;  $X$  – massa remanescente no tempo  $t$  (expresso em anos);  $e$  – base do logaritmo natural;  $k$  – coeficiente da taxa de decomposição e; Plateau – taxa de decomposição sob tempo infinito.

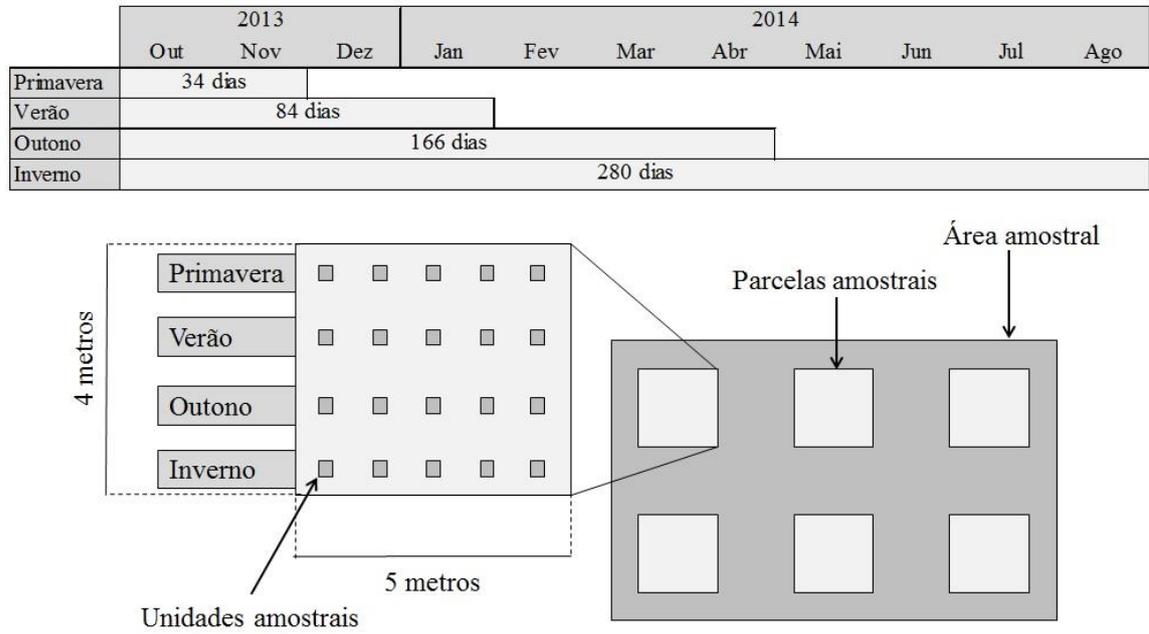
$$X = (X_0 - \text{Plateau})e^{(-kt)} + \text{Plateau}$$

Com base nestes dados foi calculada a meia vida do material com utilização da equação abaixo descrita, em que: MV – meia-vida;  $\ln$  – logaritmo natural e;  $k$  – coeficiente da taxa de decomposição.

$$MV = \ln(2) / k$$

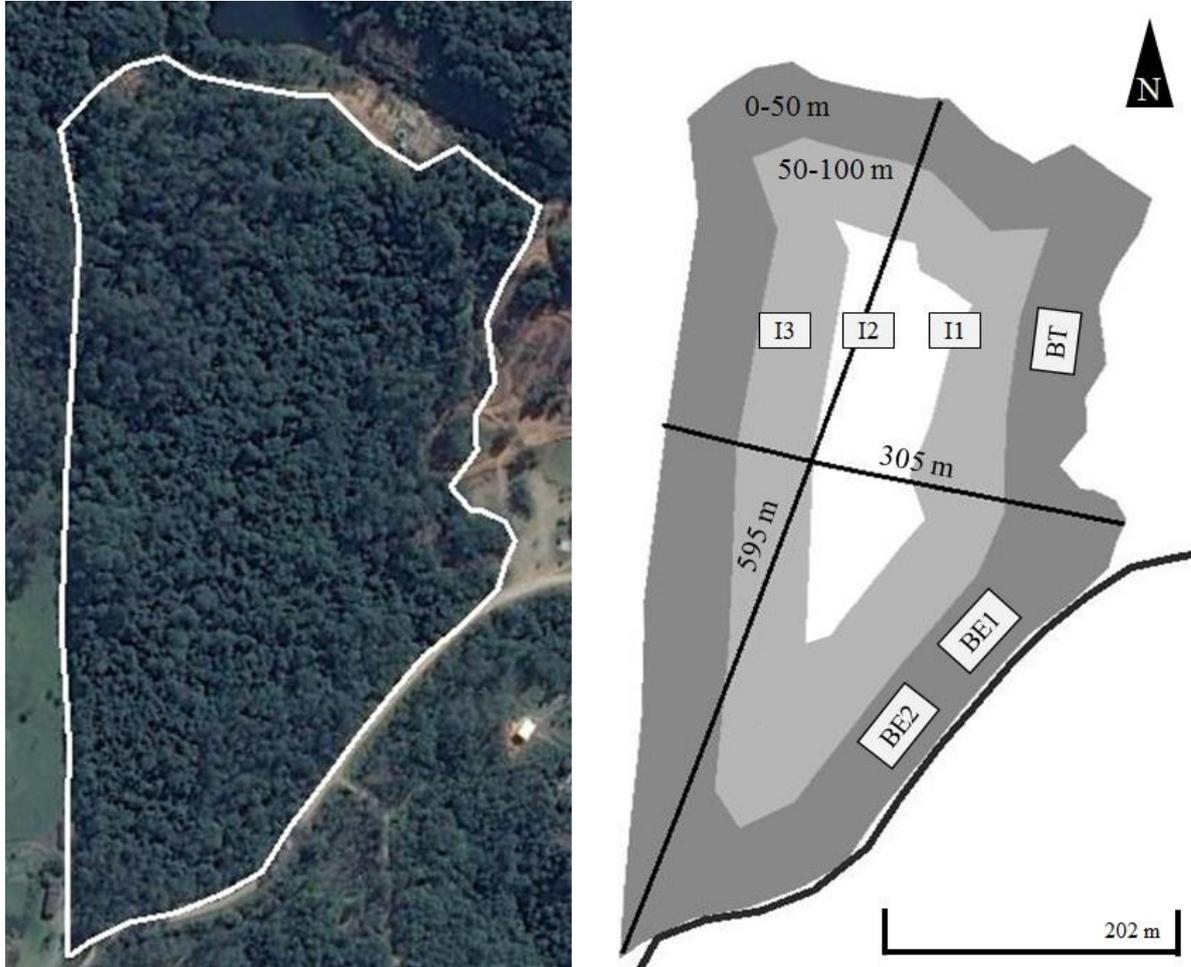
Para avaliar possíveis variações na taxa de decomposição de celulose entre áreas e parcelas dentro dos diferentes tempos amostrais, utilizou-se a Análise de Variância Hierárquica (Nested ANOVA), seguida pelo teste *post-hoc* de Bonferroni. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro-Wilk. Para ambas as análises os dados foram expressos em taxa de decomposição relativa. Para as análises estatísticas e elaboração dos gráficos foram utilizados os softwares Graph Pad Prism version 5.0 (GRAPHPAD, 2007) e SPSS versão 20.0 (IBM, 2011).

Figura 3. Esquemática da disposição dos discos de celulose nas diferentes parcelas e tempos amostrais utilizados no experimento.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 4. Mapa do Fragmento florestal demonstrando aproximação da área da borda do fragmento. Polígonos cinza escuro e cinza claro representam respectivamente 0-50 e 50-100 metros partindo-se do limite do fragmento. Retângulos exemplificam a localização das parcelas em que: borda trilha (BT); borda estrada 1 e 2 (BE1 e BE2) e; interior 1, 2 e 3 (I1, I2 e I3).



Fonte: Adaptado de Google Earth (2014).

## 4 RESULTADOS

A taxa de decomposição de celulose entre áreas ao longo das estações do ano está ilustrada na Figura 6, na qual não foi observada significância estatística na comparação entre áreas através de ANOVA ( $F_{(1;58)} = 3,32$ ;  $p = 0,0737$ ; Tabela 2), porém foi observada variação significativa entre unidades amostrais (retângulos de celulose; Figura 3) dentro das áreas estudadas ( $F_{(1;58)} = 1,84$ ;  $p = 0,0029$ ) sendo esse responsável por boa parte da variação ocorrida dentro da análise (18,25%) (Tabela 2), indicando heterogeneidade dentro das áreas amostrais.

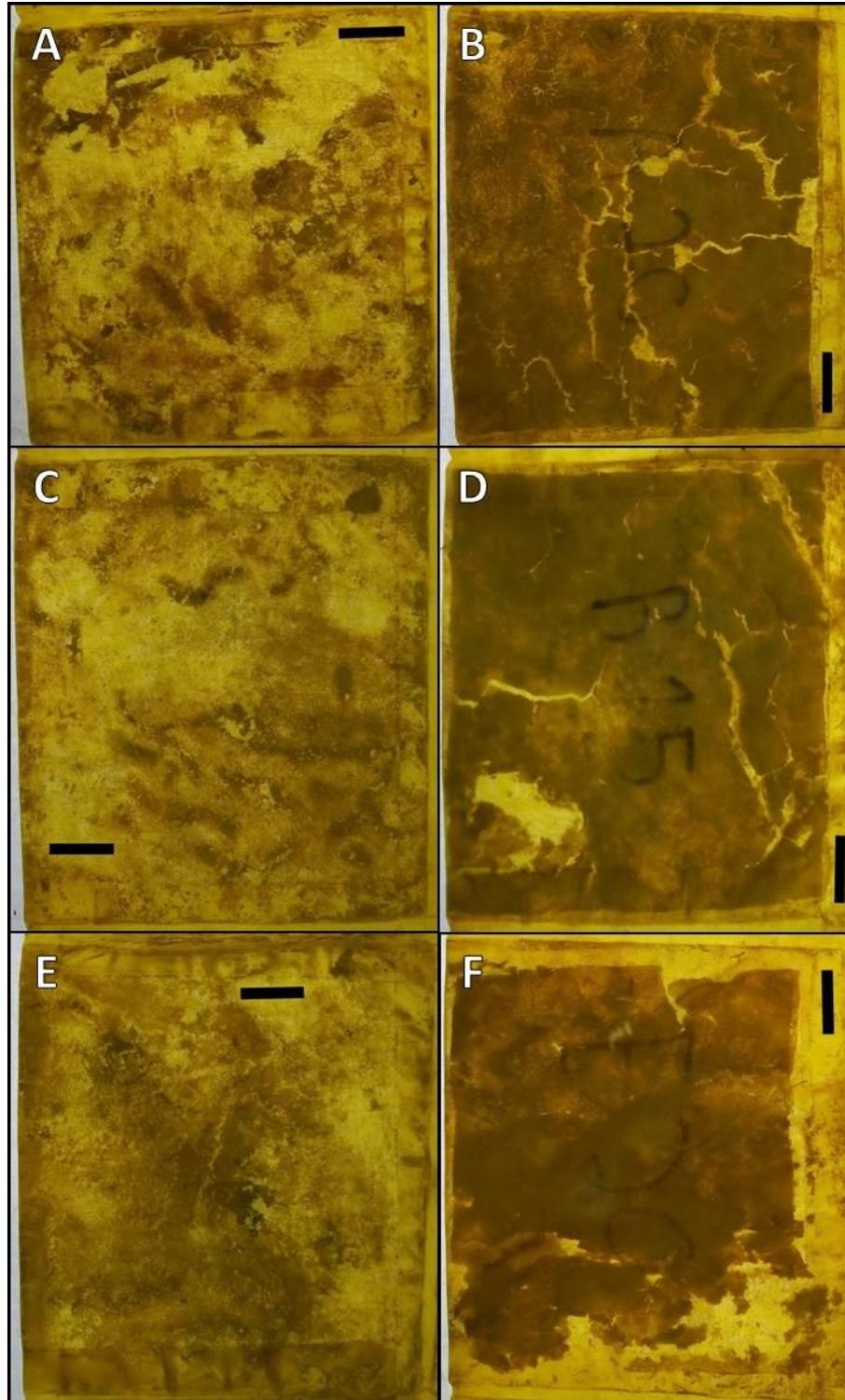
Analisando-se o processo de decomposição de celulose através do DES pôde-se detectar para a área reabilitada velocidade significativamente elevada na decomposição do material celulósico ( $F_{(1;216)} = 11,12$ ;  $p < 0,001$ ), apresentando-se cerca de 43,14% superior em relação ao fragmento florestal ( $k = 11,80 \text{ g.ano}^{-1}$ ;  $r^2 = 0,89$ ;  $k = 6,71 \text{ g.ano}^{-1}$ ;  $r^2 = 0,93$  respectivamente; Figura 6; Tabela 3).

No presente trabalho a meia-vida estipulada para decomposição dos discos de celulose na área reabilitada foi estabelecida em 21 dias (0,0587 anos) e sua massa ao final do experimento (plateau) estabilizou-se em 52,87 gramas enquanto para o fragmento florestal a meia vida aproximada foi de 38 dias (0,1062 anos) estabilizando-se em 44,94 gramas, diferenciando-se estatisticamente da área reabilitada (Tabela 3; Figura 5).

A taxa de decomposição de celulose entre parcelas do fragmento florestal está representada na Figura 7. No primeiro tempo amostral (34 dias) correspondente a estação da primavera as parcelas de interior 1 e 2 (I1 e I2) apresentaram menor taxa de decomposição de celulose em relação as parcelas BT e BE1 assim como em relação a parcela de interior de mata número 3 (I3) no entanto nenhuma das parcelas diferiu estatisticamente de BE2. No segundo tempo amostral (84 dias) correspondente a estação de verão apenas I2 diferiu de forma significativa das demais parcelas, mantendo sua taxa de decomposição de celulose inferior as demais parcelas, já no último tempo amostral (166 dias) não foi observada variação significativa entre parcelas amostrais, indicando a estabilização do processo de decomposição do material celulósico ( $F_{(5;24)} = 5,57$ ;  $p = 0,0015$ ; Tabela 4). Analisando-se os resultados através de DES foi observada variação significativa na velocidade de decomposição de celulose entre parcelas, no entanto não foi possível avaliar qual parcela foi responsável por tal alteração ( $F_{(5;100)} = 3,37$ ;  $p = 0,0074$ ; Tabela 4).

A taxa de decomposição de celulose entre parcelas amostrais para a área reabilitada está representada na Figura 8, na qual não foi observada variação significativa tanto na comparação através de ANOVA como para DES, indicando homogeneidade no processo de decomposição na área estudada ( $F_{(5;24)} = 0,98$ ;  $p = 0,4519$ ;  $F_{(5;91)} = 1,83$ ;  $p = 0,1157$  respectivamente; e Tabela 5).

Figura 5. Discos de celulose utilizados no experimento exibindo a quantidade de material remanescente dos discos de celulose expostos no fragmento florestal (A, C e E) e os discos expostos na área recuperada (B, D e F). Barras pretas = 1 cm.



Fonte: Acervo do autor.

Figura 6. Médias  $\pm$  desvio padrão (DP) da taxa de decomposição de celulose sob os diferentes tempos amostrais para o fragmento florestal e área reabilitada.

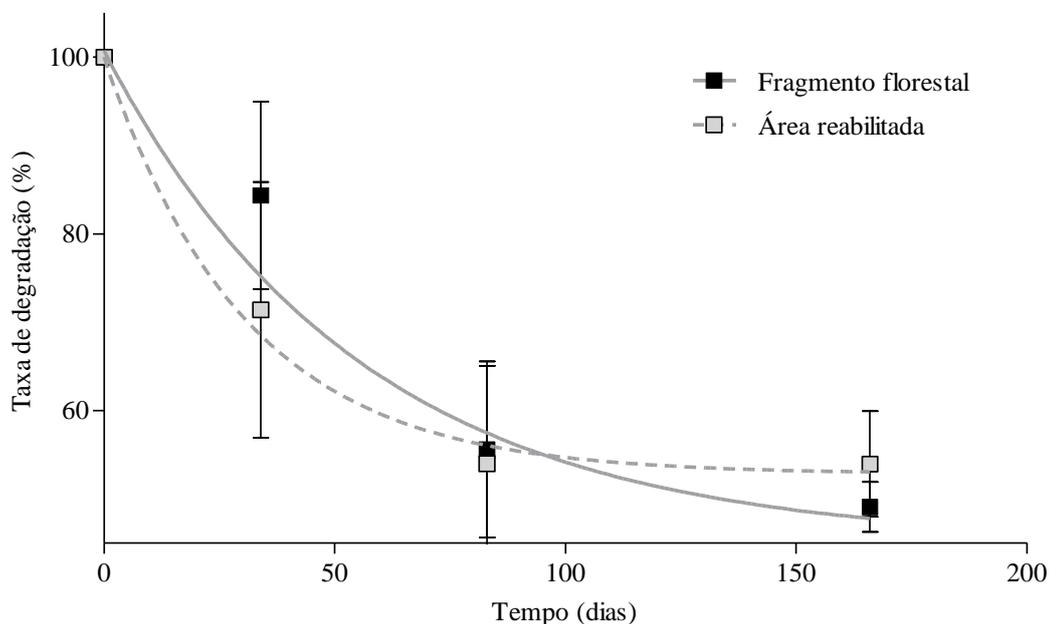


Tabela 2. Resumo dos resultados de ANOVA entre fragmento florestal e área reabilitada. \* indica significância estatística no efeito.

	Áreas (A)	* Tempo (T)	* A x T	* Sujeitos
F	3,32	161,80	15,90	1,84
p	0,0737	<0.0001	<0.0001	0,0029
% variação	1,04	55,40	5,45	18,25

Tabela 3. Resultados obtidos a partir do Decaimento Exponencial Simples (DES) para descrição da eficiência da decomposição de celulose entre fragmento florestal e área reabilitada. Dados indicados por valores de melhor ajuste seguido por DP entre parênteses quando apropriado.

Valores de melhor ajuste	Fragmento	Área reabilitada	Significância estatística para "k" e "plateau" entre áreas
Y0 (g)	100	100	
Plateau (g)	44,94 (1,69)	52,87 (1,21)	$F_{(1;216)} = 11,12; p < 0,001$
k (g.ano <sup>-1</sup> )	6,53 (0,59)	11,81 (1,21)	
Meia vida (anos)	0,106	0,059	
r <sup>2</sup>	0,929	0,885	

Figura 7. Médias da taxa de decomposição de celulose entre as diferentes parcelas amostrais do fragmento florestal, em que: borda trilha (BT); borda estrada 1 e 2 (BE1 e BE2) e; interior 1, 2 e 3 (I1, I2 e I3).

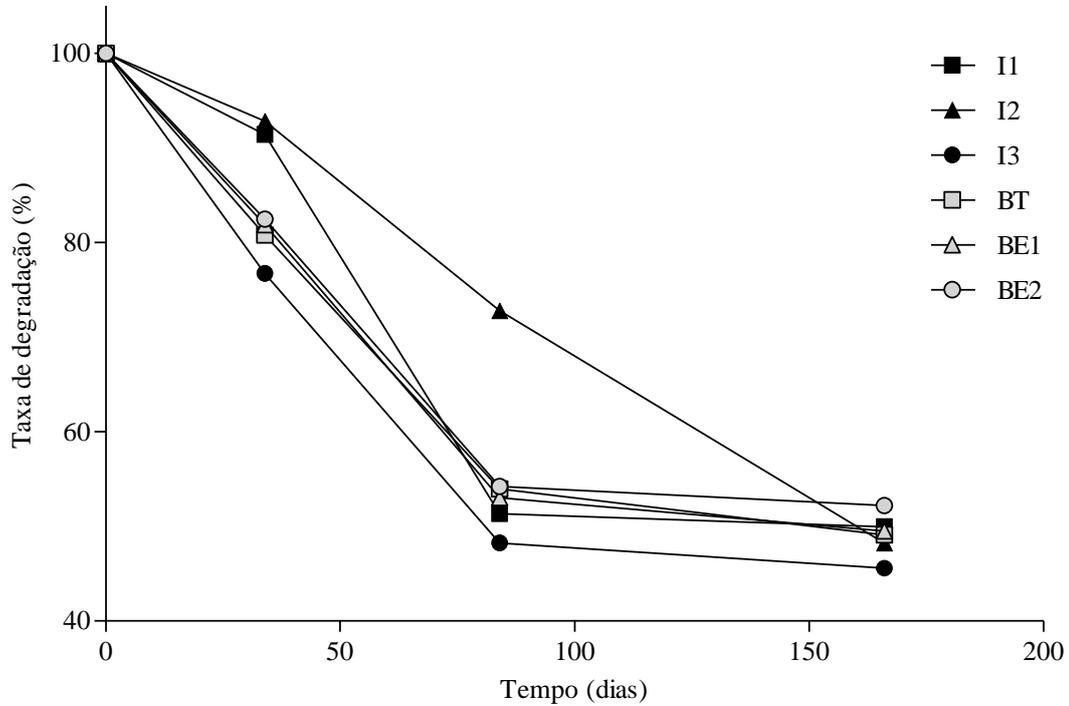


Tabela 4. Média  $\pm$  DP da taxa de decomposição de celulose e resumo dos resultados do DES entre parcelas do Fragmento florestal, em que: borda trilha (BT); borda estrada 1 e 2 (BE1 e BE2) e; interior 1, 2 e 3 (I1, I2 e I3). Letras diferentes representam diferença estatística entre parcelas do mesmo tempo amostral. ns = não significativo.

Área	Parcela	34 dias (Primavera)	84 dias (Verão)	166 dias (Outono)	k	Plateau	r <sup>2</sup>
Fragmento florestal	I1	8,59 ( $\pm$ 5,07) a	48,67 ( $\pm$ 2,63) b	50,03 ( $\pm$ 2,05) ns	4,44	37,77	0,88
	I2	7,16 ( $\pm$ 5,63) a	27,23 ( $\pm$ 12,79) a	51,76 ( $\pm$ 1,30) ns	0,99	-47,30	0,95
	I3	23,26 ( $\pm$ 6,89) b	51,76 ( $\pm$ 3,17) b	54,44 ( $\pm$ 0,39) ns	6,79	40,59	0,95
	BT	19,22 ( $\pm$ 15,78) b	46,04 ( $\pm$ 3,33) b	50,91 ( $\pm$ 1,18) ns	5,83	43,23	0,87
	BE1	18,10 ( $\pm$ 7,25) b	46,99 ( $\pm$ 6,74) b	50,50 ( $\pm$ 2,83) ns	5,81	43,16	0,92
	BE2	17,52 ( $\pm$ 12,74) ab	45,80 ( $\pm$ 3,10) b	47,80 ( $\pm$ 3,55) ns	7,29	48,44	0,92

Figura 8. Médias da taxa de decomposição de celulose entre as diferentes parcelas amostrais da área reabilitada, em que: parcela 1 a 6 (P1, P2, P3, P4, P5 e P6).

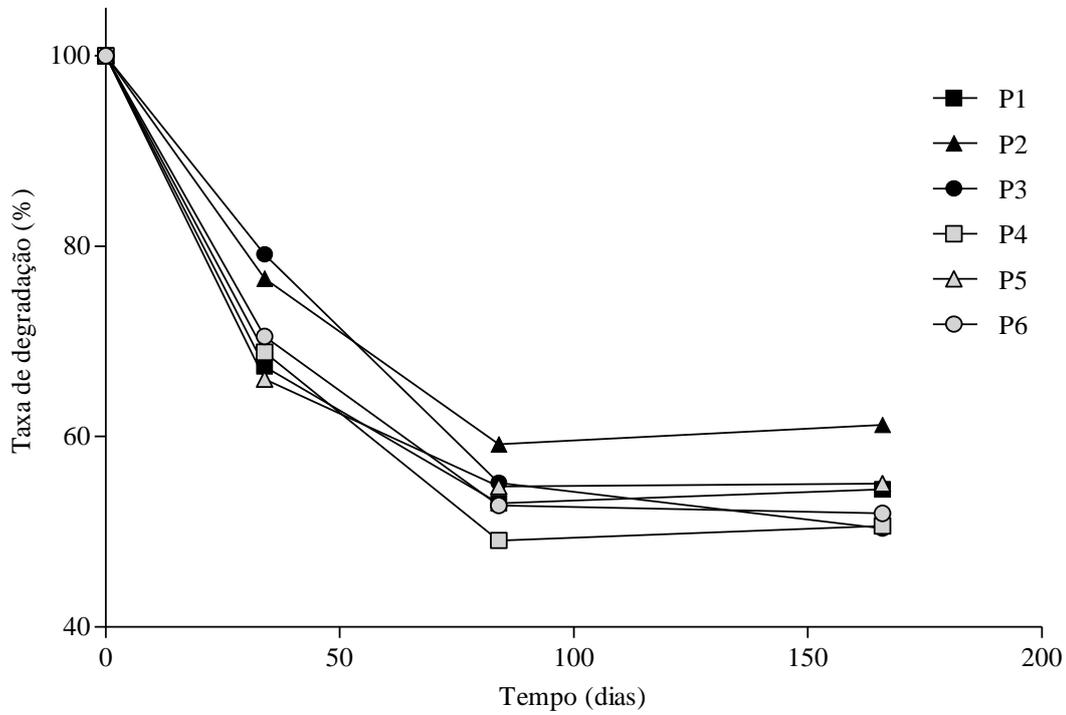


Tabela 5. Média  $\pm$  DP da taxa de decomposição de celulose e resumo dos resultados do DES entre parcelas da Área reabilitada, em que: parcela 1 a 6 (P1, P2, P3, P4, P5 e P6).

Área	Parcela	34 dias (Primavera)	84 dias (Verão)	166 dias (Outono)	k	Plateau	r <sup>2</sup>
Área reabilitada	P1	32,62 ( $\pm$ 6,30)	46,99 ( $\pm$ 1,20)	45,53 ( $\pm$ 4,46)	13,29	52,90	0,96
	P2	23,39 ( $\pm$ 21,36)	40,82 ( $\pm$ 10,89)	38,76 ( $\pm$ 8,60)	34,08	60,21	0,87
	P3	20,85 ( $\pm$ 14,69)	44,83 ( $\pm$ 6,47)	49,62 ( $\pm$ 2,63)	9,96	49,95	0,96
	P4	31,15 ( $\pm$ 16,60)	50,91 ( $\pm$ 24,44)	49,37 ( $\pm$ 1,56)	23,84	51,98	0,98
	P5	33,97 ( $\pm$ 10,90)	45,27 ( $\pm$ 4,66)	44,95 ( $\pm$ 5,91)	14,87	54,25	0,91
	P6	29,51 ( $\pm$ 15,48)	47,21 ( $\pm$ 5,91)	48,04 ( $\pm$ 4,14)	14,05	51,46	0,94

## 5 DISCUSSÕES

No presente trabalho foi observada velocidade de decomposição de celulose significativamente mais elevada na área reabilitada em comparação ao fragmento florestal. Para efeito de comparação, foram consideradas obras com medidas indiretas da taxa de decomposição como a quantificação de enzimas extracelulares do solo, representando esses, fatores determinantes da efetividade de tal processo (TAYLOR et al., 2002).

A produção de enzimas hidrolíticas em quantidades menos expressivas sob áreas de pastagem em comparação a áreas florestadas foi observada por Júnior e Melo (1999) em regiões tropicais, no qual o padrão observado na atividade da enzima celulase foi atribuído ao cultivo de gramíneas realizado na área, considerando que a alta densidade de radicelas pode levar a maior expressão da atividade microbiana na profundidade de zero a trinta centímetros.

O mesmo padrão foi observado por Tischer, Blagodatskaya e Hamer (2014) no potencial da atividade de várias enzimas do complexo hidrolítico como  $\alpha$  e  $\beta$ -glicosidase, celobiohidrolase, xilanases, quitinases e fosfatases, partindo-se de níveis mais elevados em área de pastagens à níveis inferiores em áreas de floresta natural, o mesmo gradiente foi observado em relação a abundância de bactérias gram-positivas, -negativas, actinomicetos e fungos.

Em relação a decomposição de celulose entre áreas amostrais, no presente trabalho foi observado que apesar da maior velocidade de decomposição de celulose apresentado na área reabilitada, o material remanescente ao final do experimento (plateau) foi significativamente mais elevada (Tabela 3; Figura 5; e Figura 6) indicando baixa efetividade na decomposição de materiais celulósicos.

A capacidade limitada de decompor celulose pode estar relacionada a deficiência de grupos funcionais de microrganismos do solo, considerando que a decomposição realizada por bactérias ocorre através da interação entre grupos de espécies, na qual espécies primárias atacam o polímero de celulose transformando em celobiose e glicose, na sequência as espécies denominada “satélites” assimilam o excesso de açúcar liberado pelos microrganismos primários (BAYER; SHOHAM; LAMED, 2013). Segundo o autor a ação da celulase é inibida pelo excesso de celobiose.

O próximo conjunto de resultados observados neste trabalho, refere-se ao efeito das áreas de borda do fragmento florestal sobre a taxa de decomposição dos discos de celulose. Para tal, foi observado que apenas a parcela I2 e inicialmente I1 foram capazes de

manter velocidade de decomposição do material celulósico reduzida, as demais parcelas apresentaram perfil de decomposição característico de regiões de borda de mata.

Aumento nas taxas de decomposição de matéria orgânica, produtividade, evapotranspiração e ciclagem de nutrientes, são relatados como alterações características de regiões de bordas de um fragmento e a dinâmica desses processos é determinada diretamente por variáveis microclimáticas como luminosidade, temperatura e incidência de ventos (HARPER et al., 2005).

Temperaturas mais elevadas, maior velocidade dos ventos e menor umidade relativa do ar caracterizam as áreas de borda de mata, essas alterações podem penetrar a grandes distâncias em direção ao interior do fragmento, tornando-o altamente susceptíveis as perturbações externas (POHLMAN; TURTON; GOOSEM, 2009; MULLER; BATAGHIN; SANTOS, 2010).

Devem ser considerados também os efeitos indiretos produzidos em resposta as alterações primárias acima citadas, como maiores taxas de recrutamento, crescimento, mortalidade e reprodução de plantas pioneiras, assim como alterações estruturais na comunidade vegetal como diminuição na cobertura dos estratos (dossel e sub-dossel) levando à potencialização dos efeitos primários (HARPER et al., 2005).

Essas alterações na composição vegetal pode afetar diretamente a composição da comunidade microbiana presente no solo, que por sua vez conduz ao aumento nas taxas decomposição de matéria orgânica (TRINDER; JOHNSON; ARTZ, 2009). Segundo os autores, fatores como estrutura das raízes e natureza físico-química das folhas presentes na serapilheira são os principais responsáveis pelas alterações nesses processos.

## 6 CONCLUSÃO

A utilização dos discos de celulose para avaliação da taxa de decomposição de matéria orgânica nas áreas estudadas se mostrou um método eficiente, considerando que o perfil do processo foi comparável a estudos realizados em áreas de pastagens e florestas nativas utilizando-se de diferentes parâmetros do solo como a quantificação de enzimas e presentes no solo e respirometria.

No fragmento florestal as parcelas de interior de mata número três e um (I3 e I1) inicialmente estabelecidas para avaliação do perfil de decomposição de celulose no interior do fragmento, apresentaram perfil semelhante a áreas de borda (decomposição mais expressiva), a única parcela que apresentou decomposição inferior até o final do experimento foi a parcela de interior número dois (I2), indicando que o fragmento apresenta-se sob pressão de fatores externos.

No presente trabalho foram utilizados dois modelos para análise do processo de decomposição de celulose, a análise de variância hierárquica e decaimento exponencial simples. Através do primeiro pode-se avaliar a significância da variação ocorrida entre e dentro (entre parcelas) nas diferentes áreas assim como a significância ou não dos demais efeitos, sendo esse importante para interpretação da variação dentro de cada estação, já através do segundo modelo foram estimados parâmetros como meia vida do material utilizado no experimento, plateau assim como a velocidade com que os discos são degradados. Tais parâmetros são importantes para planejamento de experimentos futuros, considerando-se que com base nestes dados pode-se estimar por exemplo a quantidade de material necessário para utilização do experimento.

Considerando que através da metodologia utilizada, foi possível refletir diferentes fenômenos em relação a alterações nos processos de decomposição de material orgânico já registrados na literatura para áreas de borda e áreas em estágios iniciais, o modelo pode ser considerado adequado para utilização no monitoramento ambiental.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, T-H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Alemanha, v. 98, p. 285–293, 2003.
- BALDOCK, J. A.; MASIELLO, C. A.; GÉLINAS, Y.; HEDGES, J. I. Cycling and composition of organic matter in terrestrial and marine ecosystems. **Marine Chemistry**, Australia, n. 92, p. 39-64, 2004.
- BALDRIAN, P. Interactions of heavy metals with white-rot fungi. **Enzyme and Microbial Technology**, Czech Republic, v. 32, p. 78–91, 2003.
- BAYER, E.; SHOHAM, Y.; LAMED, R. Lignocellulose-Decomposing Bacteria and Their Enzyme Systems. In: ROSENBERG, E.; DELONG, E.; LORY, S.; STACKEBRANDT, E.; THOMPSON, F. **The Prokaryotes**. Springer Berlin Heidelberg, p. 215-266, 2013.
- BIAN, Z.; INYANG, H.; DANIELS, J.; OTTO F.; STRUTHERS, S. Environmental issues from coal mining and their solutions. **Mining Science and Technology**, China, v.20, p. 215–223, 2010.
- BOER, A. W.; FOLMAN, A. L. B.; SUMMERBELL, B. R. C.; BODDY, L. Living in a fungal world: impact of fungi on soil bacterial niche development. **FEMS Microbiology Reviews**, Netherlands, v. 29, p. 795–811, 2005.
- CADENASSO, M. L.; PICKETT, S. T. A.; WEATHERS, K. C.; JONES, C. G. A framework for a theory of ecological boundaries. **BioScience**, Uberlândia, v. 53, n. 8, p. 750-758, 2003.
- CITADINI-ZANETTE, V.; BOFF, V. P. **Levantamento florístico em áreas mineradas a céu aberto na região carbonífera de Santa Catarina, Brasil**, Florianópolis, SC: FEPEMA / IOESC, 1992, 160 p.
- CURCIO, G. R.; LIMA, V. C.; GIAROLA, N. F. B. **Antropossolos: Proposta de Ordem** (1ª aproximação), Colombo, Embrapa Florestas, 2004, 49 p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF, 3 ed., 2013, 353 p.
- EPAGRI. **Dados e informações biofísicas da Unidade de Planejamento Regional Litoral Sul Catarinense – UPR 8**. 2001.
- FERRAZ, A. L. Fungos decompositores de materiais lignocelulósicos. In: ESPOSITO, E.; AZEVEDO, J. L. **Fungos: uma introdução a biologia bioquímica e biotecnologia**, Caxias do Sul, EDUCS, 2004, 510 p.
- FILHO, N. O. H. Setorização da Província Costeira de Santa Catarina em base aos aspectos geológicos, geomorfológicos e geográficos. **Geosul**, Florianópolis, v. 18, n. 35, p. 71-98, 2003.
- GHIZELINI, A. M. **Sucessão de fungos em acículas de Pinus taeda em decomposição**. Dissertação (Mestrado), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005, 61 p.

GIVIZZO, L. B.; VIDOR, C.; TEDESCO, M. J. Recuperação de áreas utilizadas para depósitos de rejeitos de minas de carvão. In: **Carvão e Meio Ambiente**. Centro de Ecologia, UFRGS, Porto Alegre, Ed. Universidade, 2000, 1006 p.

GRAPHPAD Softwares, **GraphPad Prism for windows**, Version 5.0, San Diego, California, 2007.

GRIFFIN, D.M. A comparison of the roles of bacteria and fungi: Bacterial Activities in Perspective. In: *Bacteria in Nature*. **Academic Press**, Londres, v. 1, p. 221–255, 1985.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, Costa Rica, v. 148, p. 185-206, 2001.

HAMMEL, K. E.; KAPICH, A. N.; JENSEN, K. A.; RYAN, Z. C. Reactive oxygen species as agents of wood decay by fungi. **Enzyme and Microbial Technology**, Madisom, v. 30, p. 445–453, 2002.

HARPER, K. A.; MACDONALD, S. E.; BURTON, P. J.; CHEN, J.; BROSOFSKE, K. D.; SAUNDERS, S. C.; EUSKIRCHEN, E. S.; ROBERTS, D. A. R.; JAITEH, M. S.; ESSEEN, P.-A. Edge Influence on Forest Structure and Composition in Fragmented Landscapes. **Conservation Biology**, Montreal, v. 19, n. 3, p. 768-782, 2005.

HUNGRIA, M; ARAUJO, R. S. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília, Embrapa, 1994, 542 p.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**: Manuais técnicos em geociências. 2 ed., Rio de Janeiro, 2012, 271 p.

IBGE. **Manual técnico de pedologia**: Manuais técnicos em geociências. 2 ed., Rio de Janeiro, 2007, 316 p.

IBM Corp. **IBM SPSS Statistics for Windows**, Version 20.0, Armonk, New York, 2011.

IPAT/UNESC. **Diagnóstico ambiental Campo Morozini**. Relatório Técnico, Criciúma, 2003, 221 p.

\_\_\_\_\_. **Programa de monitoramento do projeto de recuperação ambiental campo Morozini**. Relatório Técnico, Criciúma, 2011, 220 p.

\_\_\_\_\_. **Programa de monitoramento do projeto de recuperação ambiental campo Morozini**. Relatório Técnico, Criciúma, 2013, 267 p.

\_\_\_\_\_. **Projeto de reabilitação ambiental de áreas degradadas do campo Morozini**. Relatório Técnico. Criciúma, 2009, 157 p.

JAROSZ-WILKOLAZKA, A.; GADD, G. M. Oxalate production by wood-rotting fungi growing in toxic metal-amended medium. **Chemosphere**, Lubllin, v. 52, p. 541–547, 2003.

JENSEN, K. A.; HOUTMAN, C. J.; RYAN, Z. C.; HAMMEL, K. E. Pathways for Extracellular Fenton Chemistry in the Brown Rot Basidiomycete *Gloeophyllum trabeum*. **Applied and Environmental Microbiology**, Madison, v. 67, n. 6, p. 2705–2711, 2001.

JUNIOR, M. M.; MELO, J. W. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **R. Bras. Ci. Solo**. São Paulo, v. 23, p. 257-263, 1999.

KAUL, P. F. T. Geologia. In: **IBGE Geografia do Brasil: Região do Sul**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro. p. 29–54, 1990.

KRAEPELIN, G.; COOKE, R. C.; RAYNER, A. D. M. Ecology of Saprotrophic Fungi. **Journal of Basic Microbiology**, Netherlands, v. 25, p. 502-502, 1985.

KREBS, A. S. J. **Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC**. Tese (Doutorado), Florianópolis: UFSC, 2004, 375 p.

LACERDA, M. J. R.; FREITAS, K. R.; SILVA, J. W. Determinação da matéria seca de forrageiras pelos métodos de microondas e convencional. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 3, p. 185-190, 2009.

LINGNER, D. V.; SCHORN, L. A.; VIBRANS, A. C.; MEYER, L.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L.; SOBRAL, M. G.; KRUGER, A.; KLEMS, G.; SCHMIDT, R.; JUNIOR, C. A. Fitossociologia do component arbóreo/arbustivo da Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina. In: VIBRANS, A. C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A. L.; LINGNER, D. V. **Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina: Floresta Ombrófila Densa**. Blumenau, EDIFURB. v. 4, 2013, 576 p.

LYND, L. R.; WEIMER, P. J.; VAN ZYL, W. H.; PRETORIUS, I. S. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. **Microbiol. Mol. Biol. Rev**, Hanover, v. 66, p. 506–577, 2002.

MARTÍNEZ, A. T.; RUIZ-DUEÑAS, F. J.; MARTÍNEZ, M. J.; DEL RÍO, J. C.; GUTIÉRREZ, A. Enzymatic delignification of plant cell wall: from nature to mill. **Current Opinion in Biotechnology**, Madrid, v. 20, n. 3, p. 348-357, 2009.

MARTÍNEZ, A.T.; SPERANZA, M.; RUIZ-DUENÑAS, F.J.; FERREIRA, P.; CAMARERO, S.; GUILLÉN, F.; MARTÍNEZ, M. J.; GUTIÉRREZ, A.; DEL-RÍO, J. C. Biodegradation of lignocellulosics: microbiological, chemical and enzymatic aspects of fungal attack to lignin. **Int. Microbiol**, Madrid, v. 8, p. 195-204, 2005.

MOREIRA, F. M. S.; HUISING, J.; BIGNELL, D. E. **Manual de Biologia dos Solos Tropicais: Amostragem e Caracterização da Biodiversidade**. 1 ed., Editora UFLA, Lavras, v. 1, 2010, 368 p.

MUELLER, G. M.; BILLS, G. F.; FOSTER, M. S. **Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods**. Amsterdam, Boston Elsevier Academic Press, 2004, 777 p.

MULLER, A.; BATAGHIN, F. A.; SANTOS, S. C. Efeito de borda sobre a comunidade arbórea em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, Rio Grande do Sul. **Perspectiva**, Erechim, v. 34, n. 125, p. 29-39, 2010.

OLSON, J. S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. **Ecology**, Tennessee, v. 44, p. 322-331, 1963.

PANKRATOV, T. A.; IVANOVA, A. O.; DEDYSH, S. N.; LIESACK, W. Bacterial populations and environmental factors controlling cellulose degradation in an acidic Sphagnum peat. **Environmental Microbiology**, v. 13, n. 7, p. 1800–1814, 2011.

POHLMAN, C. L.; TURTON, S. M.; GOOSEM, M. Temporal variation in microclimatic edge effects near powerlines, highways and streams in Australian tropical rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, Cairns, v. 149, p. 84–95, 2009.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, São Paulo, v. 142, p. 1141–1153, 2009.

RICHARDS, A. E.; DALAL, R. C.; SCHMIDT, S. Carbon storage in a Ferrisol under subtropical rainforest, tree plantations, and pasture is linked to soil aggregation. **Australian Journal of Soil Research**, v. 47, p. 341–350, 2009.

RITSCHKOFF, A. C. Decay mechanisms of brown-rot fungi. **Technical Research Centre of Finland**, Espoo, v. 268, 1996, 38 p.

RITZ, K.; DIOHTON, I.; GILLER, K. E. **Beyond the Biomass Compositional and functional analysis of soil microbial communities**. Chichester. 1994. 275 p.

ROMANI, A. M.; FISCHER, H.; MILLE-LINDBLOM, C.; TRANVIK, L. J. Interactions of bacteria and fungi on decomposing litter: differential extracellular enzyme activities. **Ecology**, Girona, v. 87, n. 10, p. 2559-2569, 2006.

SALOMONS, W. Environmental impact of metals derived from mining activities: processes, predictions, prevention. **J. Geochem. Explor**, Geesthacht, v. 52, p. 5-23, 1995.

SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**, Porto Alegre, Editora Genesis, 1999, 508 p.

SILVA, A. J. P.; LOPES, R. C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. CPRM, Brasília, p. 55-85, 2003.

SILVA, L. F. O.; OLIVEIRA, M. L. S.; DA BOIT, K. M.; FINKELMAN, R. B. Characterization of Santa Catarina (Brazil) coal with respect to human health and environmental concerns. **Environmental Geochemistry and Health**, Espanha, v. 31, p. 475-485, 2009.

TAYLOR, J. P.; WILSON, M.; MILLS, S.; BURNS, R. G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 34, p. 387-401, 2002.

TEIXEIRA, M. B., A. B. COURA NETO, U. PASTORE & A. L. R. RANGEL FILHO. Vegetação. In: **Levantamento de recursos naturais**. IBGE, Rio de Janeiro, v. 33, p. 541-632, 1986.

TISCHER, A.; BLAGODATSKAYA, E.; HAMER, U. Extracellular enzyme activities in a tropical mountain rainforest region of southern Ecuador affected by low soil P status and land-use change. **Applied Soil Ecology**, Thrarandt, v. 74, n. 0, p. 1-11, 2014.

TRINDER, C. J.; JOHNSON, D.; ARTZ, R. R. E. Litter type, but not plant cover, regulates initial litter decomposition and fungal community structure in a recolonising cutover peatland. **Soil Biology & Biochemistry**, Aberdeen v. 41, p. 651–655, 2009.

WIEDER, R.K., LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags, **Ecology**, Virginia, v. 63, n. 6, p. 1636-1642, 1982.

ZOCHE, J. J.; LEFFA, D. D.; DAMIANI, A. P.; CARVALHO, F.; MENDONÇA, R. A.; Dos SANTOS, C. E. I.; BOUFLEUR, L. A.; DIAS, J. F.; De ANDRADE, V. M. Heavy metals and DNA damage in blood cells of insectivore bats in coal mining areas of Catarinense Coal Basin, Brazil. **Environmental Research**, Brasil, v. 110, p. 684-691, 2010.