

LUCIA HELENA BAGGIO MARTINS

**ATRIBUTOS EDÁFICOS DO GRADIENTE DE DECLIVIDADE
EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALTO-MONTANA,
NO PLANALTO CATARINENSE**

Tese apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Doutor no
Curso de Pós-graduação em Manejo do
Solo da Universidade do Estado de Santa –
UDESC.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

**LAGES, SC
2015**

M386a

Martins, Lucia Helena Baggio

Atributos edáficos do gradiente de
declividade em floresta ombrófila mista alto-
montana, no Planalto Catarinense / Lucia Helena
Baggio Martins. - Lages, 2015.

123 p. : il. ; 21 cm

Orientador: Álvaro Luiz Mafra

Inclui bibliografia.

Tese (doutorado) - Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveteinárias, Programa de Pós-Graduação em
Manejo do Solo, Lages, 2015.

1. Floresta. 2. Gradiente ambiental. 3.
Carbono orgânico. I. Martins, Lucia Helena
Baggio. II. Mafra, Álvaro Luiz. III. Universidade
do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Manejo do Solo. IV. Título

CDD: 631.4 - 20.ed.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do
CAV/UDESC

LUCIA HELENA BAGGIO MARTINS

**ATRIBUTOS EDÁFICOS DO GRADIENTE DE DECLIVIDADE
EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALTO-MONTANA,
NO PLANALTO CATARINENSE**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Banca Examinadora:

Orientador: _____
Professor Dr. Álvaro Luiz Mafra
Universidade do Estado de Santa Catarina/CAV

Membro: _____
Professor Dr. Fabrício Tondello Barbosa
Universidade do Estado de Santa Catarina/CAV

Membro: _____
Professor Dr. Julio Cesar Pires Santos/CAV
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____
Professor Dr. Marcelo Callegari Scipioni
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos

Membro: _____
Pesquisador Dr. Tássio Dresch Rech
EPAGRI, Lages

Lages, março de 2015

“É nosso dever proteger o maior patrimônio nacional, porque a nação que destrói o seu solo destrói a si mesma.”

Theodore Roosevelt

AGRADECIMENTOS

Várias contribuições foram importantes para a elaboração deste trabalho. Todas foram importantes.

À UDESC, CNPq e CAPES pelos recursos disponibilizados e a FAPESC pelo apoio financeiro, ao Projeto nº TR20120000020.

Ao meu orientador, Álvaro Luis Mafra, que acreditou na possibilidade deste estudo. Pelas orientações e participação em todas as etapas, definindo o sucesso deste trabalho. Meu reconhecimento pela confiança e apoio incondicional.

Ao professor Raul Silvestre responsável pelo projeto e parceiro das atividades de campo.

Ao professor Pedro Higuchi pelo apoio e empenho para a melhoria deste trabalho.

Aos professores do Programa que contribuíram com minha formação.

Aos professores da banca pelas sugestões que enriqueceram o trabalho.

Ao professor Julio Cesar Pires Santos, que disponibilizou sua propriedade.

Professor Carlos Andres Ferrero por compartilhar seu conhecimento.

Aos funcionários das Secretarias de Pós-graduação e demais setores que se mostraram sempre disponíveis ao longo destes anos.

Aos colegas de curso pelo acolhimento.

Ao Eliseu companheiro que sempre incentivou e apoiou minhas atividades, pelo carinho, compreensão, apoio, auxílio e presença em todos os momentos.

À minha amada filha Gabriela, pelo entendimento da necessidade de muita dedicação ao estudo.

Ao meu irmão Carlos pela ajuda e colaboração que permitiu atingir o objetivo final.

Aos bolsistas Amanda Lemos Miguel, Amanda Zolet Rigo e Augusto Friederichs que dispuseram do seu tempo.

Ao Pedro Boff pela indicação ao orientador.

A todos aqueles que mesmo não tendo seus nomes aqui mencionados, auxiliaram de alguma forma para a realização deste estudo. Pelo apoio, muito obrigada.

RESUMO

Ecossistemas alto-montanos têm sido destacados pela funcionalidade ambiental, podendo suprir serviços ecossistêmicos, devido à elevada capacidade de armazenamento de água e carbono, além do endemismo de espécies. Do ponto de vista edáfico, essas regiões se destacam pela menor taxa de decomposição da matéria orgânica e predomínio de solos pouco desenvolvidos e ácidos, com alta capacidade de estoques de carbono. Nestes, a variabilidade de solo e atributos relacionados à camada superficial, como ciclagem de carbono e nutrientes e dinâmica da água é condicionada pelo relevo. Associado a essas características, em função do relevo ondulado, os ecossistemas alto-montanos apresentam baixa resiliência e fragilidade as intervenções antrópicas não planejadas. Os objetivos do trabalho foram: caracterizar relevo e morfologia do solo, relacionados à drenagem e ao teor de carbono orgânico total; caracterizar os atributos físicos e químicos do solo em função do gradiente de declividade e caracterizar os teores e frações do carbono orgânico do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, no município de Urupema – SC. Este trabalho e foi apresentado em três capítulos, sendo o primeiro abordando relações entre relevo, morfologia e teores de carbono orgânico do solo, o segundo caracterizando atributos físicos e químicos do solo e o terceiro analisando teores e frações do carbono orgânico do solo em gradiente de relevo em áreas de floresta nativa. Os solos foram amostrados em quatro transectos, subdivididos em parcelas de 10 m x 20 m, totalizando 55 parcelas. Para as análises químicas e físicas o solo foi coletado nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm. Os atributos avaliados foram altitude, declividade, drenagem, profundidade, pedregosidade e cor do solo, no horizonte superficial. As

análises químicas foram pH em CaCl_2 , acidez extraível (Al^{+3} e H^+), cátions trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+), fósforo disponível e carbono orgânico total (COT). A soma de bases trocáveis (S) e capacidade de troca catiônica (CTC) foram calculadas. Foi determinada a fração do carbono particulado (COP) e a fração associada aos minerais (COAM), calculada pela diferença entre o COT e o COP. As análises físicas foram macro e microporosidade, porosidade total e resistência à penetração do solo. As frações huminas (H), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) foram analisadas apenas na camada de 0 a 10 cm. Foram calculadas as relações C ácido húmico e C ácido fúlvico (C-AH/C-AF) e, C do extrato alcalino ($\text{C-EA} = \text{C ácido fúlvico} + \text{C ácido húmico}$) com o C da fração humina (C-EA/CH). Para estimar a serapilheira foram coletadas amostras compostas em cada parcela. As relações entre as variáveis foram determinadas pela análise de componentes principais (ACP). Os solos estudados ocorrem predominantemente em relevo ondulado. Essa condição justifica a ocorrência de solos rasos, com afloramentos de rocha. Os solos mais rasos foram enquadrados como Neossolos Litólicos Distróficos. Os solos nas cotas mais elevadas, menos declivosas e com boa drenagem apresentaram mais COT e foram classificados como Cambissolos Húmicos Distróficos. Os solos das áreas de maior altitude, em topografia mais plana são menos ácidos e tem baixa fertilidade, quando comparados com os solos localizados em topografia mais inclinada, com menor altitude e maior profundidade. Os Cambissolos são mais férteis apresentam maior teor de COT e serapilheira. Além disso, apresentaram predomínio de humina, indicando maior humificação da matéria orgânica, o que denota a influencia das condições climáticas, altitude, topografia e vegetação na dinâmica do carbono orgânico total.

Palavras-chave: Floresta. Gradiente ambiental. Carbono orgânico.

ABSTRACT

Upper montane ecosystems have been highlighted by environmental functionality, supplying ecosystem services due to its high capacity of water and carbon storage besides the endemism of species. From the edaphic perspective, these regions stand out for lower decomposition rate of organic material and the predominance of less developed and acid soils with high capacity of carbon storage. Its soil variability and properties related to the upper layer as carbon and nutrients cycling and water dynamics are related to the slope. Associated with these characteristics, according to the steep slope, upper montane ecosystems show lower resilience and fragility to unplanned human interventions. The objectives of this research was: to characterize slope and morphology of the soil related to drainage and total organic carbon content; to describe physical and chemical properties of the soil according to slope gradient and contents and fractions of soil organic carbon, in a fragment of upper montane mixed-rain forest, in Urupema – SC. This research is presented in three chapters; firstly, presents relationship between slope, soil morphology and organic carbon contents; secondly, characterizes soil physical and chemical properties; and finally, analyzes contents and fractions of soil organic carbon in slope gradient under native forest areas. Soil was sampled into four transects across the slope, subdivided in plots of 10 m x 20 m, amounting 55 plots. The evaluated attributes were altitude, slope, drainage, depth, stoniness and soil color, in surface horizon. For the chemical analysis were determined pH in CaCl_2 , extracting acidity (Al^{+3} e H^+), exchangeable cations (Ca^{+2} , Mg^{+2} and K^+), available phosphorus and total organic carbon (TOC). The sum of exchangeable bases (SB) and cation exchange capacity (CEC) were calculated. The particulate fraction of carbon (POC) was

determined and the fraction associated to minerals (COAM), was calculated by the difference between TOC and COP. Physical analysis were macro, micro and total porosity and soil resistance to penetration. The analysis of humin fractions (H), humic acid (HA), fulvic acids (FA) was performed in the layer 0 to 10 cm. It was calculated the relation among humin fractions, C humic acid and C fulvic acid (FAH-C/ C-FAF) and, the C alkaline extract (AE-C = C+C fulvic acid humic acid) with C from humin fraction (C-EA/ C-HUM). To evaluate the litterfall, composed litter samples from each plot of the four transect were collected. Relations among variables were determined through principal compounds analysis (PCA). The studied soils mainly occurred under steep slope areas, and that condition justifies the occurrence of rocky and shallow soils. Thinner soils were classified as Humic Lithic Dystrudept. Soils from higher altitudes with lower slope and better drainage showed higher TOC values, being classified as Humic Dystrudept. Soils from higher areas, with lower slope have lower acidity level and fertility when compared with soils under steep slope condition, lower altitude and moderately deep soil profile. The Humic Dystrudept are more fertile, showed high organic carbon content and had more litter quantity. They presented predominance of humin, indicating greater organic material humification, so reflecting the influence of weather conditions, altitude, slope and vegetation on total organic carbon dynamics.

Keywords: Forest. Environmental gradient. Organic carbon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Área do estudo com destaque para a distribuição dos transectos, no município de Urupema-SC	42
Figura 2 -	Representação da localização dos pontos de coleta de solo nas parcelas.	42
Figura 3 -	Representação das variáveis altitude, profundidade e pedregosidade no perfil dos transectos 1 e 2	46
Figura 4 -	Representação das variáveis altitude, profundidade e pedregosidade no perfil dos transectos 3 e 4	47
Figura 5 -	Distribuição dos solos na análise de componentes principais (ACP), considerando a altitude, profundidade, pedregosidade, declividade, drenagem das parcelas, carbono orgânico total (COT) e cor do solo, na camada de 0 a 10 cm	53
Figura 6 -	Perfil dos transectos com relação a altitude das parcelas	69
Figura 7 -	Representação da localização dos pontos de coleta de solo nas parcelas	69
Figura 8 -	Distribuição dos solos em uma análise de componentes principais (ACP), considerando o carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM), pH CaCl ₂ , alumínio (Al), soma de bases trocáveis (S), fósforo (P), areia, silte, argila, profundidade, altitude e declividade, na profundidade de 0 A 10 cm	81

Figura 9-	Distribuição dos solos em uma análise de componentes principais (PCA), considerando o carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM), pH CaCl ₂ , alumínio (Al), soma de bases trocáveis (S), capacidade de troca de cátions (CTC), fósforo (P), areia, silte, argila, profundidade, altitude e declividade, na profundidade de 10 a 30 cm	83
Figura 10 -	Distribuição dos solos em uma análise de componentes principais (PCA), considerando o carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM), pH CaCl ₂ , alumínio (Al), soma de bases trocáveis (S), capacidade de troca de cátions (CTC), fósforo (P), areia, silte, argila, profundidade, altitude e declividade, na profundidade de 30 a 50 cm	85
Figura 11-	Perfil das parcelas em relação à altitude	100
Figura 12 -	Representação da localização dos pontos de coleta de solo nas parcelas.....	101
Figura 13	Distribuição dos solos em uma análise de componentes principais (ACP), considerando o carbono orgânico total (COT), huminas (H), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), além da profundidade, altitude, declividade e serapilheira, na camada de 0 a 10 cm	108

Figura 14	Distribuição dos solos 1, 2, 3 e 4 em uma análise de componentes principais (ACP), considerando carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), além da profundidade, altitude e declividade, na camada de 10 a 30 cm	110
Figura 15	Distribuição solos em uma análise de componente principal (PCPCA), considerando carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), além da profundidade, altitude e declividade, na camada de 30 a 50 cm	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva das variáveis ambientais altitude, profundidade, pedregosidade, declividade e carbono orgânico total (COT)....	45
Tabela 2 - Médias dos atributos químicos no Cambissolo Húmico e no Neossolo Litólico, nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm	73
Tabela 3 - Médias das frações areia, silte e argila no Cambissolo Húmico e no Neossolo Litólico nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50cm	78
Tabela 4 - Médias dos atributos físicos do Cambissolo Húmico e do Neossolo Litólico nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50cm	79
Tabela 5 - Resultados médios do carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono associado aos minerais (COAM), nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e de 30 a 50 cm no Cambissolo Húmico e do Neossolo Litólico	104
Tabela 6 - Resultados médios do carbono orgânico total (COT), carbono das frações humina (H), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), soma substâncias húmicas (HFH) e índices das relações AH/AF e AHAF/H, na profundidade de 0 a 10 cm, no Cambissolo Húmico e do Neossolo Litólico	106

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
2	REVISÃO DE LITERATURA	30
3	RELEVO, MORFOLOGIA E TEORES DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALTO-MONTANA, NO PLANALTO CATARINENSE	36
	RESUMO	36
	ABSTRACT	37
3.1	INTRODUÇÃO	38
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	41
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
3.3.1	Relevo e morfologia do solo	45
3.3.2	Análise de componentes principais	52
3.4	CONCLUSÃO	54
3.5	REFERÊNCIAS	55
4	ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM GRADIENTE DE RELEVO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALTO-MONTANA, NO PLANALTO CATARINENSE	60
	RESUMO	60
	ABSTRACT	62
4.1	INTRODUÇÃO	63
4.2	MATERIAL E MÉTODOS	68
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.3.1	Atributos químicos do solo	72
4.3.2	Atributos físicos do solo	77
4.3.3	Análise de componentes principais	80
4.4	CONCLUSÃO	86
4.5	REFERÊNCIAS	87

5	TEORES E FRAÇÕES DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM GRADIENTE DE RELEVO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALTO-MONTANA, NO PLANALTO CATARINENSE	94
	RESUMO	94
	ABSTRACT	96
5.1	INTRODUÇÃO	97
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	99
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	103
5.3.1	Carbono orgânico total e frações	104
5.3.2	Análise de componentes principais	107
5.4	CONCLUSÃO	112
5.5	REFERÊNCIAS	116
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
	REFERÊNCIAS	120

1. INTRODUÇÃO

Atualmente os estudos de solos vêm sendo associados com a necessidade de cuidados ambientais, sob o ponto de vista que informações sobre este recurso natural são necessárias para evitar ou minimizar danos ambientais.

Ecossistemas alto-montanos se destacam pela funcionalidade ambiental, podendo suprir serviços ecossistêmicos, devido à elevada capacidade de armazenamento de água e carbono, além de suportar elevada biodiversidade, com várias espécies endêmicas de animais e vegetais. Entretanto, a compreensão do papel dos solos em ambientes alto-montanos do Brasil é limitada e, como consequência, a sua importância ainda não é devidamente reconhecida.

Na região situada no Planalto Catarinense, os ambientes alto-montanos são caracterizados pelas baixas temperaturas e condição nebulosa, destacando-se em termos de distribuição geográfica regional. Muitas áreas nesta região situam-se acima de 1.000 m, com vegetação constituída por campos nativos intercaladas com Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana. Essa formação vegetal é associada às nascentes de rios de grande porte, como o Canoas e o Pelotas.

O manejo tradicional neste ambiente tem se caracterizado pelo corte seletivo de espécies florestais nativas, uso do fogo, pastejo por bovinos em criação extensiva e, mais recentemente, pelo avanço do plantio de espécies florestais exóticas como o pinus. Mas, apesar da região ter sido alvo da extração de madeira nativa em décadas passadas, esses ambientes ainda apresentam remanescentes bem conservados que podem servir de referência para estudos integrados sobre o potencial natural desses recursos.

Do ponto de vista edáfico, essas regiões mais frias e úmidas, se destacam pela menor taxa de decomposição da matéria orgânica e pelo predomínio de solos pouco

desenvolvidos e ácidos, com alta capacidade de estoques de carbono. Nestes ambientes, a variabilidade de solo e atributos relacionados à camada superficial do terreno, como ciclagem de carbono e nutrientes, além da dinâmica da água é condicionada pelas mudanças no relevo.

Considerando especificidades como estas, estudar as características edáficas para compreensão dos processos reguladores dos ecossistemas alto-montanos, além de ser uma premissa fundamental para a definição de práticas adequadas de uso e manejo do solo, pode contribuir para o entendimento das mudanças nos fluxos de carbono nestes ambientes, assim como dos fatores que influenciam sua distribuição. A melhor compreensão dos processos que ocorrem no solo pode subsidiar o planejamento e a execução de estratégias de conservação da diversidade biológica e da qualidade ambiental, assim como, pautar ações para o desenvolvimento social e econômico da região.

Pelo exposto, a hipótese levantada neste estudo é a de que o relevo da área, em ambiente de floresta alto-montana, influencia o desenvolvimento do solo e sua composição química, em especial, na capacidade de acumular carbono.

Os objetivos do presente estudo foram:

Analisar os atributos físicos e químicos do solo e quantificar os teores de carbono orgânico e suas frações no solo, relacionando-os com o gradiente de declividade em topossequências de solos.

Para atender aos objetivos, o presente estudo é apresentado na forma de artigos, sendo estes:

- Relevo, morfologia e teores de carbono orgânico do solo em Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, no Planalto Catarinense.

- Atributos físicos e químicos do solo em gradiente de relevo em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, no Planalto Catarinense.

- Teores e frações do carbono orgânico do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, no Planalto Catarinense.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A Floresta Ombrófila Mista se distribui no Planalto Meridional e em refúgios localizados nas serras do Mar e da Mantiqueira, embora, em tempos passados, tenha se expandido até mais ao norte do país (IBGE, 2012). De acordo com os dados do IBGE (2012), a Floresta Ombrófila Mista, pode ser subdividida nas seguintes subformações: aluvial, submontana, em áreas com altitudes inferiores a 500 m, montana, com altitude entre 500 a 1.000 m, e alto-montana, com altitudes superiores a 1.000 m. Essa classificação atribuída em função da altitude e do regime de inundação em áreas próximas de cursos de água. Os ambientes alto-montanos recebem um aporte adicional de água e apresentam maior retenção hídrica devido a pouca incidência da radiação solar e a baixa taxa de evapotranspiração (SCHEER, 2010).

As modificações no relevo e no solo, em uma região, geram um mosaico de heterogeneidade de porções de hábitat, que constituem uma paisagem local (PUCHALSKI, 2004). Nas cotas mais elevadas do Planalto Catarinense, os ecossistemas alto-montanos, diferente de outras formações, ocorrem de forma disjunta, separados por vales, planaltos e bacias, levando ao isolamento geográfico de populações, o que resultou em uma flora com um dos maiores índices de endemismo (BENITES, MADARI e MACHADO, 2003). Seguindo este padrão, a Floresta Ombrófila Mista encontra-se interrompida em alguns pontos por manchas de campos naturais, as quais se mostram como remanescentes das alterações climáticas ocorridas durante o período Quaternário (BEHLING et al., 2009). No Planalto Catarinense, os campos subtropicais ocorrem predominantemente formando manchas em meio ao domínio da Floresta Ombrófila Mista, também denominada Mata de Araucárias (TESKE, 2010).

Ecossistemas alto-montanos apresentam grande variedade de espécies endêmicas e restritas, mas com

distribuição significativamente reduzida, devido à raridade geográfica e a fatores tais como o pequeno tamanho populacional, ausência ou redução de polinizadores e/ou dispersores e competição, associados aos impactos antropogênicos, os quais podem tornar várias espécies suscetíveis à extinção (MARTINS-RAMOS et al., 2011). Nesses ambientes há ocorrência de diversas zonas de vegetação com especificidades ecológicas e pedológicas, que regulam o funcionamento do ecossistema, a evolução e a sobrevivência de espécies (DIAS et al., 2003). Scipioni et al. (2012) ao estudar espécies arbóreas e relacioná-las com compartimentos geomorfológicos e pedológicos num gradiente topográfico, concluíram que a encosta superior difere dos demais compartimentos pela presença de solos bem drenados e com capacidade de troca de cátions (CTC) mais elevada. Os mesmos autores expõem que o conhecimento sobre o solo e relevo são fatores importantes para avaliar grupos florísticos em situações locais, pois o clima nessas situações é uma variável que não interfere fortemente sobre a mudança da vegetação. Também, para Higuchi et al. (2013), a interferência de variáveis topográficas, características físicas do solo e da cobertura do dossel sobre a estrutura do componente arbóreo são constadas na região sudeste e sul do Brasil, indicando que este é um padrão compartilhado em fragmentos florestais do domínio atlântico.

Ao estudar a fertilidade do solo de uma Floresta Estacional Semidecidual Submontana em três gradientes topográficos, Godinho et al. (2013) concluíram que o solo das baixadas são mais férteis e menos ácidos, devido ao acúmulo de sedimentos provenientes das partes elevadas do relevo. Esses autores, também apontam que as relações entre atributos do solo e relevo resultam de complexa inter-relação, envolvendo características químicas e físicas do solo, já que a inclinação do terreno influencia as taxas de escoamento

superficial das águas da chuva e os processos de erosão do solo.

O relevo associado à cobertura vegetal regula a infiltração e o escoamento superficial das águas e a pedogênese de solos com características físicas, químicas, hídricas e biológicas diferenciadas. Neste sentido, Potes et al. (2010) ao estudarem, sobre estoques de carbono na região dos Campos de Cima da Serra, no nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, constataram que o baixo grau de humificação está ligado a fatores como relevo acidentado, solo rasos e afloramento de rochas. Assim, ecossistemas alto-montanos são ambientes singulares que apresentam alto potencial de retenção hídrica e fixação de carbono, onde as baixas temperaturas reduzem a taxa de decomposição da biomassa no solo e promovem o maior acúmulo de matéria orgânica, a qual se relaciona com a maioria dos atributos do solo. Em solos de Floresta Ombrófila Densa a matéria orgânica está protegida e em contínua ciclagem devido a não perturbação do solo (RUTHNER e SEVEGNANI, 2012).

O solo, em relação ao clima, geologia e a outros fatores ambientais, é considerado o melhor estratificador de ambientes (RESENDE, LAN e REZENDE, 2002), pois seus atributos resultam de condições ambientais como o relevo, quantidade e fluxos de água e materiais de origem, com reflexos na expressão da vegetação nativa e funcionamento dos ecossistemas (CAMPOS et al., 2010). Solos de áreas alto-montanas exercem um importante fator de controle da vegetação, mesmo com sua pouca espessura (BENITES, MADARI e MACHADO, 2003). Conforme Scheer, Curcio e Roderjan (2011), Neossolos Litólicos hísticos (≤ 20 cm) associados a Organossolos Fólicos, mesmo com poucos centímetros de espessura podem dar suporte a florestas alto-montanas, porém de pequeno porte, com altas densidades e baixas áreas basais. Para Vashchenko et al (2013) a ocorrência de solos rasos com exposição de rochas está relacionada com a

posição, declividade e altos índices pluviométricos, frequentes nas regiões montanhosas. Além disso, esses autores também consideram que há elevada relação entre os solos e o tipo de vegetação.

Os diferentes tipos de solo oferecem uma diversidade de bases para os ecossistemas terrestres, pois é neste que ocorrem diversos processos ecológicos, tais como, a decomposição e a ciclagem de nutrientes (PUCHALSKI, 2004). O solo, como sistema aberto, é o elemento mais típico da paisagem por resultar da interação de variáveis físicas interdependentes que são a cobertura vegetal, relevo, clima e idade das superfícies e, que distinguem as diversas regiões ou paisagens naturais do globo (SILVA e MANFRON, 2014). Os solos serão diferentes, com potenciais distintos sempre que um ou mais fatores forem alterados (FLORES, GARRASTAZU e ALBA, 2009). Assim, o solo resulta das condições de equilíbrio do meio, geralmente diferentes daquelas que condicionaram sua gênese, e apresenta variabilidade espacial (LEPSCH, 2002), pois o solo e suas propriedades são decorrentes da ação integrada do clima e dos organismos, atuando sobre o material de origem e condicionado pelo relevo, num determinado tempo (REICHERT et al., 2009).

Os usos dos ecossistemas alto-montanos apresenta baixo potencial de ocupação, de produção agropecuária e de exploração madeireira, de maneira geral devido a sua localização em áreas de difícil acesso. Tal situação propiciou a existência de áreas significativas ainda em excelente estado de conservação (SCHEER, 2010). No entanto, muitos remanescentes vêm sendo alterados pela introdução de espécies exóticas, exploração de madeira e de recursos não madeiráveis, queimadas utilizadas nas atividades agrícolas e silviculturais, turismo desordenado, extração de plantas ornamentais e medicinais, caça, mineração, construção de estradas e instalação de torres de telecomunicação (SCHEER e MOCOCHINSKI, 2009). Além do uso da mata pela atividade

pecuária, nos meses de inverno. Para Martins-Ramos et al. (2011), a Floresta Ombrófila Mista vem sendo reduzida e fragmentada em virtude da exploração madeireira, expansão agropecuária, construção de estradas e hidrelétricas. Neste sentido, cita a espécie *Araucaria angustifolia*, incluída na Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção de 2008 (MARTINS-RAMOS et al., 2011). A exploração da floresta de araucária, nas décadas de 1940 a 1970, alavancou o desenvolvimento nas regiões do sul do Brasil, mas ocorreu de forma predatória, nos diferentes pontos de vista social, econômico e ecológico (PUCHALSKI, 2004). Como agravante da degradação desses ecossistemas se destaca a sua baixa resiliência (SCHEER e MOCOCHINSKI, 2009), especialmente pelo uso de práticas de manejo inadequadas, quando o solo fica exposto indevidamente a processos erosivos.

As florestas proporcionam benefícios ao solo, uma vez que reduzem a compactação e a erosão, mediante a atenuação progressiva do impacto das gotas de chuva, em virtude da existência de vários extratos na vegetação e da manta orgânica formada sobre o solo, interferindo também na ciclagem de nutrientes, de carbono e nas condições hídricas do solo (PASSOS e COUTO, 1997). A ciclagem é identificada como a responsável pela maior concentração de certos elementos nos horizontes superficiais do solo. Em florestas tropicais, este processo mantém os nutrientes disponíveis às plantas. Se removida à cobertura vegetal os nutrientes podem ser rapidamente lixiviados ou perdidos por erosão (SILVA e MANFRON, 2013). A forma como a floresta se regenera depende de mecanismos que viabilizem o ingresso e o estabelecimento de novos indivíduos e espécies. Neste sentido, o conhecimento das exigências, assim como as características ambientais em que ocorrem, oferece subsídios importantes para a compreensão do comportamento das espécies e dos ecossistemas florestais (SCHEER e MOCOCHINSKI, 2009).

Portanto, a compreensão da relação solo/planta, nos ecossistemas alto-montanos, pode ajudar na elaboração de estratégias que visem à conservação e o manejo de espécies (PUCHALSKI, 2004).

3 RELEVO, MORFOLOGIA E TEORES DE CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALTO-MONTANA, NO PLANALTO CATARINENSE

RESUMO

A funcionalidade de ecossistemas alto-montanos é relacionada ao papel da vegetação e do solo na manutenção da biodiversidade, no estoque de carbono, assim como, na regulação de fluxos hídricos, aspectos que justificam os estudos para a sua conservação. Assim, o objetivo do trabalho foi caracterizar relevo e morfologia do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, em Urupema-SC, relacionados à drenagem e ao teor de carbono orgânico total. O solo foi amostrado em quatro transectos transversais à encosta, subdivididos em parcelas contíguas de 10 m x 20 m, totalizando 55 parcelas. Os atributos avaliados foram altitude, declividade, drenagem, profundidade, pedregosidade, cor do solo e teor de carbono orgânico total (COT). Os solos estudados ocorrem predominantemente em relevo ondulado. Essa condição de relevo justifica a ocorrência de solos rasos, com afloramentos de rocha. Os solos mais rasos foram enquadrados como Neossolos Litólicos Distróficos. Estes solos ocorrem nas cotas mais elevadas com menor declividade e melhor drenagem, apresentando maiores teores de COT. Os solos mais profundos ocorreram nas menores cotas, em áreas mais declivosas, apresentaram menor teor de COT e foram classificados como Cambissolos Húmicos Distróficos.

Palavras-chave: Mata Atlântica. Gradiente ambiental. Solos.

ABSTRACT

The functionality of upper montane ecosystems is related to the role soil and vegetation in maintaining biodiversity, carbon storage, and regulation of water flow; those aspects justify researches on their conservation. The objective of this study was to characterize slope gradient and soil morphology using a fragment from upper montane mixed-rain forest in Southern Brazil, related to drainage and organic carbon content. Soil samples were collected in four transects across the slope and subdivided into plots of 10 m x 20 m, amounting 55 plots. Altitude, slope, drainage, stoniness, soil color and total organic carbon (TOC) were the evaluated variables. These soils are under steep slope areas, and that condition justifies the occurrence of rocky and shallow soils. Shallower soils were classified as Humic Lithic Dystrudept. Soils in higher altitudes occurred in low slope surfaces and have better drainage with higher TOC values, being classified as Humic Dystrudept.

Keywords: Atlantic Forest. Environmental gradient. Forest soils.

3.1 INTRODUÇÃO

A manutenção da integridade dos ecossistemas alto-montanos é fundamental para a melhoria na qualidade e disponibilidade de água, estabilização dos solos em encostas íngremes e conservação da biodiversidade (KOEHLER e GALVÃO e LONGHI, 2002). Além disso, se reconhece o potencial desses ambientes servirem como áreas para o monitoramento de mudanças climáticas regionais/globais devido à sua susceptibilidade e fragilidade (SCHEER et al., 2011).

A intervenção e o uso dos ecossistemas alto-montanos pode ser limitada em algumas áreas pelo difícil acesso. Entretanto, muitos remanescentes vêm sendo alterados pela introdução de espécies exóticas, exploração de madeira e de recursos não madeiráveis, queimadas utilizadas nas atividades agrícolas e silviculturais, turismo desordenado, extração de plantas ornamentais e medicinais, caça, mineração, construção de estradas e instalação de torres de telecomunicação (SCHEER e MOCOCHINSKI, 2009).

Como agravante da degradação desses ecossistemas se destaca a sua baixa resiliência (SCHEER e MOCOCHINSKI, 2009), especialmente pelo uso de práticas de manejo inadequadas, quando o solo fica exposto a processos erosivos. A proporção na qual os processos erosivos se desencadeiam, depende, dentre outros fatores, de características do relevo, já que o mesmo define a conformação das bacias hidrográficas (PISSARRA, POLITANO e FERRAUDO, 2004). Estudo desses autores sobre as características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo em microbacias hidrográficas do Córrego Rico (Jaboticabal-SP), evidencia que das diversas características, a densidade de drenagem e a amplitude altimétrica foram as variáveis com maior peso na diferenciação das microbacias entre as unidades de solos.

Vashchenko et al. (2013) caracterizaram e classificaram solos e vegetação, assim como, correlacionaram com a declividade, altitude, geologia e posição no relevo, para posterior avaliação da erosão no Parque Estadual Pico do Marumbi-PR, concluíram que a altitude e a declividade definem os solos e a vegetação conforme a posição no relevo, sendo que o aumento da altitude define o acúmulo da matéria orgânica e o aumento da declividade determina a perda de sedimentos.

Scheer, Curcio e Roderjan (2011), ao estudar os solos de campos alto-montanos e da Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana na Serra da Igreja no Paraná, estimaram seus potenciais de estocar C e água e concluíram que solos de ambiente alto-montano são pouco desenvolvidos devido às perdas por erosão superarem a taxa de formação do solo. Quando há predomínio dos processos de erosão em detrimento aos processos de formação e desenvolvimento dos solos, os mesmos são classificados como jovens, pouco desenvolvidos, com pequena evolução de perfil, onde muitas vezes o horizonte A está assentado diretamente sobre o horizonte C. Assim, tais solos apresentam velocidade da erosão igual ou maior que a velocidade de transformação da rocha em solo (OLIVEIRA, 2006). Esses solos apresentam baixa densidade, maior macroporosidade e boa aeração do solo, que explicam a permeabilidade elevada dos horizontes superficiais. Além disso, em relevos mais declivosos a geração de espaços vazios entre o solo e a rocha abaixo, resultantes de árvores que envelhecem e se curvam, promovem melhor drenagem e aeração. Neste sentido, Scheer, Curcio e Roderjan (2011), consideraram que a maior disponibilidade de água em solos com teores elevados de matéria orgânica resulta da estrutura do solo e não da água retida no material orgânico. Quanto à matéria orgânica, Dias et al. (2013) concluíram que solos altimontanos, em função dos atributos químicos, físicos, mineralógicos e micropedológicos, no Parque Estadual do

Ibitipoca, em Minas Gerais, apresentam condições pedoambientais restritivas à sua decomposição. A matéria orgânica está associada à cor do e possibilita inferências sobre os atributos físicos, químicos, biológicos e reflete características mineralógicas básicas, que podem refletir a história biogeoquímica.

Considerando a hipótese de que a altitude e a declividade definem os solos de acordo com a posição no relevo, o objetivo deste estudo foi caracterizar o relevo e a morfologia do solo em Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, além da determinação dos teores de COT. Buscou-se dessa maneira contribuir para compreensão da capacidade de suporte de solos em ecossistemas alto-montanos do Brasil.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em área localizada no município de Urupema – SC, com altitude entre 1419 e 1489 m, entre as coordenadas geográficas 27° 57' 39'' a 27° 58' 64'' latitude Sul, e 49° 50' 66'' a 49° 50' 55'' longitude Oeste.

O clima da região é do tipo Cfb, pela classificação climática de Köppen, mesotérmico úmido com chuvas bem distribuídas durante o ano e precipitação média anual de 1.789 mm. Conforme dados do IBGE (2012), a temperatura média anual é de 13°C. A geomorfologia é composta pelas unidades Planalto de Lages, Planícies Fluviais e Serra Geral. Assim, os solos são desenvolvidos a partir de rochas efusivas ácidas da Formação Serra Geral, com ocorrência de riolitos e riodacitos. Com predomínio de Neossolos Litólicos Distróficos A proeminente, textura argilosa, relevo ondulado e forte ondulado e Cambissolo Álico Tb A húmico, de textura argilosa em relevo ondulado. A vegetação é de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, em condição de relevo forte ondulado a ondulado, intercalada por campos naturais e áreas úmidas em relevo plano a suave ondulado (IBGE, 2012).

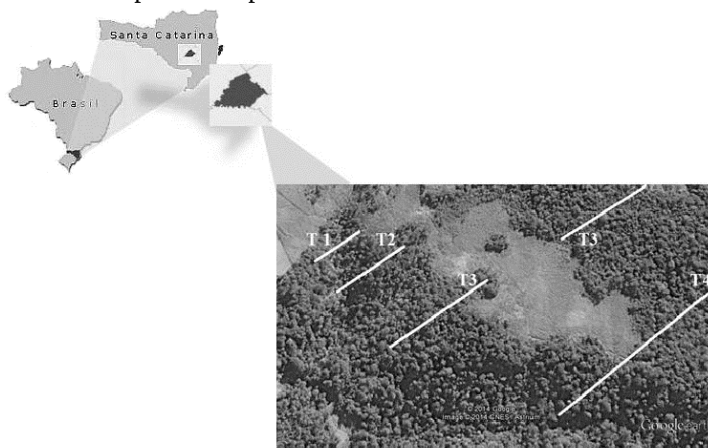
A caracterização dos solos em gradientes de drenagem foi realizada em quatro transectos (T1, T2, T3 e T4), dispostos de forma transversal à encosta (Figura 1).

Os transectos foram divididos em parcelas contíguas de 10 x 20 m (200 m²), para acompanhamento do gradiente de declividade, totalizando 55 unidades amostrais em uma área de 11.000m². Cada parcela foi demarcada em campo, com canos de PVC, no centro e nas quatro extremidades. As 55 parcelas foram distribuídas da seguinte forma: sete no transecto um; nove transecto dois; dezoito no transecto três e vinte e uma no transecto quatro.

O solo foi coletado nas profundidades de 0 a 10, constituindo três amostras por parcela. Cada amostra composta

foi obtida pela mistura e homogeneização do solo coletado em nove pontos da parcela (Figura 2).

Figura 1. Área do estudo com destaque para a localização dos transectos, no município de Urupema-SC.



Fonte: Adaptado Google Earth. Acesso em: 20 mai. 2012.

Figura 2. Representação da localização dos pontos de coleta de solo nas parcelas.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Fonte: do próprio autor, 2015.

Para a caracterização do relevo e morfologia dos solos foi determinada a altitude no ponto médio de cada parcela, calculada a declividade e avaliada a profundidade, pedregosidade, drenagem e cor. O levantamento topográfico em cada parcela foi realizado com uso de trena, bússola,

clinômetro e GPS de precisão da marca Ashtech, modelo ProMark 2, que possibilitou a definição das seguintes variáveis do terreno: cota média (m), desnível máximo (m) e declividade média (m). A cota média foi ponderada como a média das cotas dos quatro vértices de cada parcela. O desnível máximo correspondeu a maior distância vertical entre os vértices das parcelas. A declividade média foi calculada por meio da média simples das declividades de cada parcela.

No momento da coleta das amostras, a profundidade efetiva do solo foi medida por meio de tradagens, considerando as somas dos horizontes A e B do solo, ou até a presença de alguma camada de impedimento, com rocha ou material de alteração consolidado. Também, foram avaliadas as condições de drenagem e de pedregosidade do solo, conforme critérios de Santos et al. (2005). Esses autores definem oito classes drenagem, excessivamente, fortemente, acentuadamente, bem, moderadamente, imperfeitamente, mal e muito mal drenado. E, seis classes de pedregosidade, que são: não pedregosa, ligeiramente, moderadamente, pedregosa, muito e extremamente pedregosa.

A cor da amostra úmida, da profundidade de 0 a 10 cm, coletada em anel volumétrico tipo Kopecky, foi determinada conforme Carta de cores de Munsell para solos (MUNSELL, 1975).

O carbono orgânico total foi determinado pelo método de oxidação úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico e titulado com solução padrão de sulfato ferroso (TEDESCO et al., 1995).

As relações entre as variáveis altitude, profundidade, pedregosidade, declividade, drenagem, teor de carbono total e cor, foram avaliadas por meio da análise de componentes principais (ACP). Para a ACP as parcelas foram agrupadas como solo 1 e solo 2. Para tanto, levou-se em consideração o levantamento florístico, realizado concomitantemente a este trabalho, que identificou dois grupos florísticos na área. O

primeiro com predomínio da espécie indicadora *Dicksonia sellowiana* (xaxim), correspondente ao grupo solo 1 (Cambissolo Húmico Distrófico) e, o segundo sem espécie indicadora correspondente ao grupo solo 2 (Neossolo Litólico Distrófico). Para inclusão da cor do solo na ACP, atribuíram-se valores escalonados, onde os maiores valores foram atribuídos aos solos mais escuros. O método multivariado utilizado considera a correlação entre as variáveis analisadas e visa à redução de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais (SOUZA et al., 2007). Para verificar se os componentes explicaram de forma significativa os gradientes ambientais encontrados foi realizada análise por meio do *Scree plot*. As análises multivariadas foram realizadas por meio do R (R Development Core, 2014), junto com a biblioteca Vegan (OKSANEN et al., 2012).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Relevo e morfologia do solo

A área estudada apresenta relevo classificado como montanhoso a suave ondulado, com altitudes entre 1419 a 1489 m acima do nível do mar. Sendo assim, enquadrada como ambiente alto-montano, cuja formação inclui tipologias de vegetação que ocorrem acima de 1000 m, como a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias (VELOSO, RANGEL e LIMA, 1991).

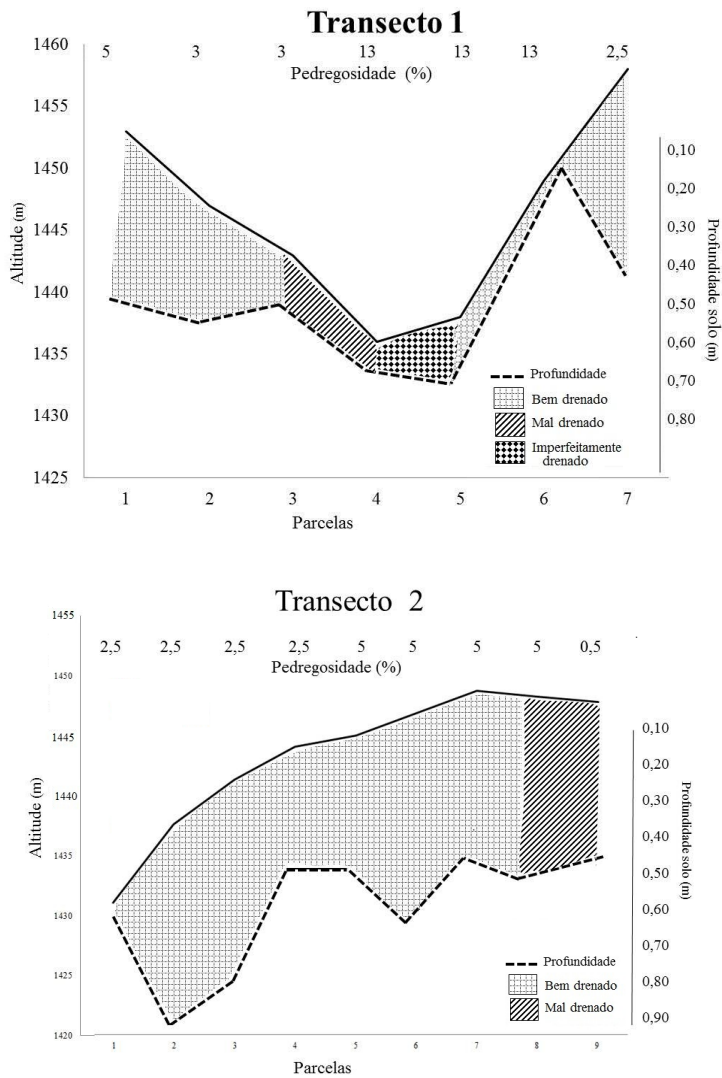
As parcelas em Cambissolo Húmico Distrófico apresentaram maior profundidade e declividade (Tabela 1 e Figuras 3 e 4). As parcelas em Neossolos Litólicos Distrófico (solo 2) são mais rasas, mais pedregosas e com alto teor de COT. Portanto, de acordo com a figura 2 e 3, estes parâmetros edáficos não ocorreram de forma espacialmente homogênea na área, variando de acordo com a posição dos solos nos transectos (Tabela 1 e Figuras 3 e 4).

Tabela 1. Estatística descritiva das variáveis ambientais altitude, profundidade, pedregosidade, declividade e carbono orgânico total (COT).

Variável	Cambissolo Húmico (solo 1)	Neossolo Litólico (solo 2)
Altitude (m)	1438	1467
Profundidade (m)	0,56	0,41
Pedregosidade (%)	4	3
Declividade (%)	25	15
COT (g/kg)	123	161

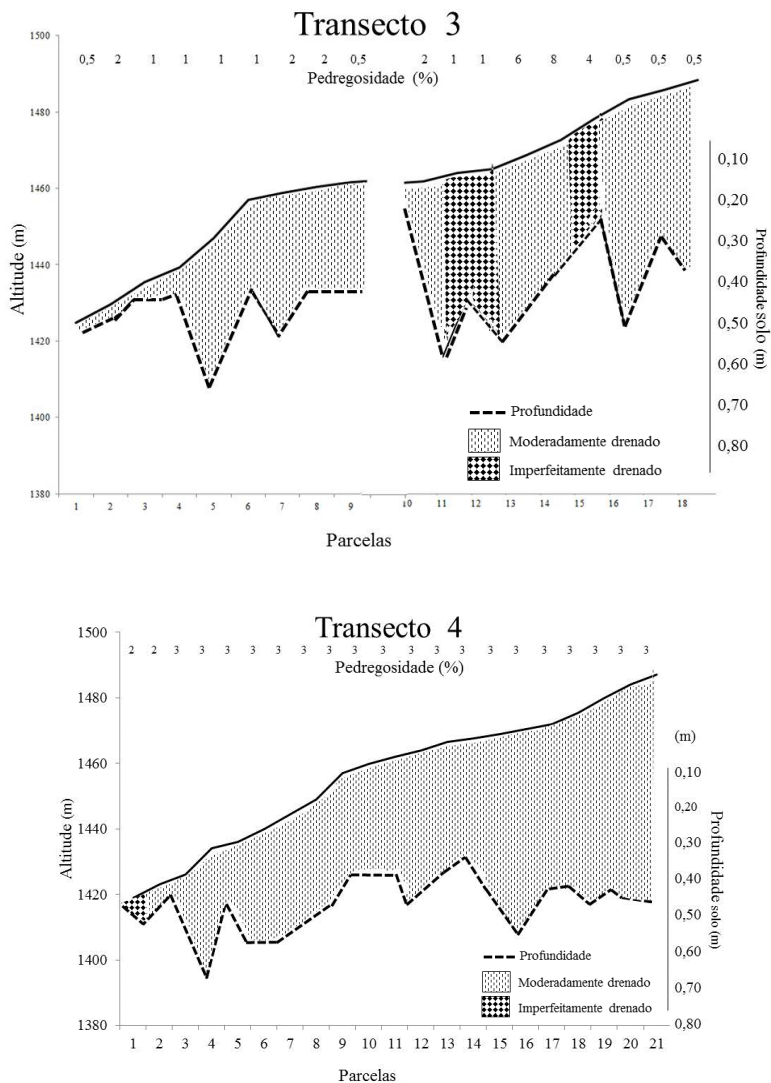
Fonte: do próprio autor, 2014.

Figura 3. Representação das variáveis altitude, profundidade e pedregosidade no perfil dos transectos 1e 2.



Fonte: do próprio autor, 2015.

Figura 4. Representação das variáveis altitude, profundidade e pedregosidade no perfil dos transectos 3 e 4.



Fonte: do próprio autor, 2015.

Em relação à profundidade os solos estudados são rasos. O Cambissolo apresentou profundidade média de 0,56 m e o Neossolo de 0,41 m. A menor espessura dos horizontes sobre a rocha foi constatada no transecto 1 e a maior no transecto 2 (Tabela 1 e Figura 2). A profundidade se relacionada aos fatores e processos de formação dos solos e a fatores ambientais como o relevo do terreno, que controla o fluxo superficial de água no solo. Este foi considerado o fator determinante da profundidade do solo entre as encostas côncavas e convexas, onde os solos menos profundos foram identificados nas encostas côncavas e os mais profundos nas encostas convexas. Conforme Chagas, Fernandes Filho e Bhering (2013), que identificaram relações entre atributos do terreno, material de origem e solos em dois sistemas de relevo, um com amplitude topográfica inferior a 100 m e o segundo com elevações de grande amplitude de relevo e vertentes íngremes no Estado do Rio de Janeiro, a elevação e a declividade ajudaram a explicar a distribuição dos Neossolos Litólicos e Cambissolos na área.

Semelhante aos resultados deste estudo (BENITES, MADARI e MACHADO, 2003), ao caracterizar os solos e identificar as relações entre o meio físico e a sob vegetação de complexos rupestres de altitude, em diferentes unidades de conservação na Serra da Mantiqueira e na Serra do Espinhaço, também observaram pouca profundidade em solos de ambiente alto-montano, por vezes formado apenas por uma camada orgânica sobre a rocha, mas que mesmo rasos, os solos nas áreas alto-montanas têm papel fundamental no controle da vegetação. Com características semelhantes aos deste estudo Vashchenko et al. (2013) em Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana, nos Picos Camacua, Camapuã e Tucum em Campina Grande do Sul, classificaram o solo como Neossolo Litólico, com espessura média de 14 cm sobre contato lítico. Esses autores justificaram a ocorrência de solos rasos com exposição de rochas pela posição, declividade e altos índices

pluviométricos, encontrados normalmente nas regiões montanhosas.

Sobre a utilização agrícola dos solos da região estudada, os solos litólicos apresentam restrições intensas ao uso devido ao relevo acidentado, pequena espessura dos perfis e grande quantidade de pedras à superfície do terreno. Portanto, nesses ambientes, a preservação da flora e da fauna representa a melhor opção de uso. Sobre a aptidão agrícola das terras do Brasil, Ramalho e Pereira (2009) consideram que o Cambissolo, mesmo com baixa fertilidade natural, pedregosidade, acidez elevada e inclusões de solos rasos, a melhor alternativa de uso em áreas localizadas.

O relevo da área estudada apresentou declividade média de 25% (Tabela 1) em parcelas com solo classificado como Cambissolo Húmico Distrófico, chegando ao valor máximo de 58%. Nas parcelas em Neossolo Litólico Distrófico a declividade média foi 16%.

No Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012) as encostas de áreas de preservação permanente com declividade entre 25° e 45°, foram declaradas de uso restrito não passível de supressão da vegetação natural. Além disso, estabelece restrições ao uso agrícola quando a inclinação da superfície é superior a 45°, em função da suscetibilidade à erosão decorrente da declividade. A declividade do terreno, por ser um dos fatores condicionantes dos processos erosivos, é um dos principais fatores considerados em metodologias de classificação da aptidão de uso das terras (PEREIRA, 2004). Nas áreas mais inclinadas são favorecidos os movimentos de massa, escoamento laminar e a formação de sulcos devido à erosão, sendo assim limitadas ao uso agrícola (DE BIASE, 1970). Semelhante aos resultados deste estudo, para Chagas, Fernandes Filho e Bhering (2013), a altitude e a declividade ajudaram a explicar a distribuição dos Neossolos Litólicos e Cambissolos.

Quanto à pedregosidade os solos foram enquadrados como moderadamente pedregosos (1 a 3%) a pedregosos (3 a 15%) (Figuras 2 e 3), segundo classificação de Santos et al., (2005). Neste estudo a maior pedregosidade foi observada em parcelas do Cambissolo (Figuras 3 e 4). Assim como constado neste estudo (BENITES, MADARI e MACHADO, 2003), concluíram que devido à altitude elevada e relevo movimentado, o ambiente alto-montano tem alto índice de erosão com afloramentos rochosos. O elevado gradiente do relevo acelera o processo erosivo provocando remoção dos horizontes superficiais do solo. Esse processo de rejuvenescimento é tanto mais intenso quanto maior for a declividade, promovendo remoção do solo e exposição das rochas (CHAGAS, FERNANDES FILHO e BHERING, 2013).

A drenagem do solo se distribuiu em quatro classes, definindo áreas bem drenadas, correspondendo à infiltração rápida de água, predominantemente nas encostas; áreas moderadamente drenadas; mal drenadas e imperfeitamente drenadas (Figuras 3 e 4). A ocorrência de solos imperfeitamente drenados, neste caso, nos transectos 1 e 4, está associada às cotas inferiores, localizadas próximo ao eixo de drenagem (Figura 3 e 4). Corroborando os resultados obtidos neste estudo, Higuchi et al. (2014), ao estudarem a existência de partição espacial de espécies arbóreas em fragmento de Floresta com Araucária no Estado de Santa Catarina em função da drenagem do solo, identificaram duas classes de drenagem. Uma em locais bem drenados, predominantemente nas encostas, e a segunda em locais moderadamente drenados, com solo predominantemente úmido, próximo do curso de água. Conforme esses autores, a capacidade de drenagem é característica cada tipo de solo e se relaciona com a textura e estrutura do solo. E, além disso, a posição topográfica pode determinar a capacidade de drenagem e as propriedades físicas e químicas do solo.

A pouca profundidade, a presença de pedregosidade e a drenagem constatadas, são características do Neossolo Litólico, que predomina na área estudada. Neossolos Litólicos são solos rasos, com contato lítico até 0,50 m de profundidade e baixa capacidade de armazenamento de água e, em geral, ocorrem associados com pedregosidade e rochosidade. Os Cambissolos apresentaram os horizontes A ou hístico, Bi, C com ou sem R, sendo o horizonte B incipiente (EMBRAPA, 2013).

Os maiores teores de COT foram constatados na camada superficial, em cotas altimétricas mais elevadas e melhor drenadas, com valores de 123 g/kg em Cambissolo Húmico (solo 1) e de 161 g/kg em Neossolo Litólico.

A cor escura com valores de croma inferiores a 3 na camada superficial do solo pode ser relacionada com a drenagem e aos altos teores de COT (Figura 5). A cor predominante nas parcelas em Neossolo foi 7,5YR, caracterizando solos mais amarelos e escuros. No Cambissolo predominou cor 5YR, mais vermelhos que os demais. Neste estudo as cores observadas são características de solos ricos em matéria orgânica e se correlacionam com os teores de carbono orgânico.

Semelhante aos resultados de Higuchi et al. (2014), neste estudo, as parcelas menos drenadas apresentaram teores de COT inferiores ao de parcelas melhor drenadas, localizadas nas maiores cotas. A cor do solo dá indicações a respeito da fertilidade, material de origem, conteúdo de matéria orgânica, condições de drenagem e teores de óxidos de Fe e Al. Neste estudo o valor da cor decorre do teor de matéria orgânica, que conforme Canellas e Santos (2005) confere coloração escura aos solos. Corroborando com os resultados obtidos, Vashchenko et al. (2007), ao estudarem áreas alto-montanas na Serra do Mar paranaense e Serra Ibitiraquire, consideraram que teores elevados de carbono orgânico (> 50 g/kg) encontrados em Neossolo Litólico Hístico típico sugerem pouca

decomposição da matéria orgânica, constada pela cor escura do solo.

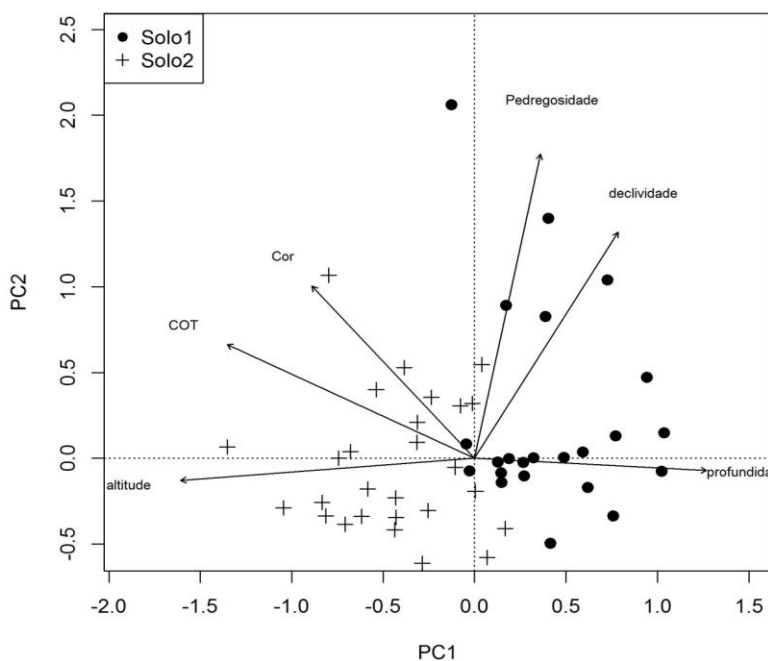
3.3.2 Análise de componentes principais

Na análise de componente principal (ACP) (Figura 5) o componente principal 1 explicou 34% da inércia total dos dados e apresentou maior correlação com o COT (-0,70), altitude (-0,83) e com a profundidade (0,65).

O eixo 2 discriminou 24% da variância e apresentou maior correlação com a pedregosidade (0,63) e declividade (0,84).

Nesta ACP foram observados dois gradientes de solos. O primeiro representado nos quadrantes à esquerda da Figura 5, que caracteriza solos com maior teor de COT e menor profundidade, localizados nas maiores altitudes e classificados como Neossolos Litólicos Distróficos. O segundo gradiente indica que os solos mais pedregosos estão localizados nas encostas, este foram classificados como Cambissolos Húmicos Distróficos. Além disso, são evidenciados solos de média profundidade nas menores cotas altimétricas.

Figura 5. Distribuição dos solos na análise de componentes principais (ACP), considerando a altitude, profundidade, pedregosidade, declividade, drenagem das parcelas, carbono orgânico total (COT) e cor do solo, na camada de 0 a 10 cm.



Fonte: do próprio autor, 2015.

3.4 CONCLUSÃO

O relevo ondulado a forte ondulado associado às condições ambientais, como o regime pluviométrico, justifica a ocorrência de solos rasos ou pouco profundos, com afloramentos de rocha. Este conjunto de fatores tornam os solos frágeis e altamente suscetíveis aos processos erosivos. Corroborando esta constatação, foram identificados solos, em áreas de menor altitude com características de deposição.

Nas maiores declividades e menor altitude foram identificados solos de média profundidade, classificados como Cambissolos Húmicos Distróficos. Nas menos declivosas, em cotas mais elevadas, os solos apresentam boa drenagem e maior concentração de carbono orgânico total e foram enquadrados como Neossolos Litólicos Distróficos.

O agrupamento das parcelas conforme a distribuição dos grupos florísticos, demonstrou correlação entre solo e vegetação.

3.5 REFERÊNCIAS

BENITES, Vinicius de Melo; MADARI, Beáta; MACHADO, Pedro Luiz Oliveira de Almeida. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. **Floresta e Ambiente** V. 10, n.1, p.76 - 85, jan./jul. 2003.

BRASIL. RESOLUÇÃO Nº 423. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre parâmetros básicos para identificação e análise da vegetação primária e dos estágios sucessionais da vegetação secundária nos Campos de Altitude associados ou abrangidos pela Mata Atlântica. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, Abr, 2010. Disponível em: < http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/federal/resolucoes/2010_Res_CONAMA_423.pdf >. Acesso em: 10/03/15.

BRASIL. LEI Nº 12.651. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, Mai, 2012. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm >. Acesso em 10/03/15.

CANELLAS, Luciano Pasqualoto; SANTOS, Gabriel Araújo. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das**

substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes: Ed. do autor, 2005.

CHAGAS, Cesar da Silva; FERNANDES FILHO, Elpídio Inácio; BHERING, Silvio Barge. Relação entre atributos do terreno, material de origem e solos em uma área no noroeste do estado do Rio de Janeiro. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, 25 (1): 147-162, jan/abr/2013. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/viewFile/17620/pdf>>. Acesso em: 21/03/15.

DE BIASI, M. Carta de Declividade: confecção e utilização. **Geomorfologia**, n o 21, p. 8-13, 1970.

DIAS, H. C. T et al. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:469-481, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

HIGUCHI, Pedro et al. Florística e estrutura do componente arbóreo e análise ambiental de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Altomontana no município de Paineira, SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 153-164, jan.-mar., 2013.

HIGUCHI, Pedro et al. Partição espacial de espécies arbóreas em função da drenagem do solo em um fragmento de floresta com araucária no sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 421-429, abr.-jun., 2014.

KOEHLER, Alexandre; GALVÃO, Franklin; LONGHI, Solon Jonas. Floresta Ombrófila Densa Altomontana: aspectos florísticos e estruturais de diferentes trechos na Serra do mar, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 27-39 27. 2002.

MARTINS-RAMOS, Daiane; CHAVES, Camila L., Bortoluzzi, Roseli L. da C.; MANTOVANI, Adelar. Florística de Floresta Ombrófila Mista Altomontana e de Campos em Urupema, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 156-166, abr./jun. 2011.

MUNSELL. **Munsell Soil Color Chart**. Baltimore, MD, USA. 1975.

OKSANEN, Jari F. et al. 2012. **Vegan**: Community Ecology Package. R package version 1.17-2. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=vegan>> Acesso em: 15 set. de 2014.

OLIVEIRA, Marcelo Santos. **Gestão Territorial Baseada na Vulnerabilidade da Ocupação do Solo como Ferramenta de Desenvolvimento Municipal**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2006.

PEREIRA, Lauro Charlet; LOMBARDI NETO, Francisco.

Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 36 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 43).

PISSARA, T.C.T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S.

Avaliação de características morfológicas na relação solo-superfície da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 28 no. 2 Viçosa Mar. /Apr 2004.

R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 09 set. 2014.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras do Brasil: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 36p. (Embrapa Solos. Documentos, 1).

SANTOS, R.D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 5.ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SCHEER, Maurício Bergamini; MOCOCHINSKI, Alan Yukio. Florística vascular da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná. **Biota Neotropica**. Campinas, v.9, n.2, 2009.

SCHEER, Maurício Bergamini; CURCIO, Gustavo Ribas; RODERJAN, Carlos Vellozo. Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná. **Revista Brasileirab de Ciência do Solo**. Viçosa, v.35, n.11, p.1113-1126, 2011.

SOUZA, Gilberto B. et al. Análise exploratória de resultados de análise de solos utilizando métodos quimiométricos baseados nas componentes principais. **Anais da 25a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química – SBQ**. 2007.

TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p.

VASHCHENKO, Yury et al. Solos e vegetação dos Picos Camacuã, Camapuã e Tucum – Campina Grande Do Sul – PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.8, n.4, p.411-419, 2007.

VASCHENKO, Yury et al. Aspectos ambientais da trilha via noroeste do Parque Estadual Pico do Marumbi.,PR. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 4, p. 535 - 548, out. / dez. 2013.

VELOSO, Henrique Pimenta et al. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE, Rio de Janeiro, 1991.

4 ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO EM GRADIENTE DE RELEVO EM FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALTO-MONTANA, NO PLANALTO CATARINENSE

RESUMO

Ambientes alto-montanos apresentam elevado potencial para serviços ecossistêmicos, pois além da especificidade biológica, proporcionam a manutenção de estoques de carbono, retenção e regulação de fluxos hídricos, que são funções desempenhadas pelos solos. Assim, o objetivo do trabalho foi caracterizar atributos físicos e químicos do solo, além do carbono orgânico total desse ecossistema, em função do gradiente de declividade. Para tanto, foram instalados quatro transectos paralelos à encosta, divididos em subunidades de 10 x 20 m, totalizando 55 parcelas. O solo foi coletado nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm, em amostras compostas para análise química e, em trincheiras e em anéis volumétricos para análise física. As análises químicas envolveram determinação de pH em CaCl_2 , acidez extraível (Al^{+3} e H^+), cátions trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^+), fósforo disponível e carbono orgânico total (COT). A soma de bases trocáveis (S) e capacidade de troca catiônica (CTC) foram calculadas. Além dessas, foi determinada a fração do carbono particulado (COP) e a fração associada aos minerais (COAM), calculada pela diferença entre o COT e o COP. As análises físicas foram macro e microporosidade, porosidade total e resistência à penetração do solo. As relações entre as variáveis foram determinadas pela análise de componentes principais (ACP). Os solos das áreas de maior drenagem, em relevo mais plano foram classificados como Neossolos Litólicos Distróficos e são menos ácidos com maior

restrição de nutrientes, quando comparados com os solos localizados em relevo mais inclinado, com menor altitude e maior profundidade, que são mais férteis, apresentam maior teor de carbono orgânico total e foram classificados como Cambissolos Húmicos Distróficos.

Palavras-chave: Solos. Acidez. Declividade.

ABSTRACT

Upper montane environments have great potential to ecosystem services related to their biological specificity, and can maintain high capacity to carbon storage, retention and regulation of water flows which are performed by soil. The objective of this study was to characterize soil physical and chemical properties, and its total organic carbon in this ecosystem according to a slope gradient. Thus, four transects parallel to the slope were installed and divided into 10 x 20 m subunits, amounting 55 plots. Soil was collected from 0 to 10, 10 to 30 and 30 to 50 cm depth in samples for chemical analysis, and in trenches and volumetric rings for physical analysis. Chemical analysis were pH determination in CaCl_2 , extracting acidity ($\text{Al}^{+3} + \text{H}^+$), exchangeable cations (Ca^{+2} , Mg^{+2} and K^+), available phosphorus and total organic carbon (TOC). The sum of exchangeable bases (SB) and cation exchange capacity (CEC) were calculated. Besides that, it was determined the fraction of particulate carbon (POC) and the fraction associated to minerals (COAM), calculated by the difference between TOC and COP. Physical analysis were macro and micro-porosity, total porosity and resistance to soil penetration. Relations among variables were determined using principal compounds analysis (PCA). Soils in better drained areas with lower slope were classified as Humic Lithic Dystrudept and are less acid, but have lower nutrient availability, in comparison with soils in higher slope surfaces and lower altitude, that are deeper and more fertile, with higher total organic carbon content, being classified as Humic Dystrudept.

Keywords: Soils. Acidity. Slope.

4.1 INTRODUÇÃO

Ecossistemas alto-montanos apresentam características específicas cuja formação inclui tipologias vegetais em altitude acima de 1000 m, como a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias (VELOSO, RANGEL e LIMA, 1991). Nestas áreas há grande variedade de espécies endêmicas, com distribuição significativamente reduzida, devido à raridade geográfica, ao controle ambiental dado pelo substrato relacionado ao solo, temperatura, material geológico e umidade. Além disso, fatores como o reduzido tamanho populacional, ausência ou redução de polinizadores e/ou dispersores e competição, associados aos impactos antropogênicos, podem tornar várias espécies suscetíveis à extinção (MARTINS-RAMOS et al., 2011).

A intervenção e o uso dos ecossistemas alto-montanos por meio de atividades agropecuárias e de exploração florestal é limitada, muitas vezes devido à localização em áreas de difícil acesso. Entretanto, muitos remanescentes vêm sendo alterados pela introdução de espécies exóticas, exploração de madeira e de recursos não madeiráveis, queimadas, turismo desordenado, extração de plantas ornamentais e medicinais, caça, mineração, construção de estradas e instalação de torres de telecomunicação (SCHEER e MOCOCHINSKI, 2009). Esses autores destacam como agravante da degradação desses ecossistemas sua baixa resiliência, especialmente pelo uso de práticas de manejo inadequadas, quando o solo fica exposto indevidamente a processos erosivos.

Em formações alto-montanas os solos em geral são pouco desenvolvidos, ácidos, com altos teores de carbono, baixa saturação por bases e alta saturação por alumínio trocável, conforme constatado por Scheer (2010), em Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana, de Quatro Serras, no Paraná. Esses atributos são semelhantes aos de solos de diferentes regiões alto-montanas do Brasil, que apresentam distintas

litotipias e tipos vegetacionais como os descritos em estudo realizado nos Aparados da Serra Geral, em Santa Catarina (SCHEER, CURCIO E RODERJAN, 2011).

Ao avaliar a influência do relevo nas características morfológicas, físicas e químicas de solos ao longo de uma topossequência formada a partir do arenito da formação Aquidauana (MS), Schiavo et al. (2010) constatararam que em ambientes com predomínio de escarpas, o relevo tem destaque na evolução dos solos. Pois, ao influenciar a dinâmica da água na modelagem da paisagem, provoca efeitos que se traduzem na formação de diferentes solos, nas diversas posições de topossequências. Ao estudar as interferências dos pedoambientes nos atributos do solo de uma topossequência de transição campo/floresta, no sul do estado do Amazonas, Campos et al. (2010) também concluíram que os atributos físicos e químicos do solo apresentaram-se dependentes das condições pedoambientais, que promovem alterações nos atributos do solo. Tais variações são influenciadas por fatores como forma do relevo, quantidade e fluxos de água e características dos materiais originários, com reflexos na expressão da vegetação nativa.

Em relação ao relevo, Benites et al. (2003), ao caracterizarem solos nos complexos rupestres de altitude, associaram a pobreza de nutrientes do solo às perdas pela lixiviação. O estudo de Rodrigues et al. (2007), que correlacionou a estrutura arbórea com variáveis ambientais topográficas e pedológicas, em fragmento de floresta em MG, concluiu que o relevo influenciou as características físicas e químicas do solo. Neste, solos da parte mais íngreme, rasos, arenosos e bem drenados, apresentaram maior concentração de Al^{3+} e menor de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Ainda segundo os autores, o relevo é a variável mais importante na distribuição espacial e na estrutura de florestas, pois, normalmente corresponde às mudanças nas propriedades e nas diferenças das características físicas e químicas do solo.

Ao explicar a diferença na ocorrência de espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Densa em São Paulo, Rio de Janeiro e Santa Catarina, Scheer e Mocochinski (2009) consideraram que provavelmente estes dados estão associados ao relevo e aos solos, além das baixas temperaturas. Solos de campos e florestas alto-montanas, avaliados por Scheer (2011), são classificados como rasos a pouco profundos, o que se deve principalmente à imposição geomórfica, onde o relevo forte ondulado promove a formação de horizontes minerais, nos quais, a baixa fertilidade dos solos foi associada à perda de nutrientes por lixiviação, pela elevada drenagem e pelo baixo conteúdo de nutrientes no material de origem. Variações na fertilidade, acidez do solo e cota altimétrica ao longo do gradiente topográfico, na Zona da Mata mineira, seguiram o padrão reconhecido dos solos da região, onde áreas mais elevadas possuem solos distróficos e teores mais elevados de alumínio trocável, quando comparados com regiões de baixada, que apresentam maior fertilidade e menor acidez, com influência na distribuição da vegetação arbórea nesse gradiente (GONÇALVES et al., 2011). Vashchenko et al. (2007), ao estudarem solos de Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana na Serra Ibitiraquire, estado do Paraná, concluíram que a declividade acentuada ocasiona maior perda de bases pela lixiviação e maior acúmulo de alumínio, portanto que as classes de solos se correlacionam com a posição na paisagem.

O ambiente alto-montano influencia fortemente a florística e a estrutura das florestas (KOEHLER, GALVÃO e LONGHI, 2002). Teske (2010) considera que o tipo de vegetação é diretamente relacionado com a taxa de formação do solo, a qual pode ser influenciada tanto pelo tipo de cobertura, que define a percolação vertical ou horizontal de água, como pela atividade biológica que pode intensificar o intemperismo químico, devido aos exsudados e aos agentes de agregação que influenciam na estrutura do solo. A relação entre clima e vegetação é constatada pela relação entre as zonas

climáticas e os biomas (PILLAR, 1995). O clima é definido pela precipitação, temperatura, ventos, umidade relativa e evapotranspiração, fatores que influenciam na pedogênese (SILVA e MAFRON, 2014). Destes, a precipitação afeta diretamente a evolução do solo, uma vez que a disponibilidade de água acentua o intemperismo, além da erosão responsável pelo transporte e pela deposição de materiais; pela lixiviação que promove o transporte de solutos e materiais em suspensão. Entretanto, locais com a mesma precipitação podem não possuir a mesma disponibilidade de água no solo, devido capacidade de armazenamento de água e evapotranspiração potencial serem diferentes (PILLAR, 1995). O clima interfere no teor de matéria orgânica, reação do solo, saturação por bases, profundidade do perfil, textura e tipo de argilomineral formado.

A variação de atributos bióticos e abióticos presente em diferentes posições de relevo em uma encosta está relacionada a fatores que condicionam a formação dos solos, podendo haver variação do pH, teor de nutrientes, matéria orgânica, textura e desenvolvimento dos horizontes condicionados por variáveis topográficas (SILVA, 2011).

Em florestas situadas em áreas de solos pobres, a ciclagem biogeoquímica é a principal responsável pela disponibilidade dos nutrientes às plantas. Assim, se removida a cobertura vegetal os nutrientes podem ser rapidamente lixiviados ou perdidos por erosão, sendo este o principal fator de empobrecimento do solo em áreas declivosas (SILVA e MANFRON, 2014). Na maioria dos estudos realizados em ambientes alto-montanos são evidenciadas restrições de fertilidade dos solos, que sugerem sua fragilidade. Contudo, os autores destacam o elevado potencial desses ambientes prestarem serviços ecossistêmicos, já que os mesmos, além da especificidade biológica, proporcionam a manutenção de estoques de carbono, retenção e regulação de fluxos hídricos.

Estudos como esses podem contribuir para a compreensão da dinâmica dos processos que ocorrem no solo, conforme a variação do relevo, o qual tem sido considerado uma das variáveis mais influentes na distribuição espacial e na estrutura das florestas tropicais, por ocasionarem também mudanças nas propriedades dos solos e na drenagem (RODRIGUES et al., 2007). Assim, o objetivo deste estudo foi caracterizar atributos físicos e químicos do solo, em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana e estabelecer suas relações com o gradiente de declividade e o teor de carbono orgânico no solo.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em área localizada no município de Urupema – SC, com altitude entre 1419 e 1489 m, entre as coordenadas geográficas 27° 57' 39'' a 27° 58' 64'' latitude Sul, e 49° 50' 66'' a 49° 50' 55'' longitude Oeste.

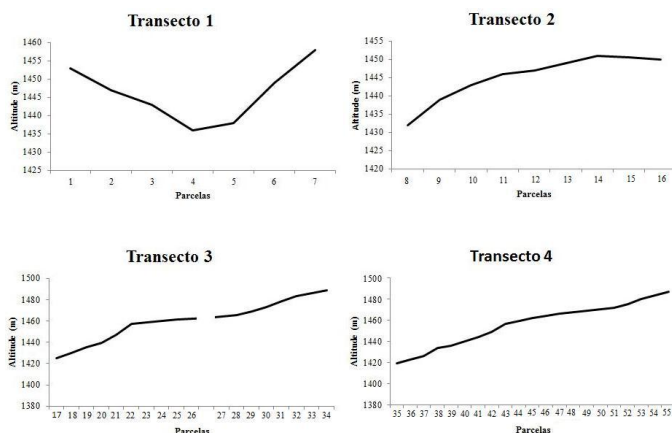
O clima da região é do tipo Cfb, pela classificação climática de Köppen, mesotérmico úmido com chuvas bem distribuídas durante o ano e precipitação média anual de 1.789 mm. Conforme dados do IBGE (2012), a temperatura média anual é de 13°C. A geomorfologia é composta pelas unidades Planalto de Lages, Planícies Fluviais e Serra Geral. Assim, os solos são desenvolvidos a partir de rochas efusivas ácidas da Formação Serra Geral, com ocorrência de riolitos e riodacitos. Com predomínio de Neossolos Litólicos Distróficos A proeminente, textura argilosa, relevo ondulado e forte ondulado e Cambissolo Álico Tb A húmico, de textura argilosa em relevo ondulado. A vegetação é de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, em condição de relevo forte ondulado a ondulado, intercalada por campos naturais e áreas úmidas em relevo plano a suave ondulado (IBGE, 2012).

A caracterização dos solos em gradientes de drenagem foi realizada em quatro transectos (T1, T2, T3 e T4), dispostos de forma transversal à encosta (Figura 6).

Os transectos foram subdivididos em parcelas contíguas de 10 x 20 m (200 m²), para acompanhamento do gradiente de declividade, totalizando 55 unidades amostrais em uma área de 11.000m². As 55 parcelas foram distribuídas da seguinte forma: sete no transecto um; nove transecto dois; dezoito no transecto três e vinte e uma no transecto quatro (Figura 6).

Cada subunidade foi demarcada em campo, com canos de PVC, no centro e nas quatro extremidades. Cada subunidade foi demarcada em campo, com canos de PVC, no centro e nas quatro extremidades.

Figura 6. Perfil dos transectos com relação a altitude das parcelas.



Fonte: do próprio autor, 2014.

O solo foi coletado nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm, constituindo três amostras por parcela. Para análise química o solo coletado em nove pontos da parcela (Figura 7), formando uma amostra composta para cada uma das três camadas amostradas. O solo foi seco ao ar e peneirado em malha de 2 mm.

Figura 7. Representação da localização dos pontos de coleta de solo nas parcelas.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Fonte: do próprio autor, 2015.

As análises químicas envolveram a determinação de pH em CaCl_2 , cátions trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+}), acidez potencial

(Al^{+3} e H^{+}) e fósforo disponível extraído em Mehlich-1, conforme Embrapa (1997). Foram calculadas: soma de bases (S) = $\text{C}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+}$ e capacidade de troca catiônica (CTC) = $\text{S} + \text{H}^{+} + \text{Al}^{+3}$.

O carbono orgânico total (COT) foi determinado conforme Tedesco et al (1995). O fracionamento físico da matéria orgânica para determinação do carbono orgânico particulado (COP) foi realizado segundo Cambardella e Elliot (1992). Sendo o carbono orgânico associado aos minerais (COAM) calculado pela diferença entre o COT e o COP.

As amostras para caracterização física do solo foram obtidas em trincheiras, com coleta de anéis volumétricos. Nestas foram realizadas as determinações de macro e microporosidade, porosidade total, resistência à penetração do solo e distribuição granulométrica.

A determinação da micro e da macroporosidade foi realizada após saturação das amostras e estabilização em mesa de areia, com altura de drenagem regulável, com posterior pesagem das amostras, conforme método da Embrapa (1997). A umidade de saturação em volume foi considerada como porosidade total do solo. A umidade das amostras foi padronizada à tensão de 100 Mpa equivalente à capacidade de campo, condição na qual foram feitas as leituras de resistência à penetração do solo, utilizando penetrógrafo de bancada Marconi, modelo MA-933, dotado de cone com 3,9 mm de diâmetro, ângulo de ataque de 45° e velocidade de penetração de 1 mm s^{-1} . O valor de cada amostra corresponde à média dos 40 valores determinados entre 6 e 45 mm, nos anéis volumétricos.

A granulometria do solo foi determinada pelo método da pipeta, com dispersão do solo com hidróxido de sódio e determinação das frações areia, argila, obtendo-se a fração silte por diferença, conforme Embrapa (1997).

As relações entre as variáveis carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico

associado aos minerais (COAM), pH CaCl_2 , alumínio (Al), soma de bases trocáveis (S), capacidade de troca de cátions (CTC), fósforo (P), areia, silte, argila, profundidade, altitude e declividade, foram avaliadas por meio da análise de componentes principais (ACP). As relações entre as variáveis químicas e físicas foram avaliadas por meio da Análise de Componentes Principais (ACP). Para a ACP as parcelas foram agrupadas como solo 1 e solo 2. Para tanto, levou-se em consideração o levantamento florístico, realizado concomitantemente a este trabalho, que identificou dois grupos florísticos na área. O primeiro com predomínio da espécie indicadora *Dicksonia sellowiana* (xaxim), correspondente ao grupo solo 1 (Cambissolo Húmico Distrófico) e, o segundo sem espécie indicadora correspondente ao grupo solo 2 (Neossolo Litólico Distrófico). Esse método multivariado considera a correlação entre as variáveis analisadas e visa à redução de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais (SOUZA et al., 2007). Para verificar se os componentes explicaram de forma significativa os gradientes ambientais encontrados foi realizada análise por meio do *Scree plot*. As análises multivariadas foram realizadas por meio do R (R Development Core, 2014), junto com a biblioteca Vegan (OKSANEN et al., 2012).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Atributos Químicos do Solo

Os solos apresentaram acidez elevada, com média de pH inferior a 4, tanto no Cambissolo, quanto no Neossolo, nas três profundidades (Tabela 2). Outros estudos também demonstram que solos de ambientes alto-montanos apresentam valores baixos de pH. Ao estudar solos em ecossistemas alto-montanos na Serra da Igreja, PR, Scheer et al. (2011), constaram em média pH 3. Na mesma região deste estudo, no município de Lages-SC, Higuchi et al. (2012) constaram pH baixo do solo, com valor médio de 4,9, em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana. Também Benites, Madari e Machado (2003), ao caracterizarem solos de complexos rupestres de altitude, no estado de MG, constataram pH médio de 4,5 em solos desenvolvidos sobre rocha ígnea, assim como, os solos deste estudo.

A acidez trocável é elevada indicando que o alumínio está associado ao baixo pH desses solos, que facilita a solubilização do Al no solo, de acordo com o aumento dos valores em profundidade (Tabela 2). Os valores e o comportamento do Al trocável foram semelhantes nos dois solos. De acordo com Teske (2010), ao estudar solos desenvolvidos de rochas efusivas nos municípios de Lages e São Joaquim, solos desenvolvidos a partir de rochas ígneas, como ocorre na região deste estudo e sob mata apresentaram maiores teores de Al^{3+} , possivelmente devido a sua complexação por compostos orgânicos liberados na rizosfera, devido a grande quantidade de raízes finas encontradas nestes ambientes. Além disso, altos teores de Al são característicos de solos com alto teor de matéria orgânica, conferindo elevado tamponamento de acidez (MAFRA et al., 2008).

Tabela 2. Médias dos atributos químicos no Cambissolo Húmico e no Neossolo Litólico, nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm.

Mg	Ca	K	pH CaCl ₂	Al	S	CTC	P
cmol _c /kg			cmol _c /kg			mg/kg	
Cambissolo Húmico (solo 1)							
0 - 10 cm							
0,1	1,3	0,2	3,60	7,2	2,6	10,6	6,4
0,2	1,8	0,4	3,72	7,1	4,4	9,5	3,2
10 - 30 cm							
0,3	2,2	0,4	3,86	6,6	2,9	9,5	5,0
Neossolo Litólico (solo 2)							
0-10 cm							
0,8	0,7	0,2	3,64	8,3	1,7	10	8,7
30 - 50 cm							
0,2	1,0	0,3	3,92	6,3	3,0	7,8	6,4
0,3	1,3	0,3	4,08	4,9	1,6	6,8	5,7

Fonte: do próprio autor, 2015.

Os teores médios de cálcio, potássio e fósforo foram menores no Neossolo, nas três profundidades (Tabela 2). Como reflexo este solo apresenta menos soma de bases trocáveis (S), assim maior restrição de nutrientes.

Quanto ao cálcio os solos foram enquadrados na classificação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004), como solos com baixo teor de Ca, por apresentar teores abaixo de 2 cmol_c/kg. Com exceção do Cambissolo na camada de 30 a 50 cm, cujo valor médio foi 2,2 cmol_c/kg (Tabela 2), indicando lixiviação do mesmo. Em Campo Belo, SC, Mafra et al., (2008), constataram a concentração média de 1,04 cmol_c/kg, de 0,0 a 0,40 m em Floresta Ombrófila Mista.

Em relação ao magnésio, os valores foram semelhantes nos dois solos, sendo que a camada superficial apresentou a menor concentração (Tabela 2), os mesmos foram considerados com baixa disponibilidade de magnésio. Teores entre 0,60 e 1 cmol_c/kg indicam média disponibilidade de magnésio conforme Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004). O Cambissolo apresentou valores superiores ao Neossolo. No estudo de Mafra et al., (2008), em Floresta Ombrófila Mista, a concentração média de magnésio foi 0,62 cmol_c/kg , de 0,0 a 0,40 m.

Os valores de potássio, na camada superficial de ambos os solos (Tabela 2), correspondem a solos com baixo teor de potássio, conforme classificação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004). Em profundidade, devido a sua mobilidade no solo, esses teores aumentaram até o valor máximo de 0,4 cmol_c/kg . Estes resultados foram semelhantes nos dois solos (Tabela 2) e, ao estudo em mata nativa de araucária em Campo Belo do Sul, SC, onde o teor médio de potássio foi de 0,08 cmol_c/kg , de 0,0 a 0,40 m (MAFRA et al., 2008).

A média da soma de bases trocáveis (S) refletiu os baixos teores de magnésio, cálcio e (Tabela 2). Para Puchalski (2004), em Santa Catarina, nas maiores altitudes, os solos possuem teores mais elevados de matéria orgânica e de alumínio trocável, o que reduz sua saturação de bases. A baixa fertilidade encontrada em solos de ambientes alto-montanos pode ser associada com os seguintes fatores: perda de nutrientes por lixiviação, elevada drenagem e baixo conteúdo de nutrientes no material parental (SCHEER, CURCIO e RODERJAN, 2011). Assim, em ambientes alto-montanos a ciclagem biogeoquímica é identificada como a responsável pela maior concentração de certos elementos nos horizontes superficiais do solo. Higuchi et al. (2013) concluíram, ao analisar os atributos químicos dos solos da região de Pánel e Urupema, em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-

Montana, que os solos são ácidos, com elevados teores de alumínio trocável e baixa soma de bases, baixos teores de fósforo e médios de potássio, evidenciando condição de baixa fertilidade química.

Ao analisarem ambientes alto-montanos, Scheer, Curcio e Roderjan (2011) concluíram que os solos desses ecossistemas são Distróficos e apresentam alta saturação por Al trocável. Teske (2010) considerou que a deficiência de minerais se relaciona com elevadas perdas por lixiviação, uma vez observados o relevo ondulado e a pouca espessura do solum, associado à pobreza do material de origem, na mesma região deste estudo. Para Benites, Madari e Machado (2003) a baixa fertilidade identificada em solos de ambientes alto-montanos resulta da perda de nutrientes por lixiviação, pela elevada drenagem e pelo baixo conteúdo de nutrientes no material parental. Novamente, segundo Scheer, Curcio e Roderjan. (2011), trabalhando em diferentes formações alto-montanas, localizadas no estado do Paraná, identificou solos pouco desenvolvidos, muito ácidos, com elevados teores de carbono, baixa saturação por bases e alta saturação por alumínio trocável. Resultados médios das análises do solo obtidos por Higuchi et al. (2012), em estudo realizado no município de Paineira, mesma região deste estudo, indicaram solo com fertilidade intermediária. Mas, quando os resultados foram relacionados com a declividade, os solos diferiram constituindo dois grupos, os mais férteis em relevo com maior declividade e nas menores altitudes. Solos mais ácidos, em relevo mais plano, ocorreram em maior altitude, com maior cobertura vegetal. Esses resultados são semelhantes aos deste estudo e a de solos de diferentes regiões alto-montanas do Brasil, como os complexos rupestres de altitude na região Sudeste e as florestas nebulares nos Aparados da Serra Geral, em Santa Catarina (SCHEER, CURCIO e RODERJAN, 2011). Estudo de Vashchenko et al. (2007), em área de Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana, o Neossolo Litólico Hístico típico

apresentou menor teor de argila e maior teor de carbono, com baixa saturação por bases e caráter alítico. Os autores associaram estes resultados aos altos índices pluviométricos, já que a água carrega os compostos mais solúveis.

A capacidade de troca de cátions (CTC) diminuiu em profundidade indicando sua relação com a matéria orgânica do solo, que é maior no horizonte superficial em ambos os solos (Tabela 2). Em solos de ambientes alto-montanos a CTC e acidez potencial são elevadas em horizontes superficiais e correlacionadas aos compostos orgânicos (SCHEER, 2010).

Os maiores teores de potássio foram identificados no Cambissolo, com maior concentração na camada superficial dos dois solos (Tabela 2), indicando sua associação à matéria orgânica. Teores entre 3,1 e 6 mg/kg caracterizam, para classe textural predominante nestes solos, baixa disponibilidade de fósforo, conforme classificação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2004).

Resultados entre 3,1 e 6 mg Kg⁻¹ caracterizam solos com alto baixo teor de fósforo, conforme Sociedade (2004), valores entre 6,1 e 9 mg Kg⁻¹ são próprios de solos com médio teor. Nos dois solos o fósforo apresentou teores mais elevados no horizonte superficial (Tabela 2), demonstrando a pouca mobilidade do fósforo e sua relação com a matéria orgânica. O Neossolo apresentou as maiores concentração de fósforo, resultado associado aos elevados teores de carbono orgânico deste. O fósforo orgânico pode constituir de 5 a 80% do fósforo total do solo e é originário da decomposição de resíduos vegetais e tecido microbiano (SANTOS, GATIBONI e KAMINSKI, 2008). Tanto os processos geoquímicos como os biológicos modificam os fosfatos naturais em formas orgânicas e inorgânicas estáveis e transferem o fósforo entre os compartimentos do ambiente. Em sistemas naturais, onde não há adição de fósforo, a sua disponibilidade está intimamente relacionada à ciclagem das formas orgânicas (SANTOS, GATIBONI e KAMINSKI, 2008).

No ambiente estudado as limitações agrícolas mais importantes dizem respeito à pequena profundidade efetiva, pedregosidade, rochosidade, relevo ondulado, baixa capacidade de armazenamento de água e de nutrientes nos mais arenosos e a alta suscetibilidade à erosão, sobretudo nos relevos mais declivosos e quando associadas às baixas temperaturas, que dificultam a atividade microbiana (EMBRAPA, 2004). Neste contexto, destaca-se a importância das florestas que podem oferecer serviços indiretos, além dos recursos comercializáveis e, assim promover a sustentabilidade de áreas com fragilidade ambiental. Bochner (2007) destaca como serviços ambientais das florestas: a regulação da disponibilidade e da qualidade das águas, a estabilidade térmica, a redução da concentração de poluentes atmosféricos, a captura de CO₂, a ciclagem de nutrientes e a própria conservação do solo.

4.3.2 Atributos Físicos do Solo

Os solos estudados apresentaram variações de textura de franca, franca argilosa, franca arenosa e franca siltosa. Os teores das frações argila, silte e areia, apresentadas na Tabela 3. A distribuição das frações argila, silte e areia variaram ao longo do terreno, sendo que a argila aumentou em profundidade, tanto no Cambissolo, como no Neossolo, apesar deste último apresentar em média textura mais arenosa e siltosa.

Tabela 3. Médias das frações areia, silte e argila no Cambissolo Húmicos e Neossolo Litólico, nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm.

Profundidade (cm)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)
Cambissolo Húmico (solo 1)			
0-10	330	300	205
10-30	510	490	360
30-50	160	220	400
Neossolo Litólico (solo 2)			
0-10	430	440	225
10-30	440	373	375
30-50	127	174	400

Fonte: do próprio autor, 2015.

O material de origem é constituído por minerais sujeitos a diferentes níveis de suscetibilidade ao intemperismo físico, químico e biológico. Sua composição pode ser relacionada a vários atributos do solo, dentre estes o granulométrico, que pode influenciar a porosidade, densidade do solo, taxas de percolação e infiltração, armazenamento da água, aeração e fertilidade do solo e, portanto a vegetação. Chagas, Fernandes Filho e Bhering (2013) fazem citação de que a declividade, entre outros fatores pode interferir na textura do solo. Além disso, que outros atributos do solo apresentam correlação com a textura, profundidade e capacidade de armazenamento de água do solo.

Neste estudo a macro, micro e porosidade total média, foram semelhantes nos dois solos, nas três profundidades (Tabela 4). A elevada porosidade total reflete a qualidade do solo, a capacidade de armazenamento hídrico e está associada à matéria orgânica do solo. Estes valores de macroporosidade possibilitaram enquadrar os solos de moderada à média limitação de qualidade física, na classificação de Lal (1999), a

qual estabelece moderada limitação de 0,15 a 0,179 m^3/m^3 de macroporosidade e a severa de 0,10 a 149 m^3/m^3 .

Tabela 4. Médias dos atributos físicos do Cambissolo Húmico (solo 1) e Neossolo Litólico (solo 2), nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm

Cambissolo Húmico (solo 1)				Neossolo Litólico (solo 2)			
0-10 cm							
Macro	Micro	Pt	Rp	Macro	Micro	Pt	Rp
0,67	0,15	0,82	0,92	0,68	0,16	0,84	1,15
10-30							
0,63	0,16	0,79	0,92	0,66	0,14	0,80	1,17
30-50							
0,62	0,14	0,76	1,16	0,64	0,12	0,76	1,24

Ma=macroporosidade (m^3/m^3), Mi= microporosidade (m^3/m^3), Pt= porosidade total (m^3/m^3), Rp= resistência à penetração do solo (MPa),

Fonte: do próprio autor, 2015.

Em ambientes naturais a microporosidade do solo é resultante principalmente da textura e teor de carbono orgânico do solo. Valores elevados de microporosidade, associados às condições ambientais, podem resultar na maior retenção de água no solo, como ocorre em ambientes alto-montanos.

A resistência à penetração também foi semelhante nos dois solos e nas três profundidades (Tabela 3). Apenas o Neossolo, na camada de 30 a 50 cm apresentou aumento da resistência à penetração, já que este é mais raso, com contato litólico. Valores abaixo de 1 MPa caracterizam solos sem limitação e valores entre 1 a 1,5 MPa apontam para solos com limitação leve (LAL, 1999). O resultado deste estudo aponta para solos com limitação leve ou ausente para resistência à penetração, para culturas agrícolas, não florestais.

A resistência do solo à penetração pode indicar o grau de compactação do solo, considerado como um dos fatores limitantes ao desenvolvimento e estabelecimento das plantas (BOCHNER, 2007). A textura e a estrutura afetam a densidade

do solo, desta maneira influenciam a porosidade e a resistência à penetração. Sendo que a matéria orgânica ao melhorar a agregação do solo afeta a estrutura do solo. Para Bochner (2007), ao estudar a qualidade do solo em Floresta Ombrófila Montana, RJ, concluiu que a baixa resistência à penetração, constatada na camada de 0 a 10 cm, estava associada aos elevados teores de matéria orgânica, semelhante ao observado neste estudo.

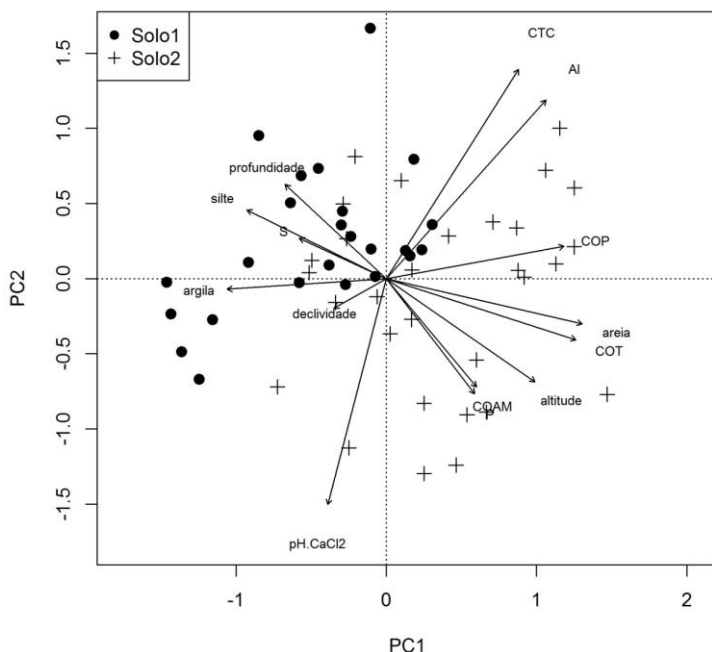
4.3.3 Análise de componentes principais

Na profundidade de 0 a 10 cm, na ACP (Figura 8) o eixo 1 explicou 32% da variância total dos dados e apresentou maiores correlações com os teores de COT (0,80), COP (0,75), altitude (0,63), Al (0,67), areia (0,83), silte (0,59) e argila (-0,67). O eixo 2 explicou 17% da variação dos dados e está correlacionado principalmente ao pH (-0,81) e a CTC (0,75).

A ACP definiu dois gradientes de solos. Um nas maiores cotas altimétricas, de textura mais arenosa, teores elevados de carbono orgânico associado ao COP, indicando que neste ambiente o carbono orgânico ocorre na forma menos protegida. Neste gradiente de solos mais ácidos há maior concentração de alumínio, que contribui com a CTC. Também, observa-se que o fósforo está relacionado à matéria orgânica mais protegida. Estes solos foram classificados como Neossolos Litólicos Distróficos.

O segundo gradiente, identificado nos quadrantes esquerdos da Figura 8, indica que os solos localizados em áreas mais declivosas, são mais profundos e argilosos, com menor restrição de nutrientes. Os solos deste gradiente foram classificados como Cambissolos Húmicos Distróficos.

Figura 8. Distribuição dos solos na análise de componentes principais (ACP), considerando o carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM), pH CaCl₂, alumínio (Al), soma de bases trocáveis (S), capacidade de troca de cátions (CTC), fósforo (P), areia, silte, argila, profundidade, altitude e declividade, na profundidade de 0 a 10 cm.



Fonte: do próprio autor, 2015.

Na profundidade de 10 a 30 cm, a ACP (Figura 9), indicou que o eixo 1 explicou 31% da variância dos dados e apresentou correlação com o teor de pH (0,63), fósforo (0,66), COT (0,76), COAM (0,58), COP (0,55), areia (0,72), argila (-0,66), profundidade (-0,52) e altitude (0,68).

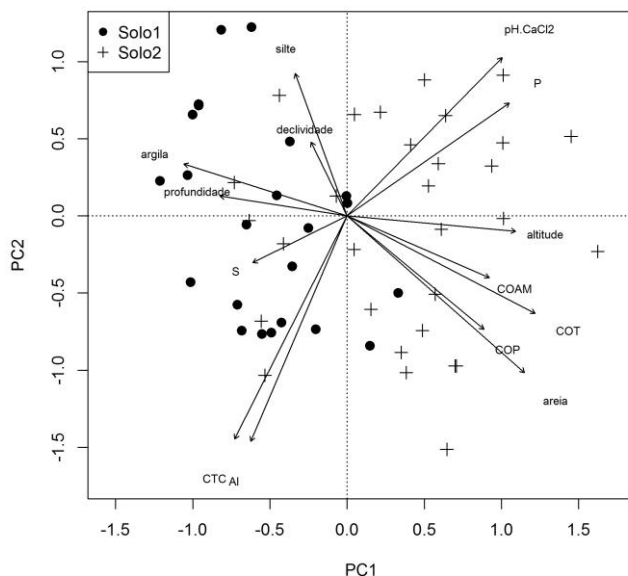
O eixo 2 explicou 22% da variação dos dados e apresentou correlação com o Al (-0,84), CTC (-0,83) e silte (0,53) indicando um gradiente de solos com CTC elevada e associada ao Al.

Esta ACP definiu dois gradientes de solos. No primeiro, os solos estão situados nas cotas altimétricas mais elevadas, são mais rasos com maior teor de COT. Estes solos possuem maior concentração de fósforo. Em relação à textura, na camada de 10 a 30 cm os solos são mais arenosos. Neste gradiente os solos foram classificados como Neossolos Litólicos Distróficos.

Além disso, observa-se correlação da CTC com o alumínio.

O segundo gradiente, visualizado nos quadrantes esquerdos da Figura 9, os solos ocorrem em topografia mais declivosa, são mais profundos, mais argilosos, com menor restrição de nutrientes. Neste gradiente os solos foram classificados como Cambissolos Húmicos Distróficos.

Figura 9. Distribuição dos solos na análise de componentes principais (PCA), considerando o carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM), pH CaCl_2 , alumínio (Al), soma de bases trocáveis (S), capacidade de troca de cátions (CTC), fósforo (P), areia, silte, argila, profundidade, altitude e declividade, na profundidade de 10 a 30 cm.



Fonte: do próprio autor, 2015.

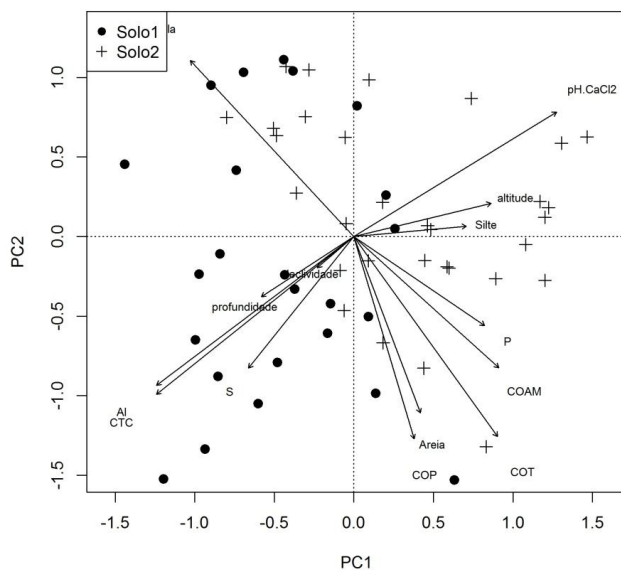
Na profundidade de 30 a 50 cm, conforme a ACP (Figura 10), o eixo 1 explicou 28% da variância total dos dados. Este eixo 1 se correlaciona com o pH (0,78), alumínio (-0,78), fósforo (0,50), CTC (0,76), COAM (0,55), areia (0,72), argila (-0,66), profundidade (-0,52) e altitude (0,53).

O eixo 2 explicou 25% da variação dos dados e se correlacionou com o teor de COT (-0,75), COP (-0,76), argila (-0,66) e areia (-0,66).

Na profundidade de 30 a 50 cm a ACP definiu dois gradientes de solos. O gradiente de solos identificados nos quadrantes à direita da Figura 10, nas cotas mais elevadas possui maior teor de COT, são mais arenosos e menos ácidos. Foram classificados como Neossolos Litólicos Distróficos. Nestes, o fósforo está associado ao carbono orgânico mais protegido.

Nos quadrantes esquerdos, ocorrem os solos mais ácidos e com menor restrição de nutrientes. Nas menores cotas e maior declividade, predominam solos mais ácidos. A CTC está associada ao alumínio. Além disso, os solos são mais profundos e mais argilosos. Estes solos foram enquadrados como Cambissolos Húmicos Distróficos.

Figura 10. Distribuição dos solos na análise de componentes principais (ACP), considerando o carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM), pH CaCl_2 , alumínio (Al), soma de bases trocáveis (S), capacidade de troca de cátions (CTC), fósforo (P), areia, silte, argila, profundidade, altitude e declividade, na profundidade de 30 a 50 cm.



Fonte: do próprio autor, 2015.

4.4 CONCLUSÃO

Os resultados dos atributos químicos e físicos analisados confirmaram a ocorrência de Cambissolos Húmicos Distróficos e Neossolos Litólicos Distróficos, os quais demonstraram forte correspondência aos dois grupos de vegetação.

Os solos identificados apresentam características associadas à sua posição no relevo. Portanto, este aliado às condições ambientais demonstra ser indicador de formação do solo, ao condicionar a profundidade, pedregosidade, textura e fertilidade, assim como os processos de humificação da matéria orgânica do solo.

4.5 REFERÊNCIAS

BENITES, Vinicius de Melo; MADARI, Beáta; MACHADO, Pedro Luiz Oliveira de Almeida. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. **Floresta e Ambiente** V. 10, n.1, p.76 - 85, jan./jul. 2003.

BOCHNER, Julia Kishida. **Serviços ambientais prestados pela floresta de Mata Atlântica na qualidade do solo.** (monografia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Florestas. Seropédica, RJ. 2007.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT; E. T.. Participate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Vol. 56, May-June 1992.

CAMPOS, Milton César Costa et al. Interferências dos pedoambientes nos atributos do solo em uma topossequência de transição Campos/Floresta. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 4, p. 527-535, out-dez, 2010.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo.** 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**; **2004.721 p.** Embrapa Solos. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 46).

WREGE, M. et al. Atlas Climático da Região Sul do Brasil. Pelotas, SC: Embrapa, 2011. 332 p.

GONÇALVES, Iolanda de Sena et al. Fatores edáficos e as variações florísticas de um trecho de mata ciliar do Rio Gualaxo do Norte, Mariana, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.6, p.1235-1243, 2011.

HIGUCHI, Pedro et al. Influência de variáveis ambientais sobre o padrão estrutural e florístico do componente arbóreo, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Lages. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 79-90, jan.-mar., 2012.

HIGUCHI, Pedro et al. Florística e estrutura do componente arbóreo e análise ambiental de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Altomontana no município de Paineira, SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 153-164, jan.-mar., 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro. 2ª Edição. 2012.

IVANAUSKAS, NATÁLIA MACEDO. **Caracterização Florística e Fisionômica da Floresta Atlântica sobre a Formação Pariqueira-Açu, na Zona da Morraria Costeira do Estado de São Paulo**. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia. 2007.

KOEHLER, Alexandre; GALVÃO, Franklin; LONGHI, Solon Jonas. Floresta Ombrófila Densa Altomontana: aspectos florísticos e estruturais de diferentes trechos na Serra do mar, PR. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 27-39 27. 2002.

KONONOVA, M.M. **Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona, Oikos-tau, Espanha. 1982. 364 pp.

LAL, Rattan. **Métodos para a avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 1999. 97p. (Documentos, 03)

MAFRA, Álvaro Luis.; et al. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore** vol.32 no.2 Viçosa Mar./Apr. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/cielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-6762200800020000 4>. Acesso em 06/02/2015.

MARTINS-RAMOS, Daiane; CHAVES, Camila L., Bortoluzzi, Roseli L. da C.; MANTOVANI, Adelar. Florística de Floresta Ombrófila Mista Altomontana e de Campos em Urupema, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de**

Biociências., Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 156-166, abr./jun. 2011.

OKSANEN, Jari F. et al. 2012. **Vegan**: Community Ecology Package. R package version 1.17-2. 2012. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=vegan>> Acesso em: 15 set. de 2014.

PILLAR, Valério De Patta. Clima e vegetação. UFRGS. 1995. Disponível em: <<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>>. Acesso em: 11/07/2013.

PUCHALSKI, Ângelo. **Variações edafo-climáticas e ocorrência natural da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no Estado de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – UFSC, 2004 85 p.

R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 09 set. 2014.

RODRIGUES, Luciene Alves et al. Efeitos de solos e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual, em Luminárias, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.31, n.1, p. 25-25, 2007. Disponível em: < http://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_2_0.pdf> Acessado em 20/05/2013.

SANTOS, Danilo Rheinheimer dos; GATIBONI, Luciano Colpo; KAMINSKI, João. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.576-586, mar-abr, 2008.

SCHEER, Maurício Bergamini. **Ambientes alto montanos no Paraná**: Florística vascular, estrutura arbórea, relações pedológicas e datações por ^{14}C . Tese. Universidade Federal do Paraná. 2010. 153p. (Tese de Doutorado)

SCHEER, Maurício Bergamini; CURCIO, Gustavo Ribas; RODERJAN, Carlos Vellozo. Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1113-1126, 2011.

SCHEER, Maurício Bergamini; MOCOCHINSKI, Alan Yukio. Florística vascular da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná. **Biota Neotropica** Vol.9 no.2 Campinas Abril/Junho 2009.

SCHIAVO, Jolimar Antonio et al. Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana-MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:881-889, 2010.

SILVA, Alessandro de Paula. **Influencia da forma e posição da encosta nas características do solo e da regeneração natural de espécies florestais em área de pastagens**

abandonadas. Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2011. 68 f.

SILVA, Vanderlei Rodrigues da; MANFRON, Paulo Augusto. Texto **Gênese do solo. Unidade I - Ambiente Agrícola.** Capítulo 1 - Fatores e Processos de Formação do Solo UFSM. Disponível em:
<http://www.cesnors.ufsm.br/professores/vanderlei/elementos-da-ciencia-do-solo/Unidade%20I_Rochas_Fatores_Proc_for_solo.pdf> Acesso em: 15/02/2014.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 10.ed. Porto Alegre: 2004. 400p.

SOUZA, Gilberto B. et al. Análise exploratória de resultados de análise de solos utilizando métodos quimiométricos baseados nas componentes principais. **Anais da 25ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química – SBQ.** 2007.

TESKE, Rodrigo. **Relações solo – litologia numa sequência de solos desenvolvidos de rochas efusivas no Planalto Sul de Santa Catarina.** Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. 121 p. Lages, 2010.

VASHCHENKO, Yury et al. Solos e vegetação dos Picos Camacua, Camapuã e Tucum – Campina Grande Do Sul – PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.8, n.4, p.411-419, 2007.

VASCHENKO, Yury et al. Aspectos ambientais da trilha via noroeste do Parque Estadual Pico do Marumbi.,PR. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 4, p. 535 - 548, out. / dez. 2013.

VELOSO, Henrique Pimenta.; RANGEL FILHO, Antônio Lourenço Rosa; LIMA, José Carlos Alves. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE, Rio de Janeiro, 1991.

5 TEORES E FRAÇÕES DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM GRADIENTE DE RELEVO DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA ALTO-MONTANA, NO PLANATO CATARINENSE

RESUMO

A matéria orgânica do solo pode ser utilizada como um dos principais indicadores de sustentabilidade e qualidade do solo. Assim, o objetivo deste estudo foi o de caracterizar os teores e frações do carbono orgânico do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana. Para tanto, foram instalados quatro transectos transversais à encosta do terreno, subdivididos em parcelas contíguas de 10 x 20 m, para acompanhamento do gradiente de declividade. Nestas parcelas foram coletadas amostras compostas, nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm para análise do carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM). As frações huminas (H), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) foram analisadas na camada de 0 a 10 cm. A partir do fracionamento químico, foram calculadas as relações entre as frações húmicas, C ácido húmico e C ácido fúlvico (C-FAH/C-FAF), entre o C do extrato alcalino com o C da fração humina (C-EA/C-HUM). A serapilheira depositada sobre o solo foi coletada em cada parcela. Neste ambiente as parcelas de cotas mais elevadas e menos declivosas apresentaram menor quantidade de serapilheira e maior teor de COT, com predomínio de COAM, indicando menor grau de humificação. Em cotas mais baixas houve predomínio de humina, indicando maior humificação da matéria orgânica, o que denota a influencia das condições climáticas, altitude, topografia e vegetação na dinâmica do COT.

Palavras-chave: Solo. Carbono orgânico total. Fracionamento químico e físico.

ABSTRACT

Soil organic matter can be used as one of the main indicators of soil sustainability and quality. Thus, the objective of this research was to characterize contents and fractions of soil organic carbon in a fragment from upper montane mixed-rain forest. Four transects across the slope were installed, subdivided into plots of 10 x 20 m in order to cover a slope gradient. From those plots composed soil samples were collected from 0 to 10, 10 to 30 and 30 to 50 cm depth to analyze total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC) and organic carbon associated to minerals (COAM). The analysis of humin (H), humic acid (HA), fulvic acid (FA) fractions were performed to layer 0 to 10 cm. From this chemical fractionation, it was calculated the ratio humin and C fulvic acid (FAH-C/ C-FAF), and the ratio C alkaline extract and humin fraction (C-EA/ C-HUM). Litter samples were collected from each plot. In this area, plots from higher altitude and lower slope showed less quantity of litter and higher TOC content with the predominance of humin, indicating a lower humification level. Areas with lower altitude have predominance of humin, indicating greater organic material humification, so reflecting the influence of weather conditions, altitude, slope and vegetation on COT dynamics.

Keywords: Soil. Total organic carbon. Chemical and physical fractionation.

5.1 INTRODUÇÃO

A matéria orgânica influencia diversas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, como a estrutura, retenção de água, ciclagem de nutrientes, troca de cátions e atividade microbiológica (STEVENSON, 1994). Sendo assim considerada a fonte primária de nutrientes às plantas e seu conteúdo é apontado como um dos principais indicadores de sustentabilidade e qualidade do solo (CUNHA et al., 1993).

Em ambientes de florestas, a vegetação tem importante contribuição na incorporação de material orgânico ao solo, devido à deposição de restos vegetais na superfície do solo. Em solos sem interferência antrópica como das áreas de vegetação natural, o teor de matéria orgânica demonstra a estabilidade do sistema em relação ao aporte e saída de energia e matéria (ANDRADE, 2013). Os estoques de carbono e nutrientes da serapilheira e parte aérea são importantes na definição do balanço de carbono e de nutrientes e podem servir como indicadores da capacidade produtiva dos diversos fragmentos florestais da Floresta Atlântica, que possuem solos com baixa fertilidade (CUNHA et al., 1993). A dinâmica do carbono no solo, associada aos nutrientes minerais, é afetada por fatores como clima, tipo de solo, cobertura vegetal e práticas de manejo Mafra et al., (2008).

Ambientes alto-montanos pela posição diferenciada no relevo, associada à dinâmica evolutiva das vegetações campo e floresta, relacionadas às mudanças climáticas passadas, propiciaram fatores de seleção de espécies vegetais. Conforme Higuchi et al. (2013), nestes ambientes, a menor incidência de radiação solar associada à condição nebulosa, resulta na baixa evapotranspiração que, combinada ao predomínio de solos rasos, reflete um ambiente ecologicamente seletivo. Para Scheer (2010), estes fatores associados resultaram na alta biodiversidade ao longo dos gradientes altitudinais, com elevada taxa de endemismo e maior acúmulo de matéria

orgânica no solo. Ainda neste sentido, Scheer e Mocoichinski (2009) consideram que, aliada a estas condições, as baixas temperaturas reduzem as taxas de decomposição da biomassa e, como consequência promovem acúmulo de matéria orgânica nos solos. Em decorrência, a funcionalidade ambiental desses ecossistemas deve-se ao fato de possuírem alto potencial de fixação de carbono e de armazenamento hídrico.

A matéria orgânica influencia diretamente a estrutura do solo ao melhorar sua agregação. Stürmer et al. (2011), ao quantificarem os teores de carbono orgânico em decorrência do uso do solo, na bacia hidrográfica do Arroio Lino, localizada na encosta basáltica do Rio Grande do Sul, consideraram que no Neossolo da área, por ser um solo raso, em grande declividade e devido a erosão, o carbono orgânico é perdido rapidamente. Além disso, pelo fato da maior parte da matéria orgânica estar nas camadas superficiais, há grande possibilidade de liberação de CO₂ para a atmosfera caso a vegetação seja retirada e o solo revolvido por práticas de manejo inadequado, na conversão da área para a produção agrícola ou pecuária. Assim, para melhorar a capacidade de prever, propor e executar ações para amenizar as consequências das mudanças climáticas globais relacionadas aos gases de efeito estufa, a sociedade depende, em parte, do conhecimento das quantidades de carbono orgânico em diferentes tipos de solos e de vegetação e dos fatores que influenciam sua distribuição (SCHEER, CURCIO e RODERJAN, 2011).

Portanto, estudos do solo em condições naturais podem contribuir para o entendimento da dinâmica do carbono em diferentes tipos de solos, bem como, dos fatores que influenciam sua distribuição e das relações com os meios físico e biológico (IVANAUSKAS, 1997). A fim de contribuir para esta compreensão, o objetivo deste estudo foi analisar o teor de carbono orgânico total e suas frações químicas e físicas do solo em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em área localizada no município de Urupema – SC, com altitude entre 1419 e 1489 m, entre as coordenadas geográficas 27° 57' 39'' a 27° 58' 64'' latitude Sul, e 49° 50' 66'' a 49° 50' 55'' longitude Oeste.

O clima da região é do tipo Cfb, pela classificação climática de Köppen, mesotérmico úmido com chuvas bem distribuídas durante o ano e precipitação média anual de 1.789 mm. Conforme dados do IBGE (2012), a temperatura média anual é de 13°C. A geomorfologia é composta pelas unidades Planalto de Lages, Planícies Fluviais e Serra Geral. Assim, os solos são desenvolvidos a partir de rochas efusivas ácidas da Formação Serra Geral, com ocorrência de riolitos e riodacitos. Com predomínio de Neossolos Litólicos Distróficos A proeminente, textura argilosa, relevo ondulado e forte ondulado e Cambissolo Álico Tb A húmico, de textura argilosa em relevo ondulado. A vegetação é de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana, em condição de relevo forte ondulado a ondulado, intercalada por campos naturais e áreas úmidas em relevo plano a suave ondulado (IBGE, 2012).

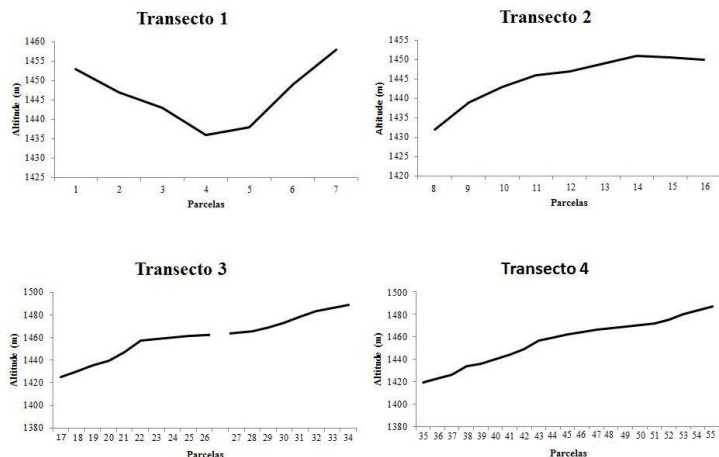
Importante nos teores de carbono orgânico total, a área apresenta dois grupos florísticos. O primeiro com alta densidade da espécie indicadora *Dicksonia sellowiana* (xaxim) e, o segundo sem espécie indicadora e sem destaque para o xaxim.

A caracterização dos solos em gradientes de drenagem foi realizada em quatro transectos (T1, T2, T3 e T4), transversais à encosta (Figura 11).

Os transectos foram subdivididos em subunidades contíguas de 10 x 20 m (200 m²), para acompanhamento do gradiente de declividade, totalizando 55 unidades amostrais em uma área de 11.000m². Cada subunidade foi demarcada em campo, com canos de PVC, no centro e nas quatro extremidades. As 55 parcelas estão distribuídas da seguinte

forma: sete no transecto um; nove transecto dois; dezoito no transecto três e vinte e uma no transecto quatro.

Figura 11. Perfil das parcelas em relação à altitude.



Fonte: do próprio autor, 2014.

O solo foi coletado nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm, constituindo três amostras por parcela. Cada amostra composta foi obtida pela mistura e homogeneização do solo coletado em nove pontos da parcela (Figura 12). Em cada parcela o solo foi coletado em nove pontos. Os pontos amostrais amostras de solo coletado de 0 a 10 cm na parcela, foram misturadas, formando uma amostra composta. O mesmo procedimento foi realizado com o solo das profundidades 10 a 30 cm e 30 a 50 cm. Sendo assim, em cada parcela foram coletadas três amostras compostas de solo. Cada parcela foi demarcada em campo, com canos de PVC, no centro e nas quatro extremidades.

Figura 12. Representação da localização dos pontos de coleta de solo nas parcelas.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

Fonte: do próprio autor, 2015.

A serapilheira foi coletada dentro de gabarito de madeira, com as dimensões de 0,25 x 0,25 m, em três pontos em cada parcela 10 x 20 m, distribuídos de forma transversal ao eixo principal. No laboratório, as amostras foram pesadas, identificadas e armazenadas em saco de papel. Posteriormente, foram colocadas para secar em estufa com circulação e renovação de ar a temperatura de 65 °C até massa constante.

A coleta das amostras de solo foi realizada em nove pontos de cada uma das parcelas distribuídos três a três na linha inicial, central e final de cada uma das subunidades de 20 x 10 m.

O solo foi coletado, com tradagens, nas profundidades de 0 a 10 cm, 10 a 30 cm e 30 a 50 cm. Cada amostra composta com cerca de 500 gramas, obtida pela mistura e homogeneização por classes de profundidade, ou seja, as nove amostras de solo coletado foram misturadas, formando uma amostra composta. As amostras de solo foram secas ao ar posteriormente trituradas e peneiradas em malha de 2,0mm.

O carbono orgânico total nas três profundidades foi determinado pelo método de oxidação úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico e titulado com solução padrão de sulfato ferroso (TEDESCO et al., 1995).

O fracionamento químico da matéria orgânica do solo em ácido húmico, ácido fúlvico e humina foi realizado com

base no método Kononova-Belchikova, descrito por Kononova (1982), apenas na camada superficial.

Também, foram calculadas as relações entre as frações húmicas, ácido húmico e ácido fúlvico (AH/AF), relação entre o C do extrato alcalino ($EA=AF+AH$) com o C da fração humina (EA/H).

O fracionamento físico da matéria orgânica para determinação do carbono orgânico particulado (COP) foi realizado segundo Cambardella e Elliot (1992), sendo o carbono orgânico associado aos minerais (COAM) calculado pela diferença entre o COT e o COP.

As relações entre as variáveis foram avaliadas por meio da análise de componentes principais (ACP). Para a ACP as parcelas foram agrupadas como solo 1 e solo 2. Para tanto, levou-se em consideração o levantamento florístico, realizado concomitantemente a este trabalho, que identificou dois grupos florísticos na área. O primeiro com predomínio da espécie indicadora *Dicksonia sellowiana* (xaxim), correspondente ao grupo solo 1 e, o segundo sem espécie indicadora correspondente ao grupo solo 2. O método multivariado utilizado considera a correlação entre as variáveis analisadas e visa à redução de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais (SOUZA et al., 2007). Para verificar se os componentes explicaram de forma significativa os gradientes ambientais encontrados foi realizada análise por meio do *Scree plot*. As análises multivariadas foram realizadas por meio do R (R Development Core, 2014), junto com a biblioteca *vegan* (OKSANEN et al., 2012).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A quantidade média de serapilheira acumulada na área estudada foi de 20 Mg ha⁻¹ de massa seca. O maior acúmulo de serapilheira foi relacionado às áreas de cotas mais baixas e com maior declividade, conforme análise de componentes principais, onde predomina o Cambissolo Húmico.

Na região estudada as condições ambientais da região, dificultam a decomposição devido à inibição da atividade microbiana pelas baixas temperaturas, além da elevada concentração de alumínio trocável. Neste sentido, Ruthner e Sevegnani (2012), ao citar estudos sobre o carbono orgânico do solo, correlacionaram o teor de matéria orgânica ao de umidade do solo, sendo que a maior umidade associada à menor temperatura geram melhores condições para o acúmulo de matéria orgânica, pois a taxa de decomposição da matéria orgânica é menor nestas condições. A composição química da serapilheira, ao afetar a fauna edáfica, também influencia a taxa de decomposição desta (SCHEER e MOCOCHINSKI, 2009). Além disso, o acúmulo de biomassa também pode variar de acordo com a origem, espécie, cobertura florestal, estágio sucessional, idade, época da coleta, tipo de floresta e local (CALDEIRA, 2008), sendo que estes fatores decorrem das condições edafoclimáticas, regime hídrico e climático, sítio, sub-bosque, manejo silvicultural, proporção de copa, taxa de decomposição e distúrbios naturais. Ao estudar a produção de serapilheira em Floresta Ombrófila Densa, no município de Ibiúna-SP, Vidal et al. (2007) consideraram que o tamanho do fragmento e grau de isolamento também podem afetar a produção de serapilheira e que porções centrais dos fragmentos, por estarem mais protegidas dos efeitos de borda, tiveram menor produção de serapilheira que as bordas, por possuírem menos espécies de estágios sucessionais iniciais. Em estudo de Caldeira et al. (2008), em Floresta Ombrófila Densa, localizada em Blumenau-SC, os valores de serapilheira

acumulada variaram de 4,5 a 5,3 Mg ha⁻¹. Em outros estudos citados por Ruthner (2012), realizados em fragmentos de floresta em Navegantes e Blumenau (SC), o valor de biomassa seca foi de 10,1 Mg ha⁻¹ e 9,5 Mg ha⁻¹, respectivamente.

5.3.1 Carbono orgânico total e frações

A área estudada apresentou valores expressivos de carbono orgânico total. O teor de COT foi maior na camada de 0 a 10 cm, com média de 123 g/kg no Cambissolo Húmico (solo 1) e de 161 g/kg no Neossolo Litólico (solo 2) (Tabela 5).

Tabela 5. Resultados médios do carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), nas profundidades de 0 a 10, 10 a 30 e de 30 a 50 cm, no Cambissolo Húmico e no Neossolo Litólico.

Cambissolo Húmico (solo 1)			Neossolo Litólico (solo 2)		
COT	COP	COAM	COT	COP	COAM
g/kg			g/kg		
0 a 10 cm					
123	43	80	161	63	98
10 a 30 cm					
78	22	56	92	26	66
30 a 50 cm					
64	24	40	72	22	50

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

Os teores elevados de COT identificados neste estudo podem ser associados à adição de serapilheira e aos processos de permanência e decomposição no solo, que são influenciados por diferentes fatores ambientais. Destes a vegetação gera um microclima estável e adequado à manutenção de umidade e da temperatura do solo, reduzindo à atividade microbiana e mantendo a matéria orgânica (CASTRO, 2008). Outros estudos sobre teores de COT em solo de Floresta Ombrófila

Mista Montana no estado de SC, também indicaram concentrações maiores na camada de 0 a 5 cm, os quais foram justificados pelo acúmulo de material orgânico em superfície, resultado da degradação da serapilheira (RUTHNER e SEVEGNANI, 2012).

Em estudo de Mafra et al. (2008), desenvolvido em Campo Belo do Sul, SC, o teor médio de carbono orgânico de 0,0 a 0,40 m na mata nativa de araucária, foi de $29,4 \text{ g kg}^{-1}$, sendo que em profundidade este teor diminuiu, assim como foi observado neste estudo. Conforme Ebeling (2013), em estudo de substâncias húmicas em Organossolos em diferentes ambientes do Brasil, abrangendo regiões alto-montanas e de planalto, os valores mínimo e máximo de COT foram de 3,5 e $105,7 \text{ g/kg}$.

A matéria orgânica do solo nas condições brasileiras, em regiões mais frias e úmidas como a área deste estudo, apresenta índice de decomposição de material orgânico menor que a produção, ocasionando acúmulo na superfície do solo (DIAS et al., 2003). Vashchenko et al. (2007) atribuíram a baixa decomposição da MO com a pouca atividade microbiana, que decorre das baixas temperaturas, da escassez de nutrientes no solo e de elevados teores de alumínio trocável, também limitante da atividade microbiana. Ainda neste sentido, o estudo de Puchalski (2004), sobre a relação das características de populações naturais de *Araucaria angustifolia* com características climáticas e edáficas em áreas de ocorrência natural da espécie, indica que os municípios de São Joaquim e São José do Cerrito, apresentaram os teores mais elevados de matéria orgânica do solo, e que esses resultam da menor mineralização da matéria orgânica, devido às baixas temperaturas médias, na região.

Quanto ao fracionamento físico da matéria orgânica do solo, os valores médios do COAM superam os do COP, nas três profundidades. Na camada superficial as médias do COAM, quanto às do COP, foram superiores às demais

camadas (Tabela 4). Esse resultado indica o predomínio de matéria orgânica mais protegida da decomposição e compatível com as condições ambientais e de solo da região. O predomínio do COAM pode ser associado ao desenvolvimento do solo da região sobre rochas ígneas, que apresentam valores de silte e argila ligeiramente superiores aos solos desenvolvidos sobre quartzito (BENITES, 2010), os quais promovem proteção da matéria orgânica à decomposição.

Considerando o fracionamento químico da matéria orgânica, 68% do COT é constituído por substâncias húmicas, na camada superficial. Os teores de H foram superiores à combinação AH+AF (Tabela 6), tanto no Cambissolo Húmico (solo 1), quanto no Neossolo Litólico (solo 2). Este resultado pode ser associado ao predomínio de COAM, forma na qual o carbono orgânico está mais protegido da mineralização.

Tabela 6. Resultados médios do carbono orgânico total (COT), carbono das frações humina (H), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), soma substâncias húmicas (HFH) e índices das relações AH/AF e AHAF/H, na profundidade de 0 a 10 cm, no Cambissolo Húmico (solo 1) e no Neossolo Litólico (solo 2).

Solo	COT	H	AH	AF	HFH	AH/AF	AHAF/H
g/kg							
1	123	41	30	29	59	1,03	1,44
2	161	48	27	25	52	1,08	1,08

Fonte: produção do próprio autor, 2015.

A relação AH/AF que indica a taxa de conversão do carbono orgânico insolúvel do solo em frações solúveis, apresentou média de 1,03 no Cambissolo Húmico (solo 1) e de 1,08 no Neossolo Litólico (solo 2).

Relações AH/AF superiores a 1,0 são explicadas pelas condições de solo e clima onde os processos de polimerização e condensação são favoráveis. Além disso, valores acima de 1

apontam a humificação da matéria orgânica (FONTANA et al., 2010). Este resultado está associado com a menor polimerização da matéria orgânica e com o predomínio de COAM na área. Esse dado pode ser associado à natureza química dos resíduos vegetais que apresentam maior teor de lignina e assim, matéria orgânica mais resistente às variações climáticas, químicas e microbiológicas que determinam a velocidade da degradação da matéria orgânica do solo. Conforme Ebeling (2011), as características químicas e estruturais da matéria orgânica do solo e sua interação com a fração mineral determinam a intensidade de sua transformação no solo, assim o estágio final do processo de humificação se caracteriza pela estabilização química e física dos compostos orgânicos com a fração mineral do solo.

Quanto aos resultados da relação AHAF/H (Tabela 6), o predomínio de huminas resulta da remoção dos AH e AF do solo. Valores acima de 1 demonstram que a humina, fração humificada mais estável, não supera os AH e AF, mais lábeis e solúveis. Esta relação sugere a iluviação de matéria orgânica no solo (MARTINS et al., 2009) e, ao se relacionar aos processos pedogenéticos possibilita a identificação de zonas de movimentação ou acúmulo de carbono (BENITES, MADARI e MACHADO, 2003), próprias de relevo ondulado como o da área estudada.

5.3.2 Análise de componentes principais

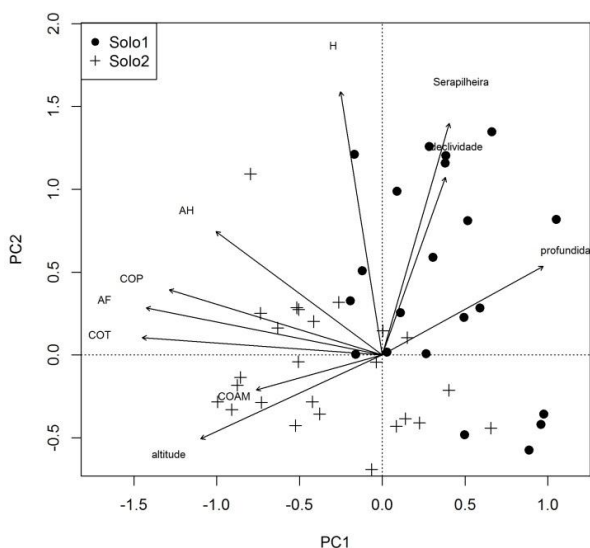
Na ACP da profundidade de 0 a 10 cm (Figura 13) o eixo 1 explicou 35% da variação total dos dados e indicou maior correlação com o COT (-0,86), COP (-0,76), AF (-0,84), AH (-0,59), altitude (-0,65) e profundidade (0,58).

No gradiente de solos, observado nos quadrantes esquerdos da Figura 13, o carbono orgânico total está associado aos AF e AH. O predomínio de AF e AH, em relação às huminas indica menor humificação da matéria orgânica, nas

cotas mais elevadas. Este corresponde ao Neossolo Litólico Distrófico.

O eixo 2 explicou 17% da variância dos dados e se correlacionou principalmente com a serapilheira (0,70) e H (-0,79) e declividade. Neste gradiente, visualizado no quadrante superior direito, observa-se solos em áreas de maior declividade, onde ocorre a maior quantidade de serapilheira e maior concentração de huminas, correspondente a maior humificação da matéria orgânica. Este corresponde ao Cambissolo Húmico.

Figura 13. Distribuição dos solos na análise de componentes principais (ACP), considerando o carbono orgânico total (COT), huminas (H), ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), além da profundidade, altitude, declividade e serapilheira, na camada de 0 a 10 cm.

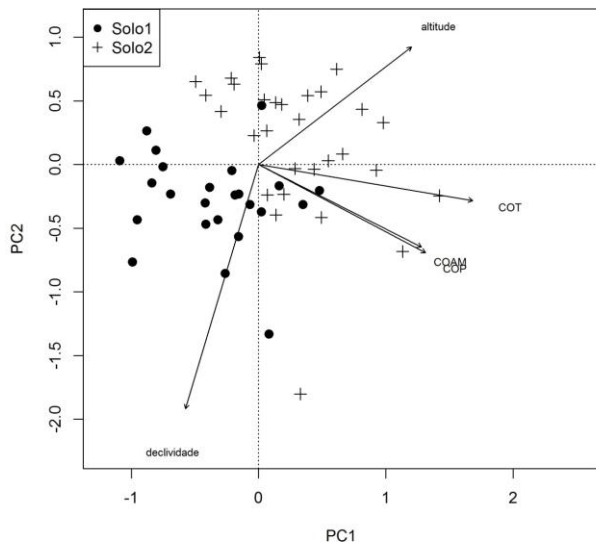


Fonte: do próprio autor, 2015.

Na ACP da profundidade de 10 a 30 cm (Figura 14) o eixo 1 explicou 45% da variância dos dados e indicou maior correlação do COT (0,89) com as frações COAM (0,68), COP (0,70) e altitude (0,64). O carbono total apresentou maior correlação com forma mais protegida, o que coincide com o aumento do teor de argila quando comparado com a camada superficial. Os solos representados no quadrante inferior direito da Figura 14 tem maior profundidade e localizam-se em áreas de encostas, mais declivosas.

O eixo 2 discriminou 22% da variação dos dados, onde se observa correlação somente com a declividade (-0,85). Neste gradiente os solos em cotas mais elevadas ocorrem em relevo menos declivoso.

Figura 14. Distribuição dos solos na análise de componentes principais (ACP), considerando o carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), além da profundidade, altitude e declividade, na camada de 10 a 30 cm.



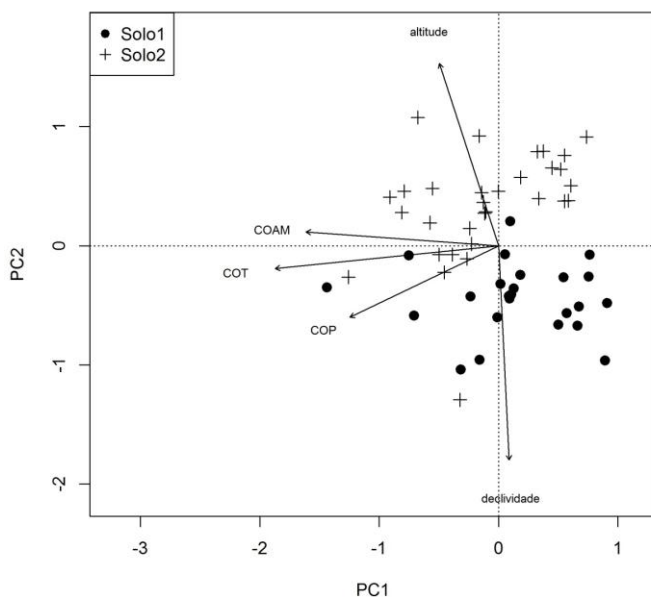
Fonte: do próprio autor, 2015.

Na ACP de 30 a 50 cm (Figura 15) o componente principal 1 explicou 44% da inércia total dos dados e apresentou maior correlação com o COT (-0,99), COAM (-0,85) e COP (-0,65). O eixo 2 explicou 25% e se correlacionou com a altitude (-0,83) e declividade (0,63). Neste gradiente o COT está mais relacionado ao COAM, quando comparado ao COP, indicando a presença de formas mais estáveis de carbono. Os solos localizados nas maiores cotas são menos ácidos. Esses foram classificados como Neossolos Litólicos Distróficos.

O eixo 2 discriminou 25% da variância e está correlacionado com a altitude (0,70) e declividade (-0,83).

Solos identificados no quadrante inferior esquerdo da Figura 15 apresentam maior profundidade e localizam-se em áreas de encostas. Apresentam menor restrição de nutrientes, com CTC associada ao alumínio. Estes solos foram classificados como Cambissolo Húmicos Distróficos.

Figura 15. Distribuição dos solos na análise de Componentes principais (ACP), considerando carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM), além da profundidade, altitude e declividade, na camada de 30 a 50cm.



Fonte: do próprio autor, 2015.

5.4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos confirmaram a hipótese de que o relevo, no ambiente estudado, influencia o desenvolvimento do solo. Estes indicaram duas classes de solos, relacionadas aos teores de carbono orgânico total e suas frações, os Neossolos com teores mais elevados que os Cambissolos.

Neste ambiente relevo associado aos demais fatores ambientais, condicionam a deposição e decomposição da biomassa e assim, os teores de carbono orgânico total e suas frações. Destacam-se o clima frio e as restrições de fertilidade do solo como redutores da atividade biológica e, portanto da humificação da matéria orgânica.

Portanto, os elevados teores de carbono orgânico no solo e a pouca humificação da matéria orgânica podem servir como indicativos da importância de se reconhecer estas áreas como relevantes para o estoque de carbono no solo.

5.5 REFERÊNCIAS

ANDRADE, Andreia Patricia. **Estoque e frações de carbono e atributos físicos em Nitossolo vermelho relacionados à aplicação de esterco em sistemas de produção**. Tese (Doutorado em Manejo do Solo). Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2013.

BENITES, Vinicius de Melo; MADARI, Beáta; MACHADO, Pedro Luiz Oliveira de Almeidal. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. **Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v. 10, n.1, p.76 - 85, jan./jul. 2003.

BENITES, Vinicius M.; MADARI, Beáta; MACHADO, Pedro Luiz O. de A. EMBRAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Extração e Fracionamento Quantitativo de Substâncias Húmicas do Solo: um Procedimento Simplificado de Baixo Custo**. Comunicado Técnico n. 16. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

CALDEIRA, Marcos Vinicius et al. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, jan./mar. 2008.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT; E. T.. Particulate e Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Vol. 56, May-June 1992.

CASTRO, Gisele Cristina de. **Carbono orgânico nas frações granulométricas e húmicas em solos de diferentes texturas sob floresta da região noroeste matogrossense**. 2008. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambiental) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. Disponível em: < <http://www.ufmt.br/ufmt/un/pulicacao/ppgcfa/14?busca=&filtro=&categoria=>>. Acessado em 02/06/2012.

CUNHA, Girlei Costa et al. Dinâmica nutricional em floresta estacional decidual com ênfase aos minerais provenientes da deposição da serapilheira. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v.3, n.1, p. 35-64, 1993.

DIAS, H. C. T. et al. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:469-481, 2003.

EBELING, Adierson Gilvani. **Características estruturais da matéria orgânica do solo em organossolos háplicos**. Universidade Rural do Rio de Janeiro. 2010. (Tese de doutorado).

EBELING, Adierson Gilvani et al. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.157-165, 2011.

EBELING, Adierison Gilvani et al. Substâncias húmicas e suas relações com o grau de subsidência em Organossolos de diferentes ambientes de formação no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 225-233, abr-jun, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. 1997. 212 p.

FONTANA, Ademir et al. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos Brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, 2010.

HIGUCHI, Pedro et al. Florística e estrutura do componente arbóreo e análise ambiental de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Altomontana no município de Paineira, SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 153-164, jan.-mar., 2013.

IVANAUSKAS, Natália Macedo. **Caracterização Florística e Fisionômica da Floresta Atlântica sobre a Formação Pariquera-Açu, na Zona da Morraria Costeira do Estado de São Paulo**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Biologia. 2007.

KONONOVA, M. M. **Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona: Oikos-tau, 1982. 364 p.

MAFRA, Álvaro Luis et al. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. *Revista Árvore* vol.32 no.2 Viçosa Mar./Apr. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/cielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-6762200800020000 4>. Acesso em 06/02/2015.

MARTINS, Eucarlos De Lima; CORINGA, Josias do Espírito Santo; WEBER, Oscarlina Lúcia dos Santos. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico – LVAd sob diferentes agrossistemas. **Acta Amazônica**. Vol. 39(3) 2009: 655 - 660.

OKSANEN, Jari F. et al. 2012. **Vegan**: Community Ecology Package. R package version 1.17-2. 2012. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=vegan>> Acesso em: 15 set. de 2014.

PUCHALSKI, Ângelo. **Variações edafo-climáticas e ocorrência natural da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no Estado de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – UFSC, 2004 85 p.

R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 09 set. 2014.

RUTHNER, Roberta Ribas; SEVEGNANI, Lúcia. Teores de carbono armazenado no solo e na serapilheira sob floresta

ombrófila densa de terras baixas e submontana do Vale do Itajaí, SC. **Revista Científica Semana Acadêmica**, ed. 8, v. 1. 2012. Disponível em:
<http://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_2_0.pdf> Acesso em: 03/04/2013.

SCHEER, Maurício Bergamini; MOCOCHINSKI, Alan Yukio. Florística vascular da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná. **Biota Neotropica** Vol.9 no.2 Campinas Abril/Junho 2009.

SCHEER, Maurício Bergamini. **Ambientes altomontanos no Paraná: Florística vascular, estrutura arbórea, relações pedológicas e datações por ^{14}C** . Tese. Universidade Federal do Paraná. 2010. 153p. (Tese de Doutorado)

SCHEER, Maurício Bergamini; CURCIO, Gustavo Ribas; RODERJAN, Carlos Vellozo. Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1113-1126, 2011.

SOUZA, Gilberto B. et al. Análise exploratória de resultados de análise de solos utilizando métodos quimiométricos baseados nas componentes principais. **Anais da 25a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química – SBQ**. 2007.
STEVENSON, J.F. **Humus chemistry, gênese, composition, reactions**. New York; John Wiley, 1994. 496p.

STÜRMER, Sidinei Leandro Klöckner et al. Variações nos teores de carbono orgânico em função do desmatamento e

revegetação natural do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 241-250, abr.-jun. 2011.

TEDESCO, M.J.; Gianello, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; Volkweiss, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p.

VASHCHENKO, Yury et al. Solos e vegetação dos Picos Camacuã, Camapuã e Tucum – Campina Grande Do Sul – PR. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.8, n.4, p.411-419, 2007.

VIDAL, Mariana Morais et al. Produção de serapilheira em floresta Atlântica secundária numa paisagem fragmentada (Ibiúna, SP): importância da borda e tamanho dos fragmentos. **Revista Brasil Botânica**. V.30, n.3, p.521-532, jul.-set. 2007.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto atual, a escassez de água, degradação do solo, poluição e as alterações climáticas, associadas ao aquecimento global são algumas das condições que demonstram o desequilíbrio no uso dos recursos dos recursos naturais e da forma de ocupação dos espaços.

Os atributos analisados expuseram um ambiente frágil ao uso inadequado, demonstrando que a preservação ambiental necessita de premissas científicas para definir as formas uso do solo. Portanto, neste ambiente alto-montano atividades antrópicas devem ser planejadas, de forma a preservar a vegetação nativa como forma de proteção do solo, preservação de nascentes e espécies animais.

Assim, estudos complementares a este se fazem necessários e podem fornecer novos elementos para a compreensão da dinâmica desse ecossistema, além disso, fundamentar ações de preservação e recuperação ambiental de áreas com as mesmas características. Neste sentido, se destaca que a integração das ciências do solo às ambientais de maneira a contribuir com o estabelecimento de limites para os atributos do solo sob o ponto de vista de ambiental.

REFERÊNCIAS

BEHLING, Hermann et al. Editores. **Parte 1 História ambiental e cultural dos Campos** Capítulo 1 – Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade – Brasília: MMA, 2009.

BENITES, Vinicius de Melo et al. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. **Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v. 10, n.1, p.76 - 85, jan./jul. 2003.

CAMPOS, Milton César Costa et al. Interferências dos pedoambientes nos atributos do solo em uma topossequência de transição Campos/Floresta. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 4, p. 527-535, out-dez, 2010.

DIAS, H. C. T. et al. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:469-481, 2003.

FLORES, Carlos Alberto; GARRASTAZU, Marilice Cordeiro; ALBA, José Maria Filippini . **Metodologia de zoneamento edáfico de culturas para o Estado do Rio Grande do Sul**—Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 45 p. - (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 261).

GODINHO, Tiago de Oliveira et al. Fertilidade do solo e nutrientes na serapilheira em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual. **Ecologia e Nutrição Florestal, Santa Maria-RS**, v.1, n.3, p.97-109, set./dez., 2013

HIGUCHI, Pedro et al. Florística e estrutura do componente arbóreo e análise ambiental de um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Altomontana no município de Paineira, SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 153-164, jan.-mar., 2013.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, Rio de Janeiro. 2ª Ed. 2012.

LEPESCH, I. **Formação e Conservação dos Solos**. Ed. Oficina de Textos, 2002.

MARTINS-RAMOS, Daiane; CHAVES, Camila L., Bortoluzzi, Roseli L. da C.; MANTOVANI, Adelar. Florística de Floresta Ombrófila Mista Altomontana e de Campos em Urupema, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 2, p. 156-166, abr./jun. 2011.

PASSOS, C. A. M.; COUTO, L. Sistemas agroflorestais potenciais para o Estado do Mato Grosso do Sul. In: Seminário sobre sistemas agroflorestais para O Mato Grosso do Sul, 1., 1997. Dourados. **Resumos**. Dourados: EMBRAPACPAO, 1997. p.16-22. (EMBRAPA-CPAO. Documentos, 10).

POTES, Mariana da Luz et al. Matéria orgânica em neossolo de altitude: influência do manejo da pastagem na sua composição e teor. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 34:23-32, 2010.

PUCHALSKI, Ângelo. **Variações edafo-climáticas e ocorrência natural da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no Estado de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais) – UFSC, 2004 85 p.
REICHERT, José Miguel e colaboradores. **Solos de florestas**. Universidade Federal de Santa Maria. 2009

RESENDE, Mauro; LAN, João Luiz; REZENDE, Sérvulo Batista de. Pedossistemas da Mata Atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. **Revista Árvore** 2002 26(3). Disponível em < <http://www.redalyc.org/pdf/488/48826301.pdf> > Acesso em 25/05/2014.

RUTHNER, R. R.; SEVEGNANI, L. Teores de carbono armazenado no solo e na serapilheira sob floresta ombrófila densa de terras baixas e submontana do Vale do Itajaí, SC. **Revista Científica Semana Acadêmica**, ed. 8, v. 1. 2012. Disponível em: http://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_2_0.pdf. Acesso em: 30/11/2014.

SCHEER, Maurício Bergamini; MOCOCHINSKI, Alan Yukio. Florística vascular da Floresta Ombrófila Densa Altomontana de quatro serras no Paraná. **Biota Neotropica**. Campinas, vol.9 no.2. Abril/Junho 2009.

SCHEER, Maurício Bergamini. **Ambientes Altomontanos no Paraná: Florística vascular, estrutura arbórea, relações pedológicas e datações por ^{14}C** . Tese. Universidade Federal do Paraná. 2010. 153p. (Tese de Doutorado)

SCHEER, Maurício Bergamini; CURCIO, Gustavo Ribas; RODERJAN, Carlos Vellozo. Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35:1113-1126, 2011.

SILVA, Vanderlei Rodrigues da; MANFRON, Paulo Augusto. Texto **Gênese do solo. Unidade I - Ambiente Agrícola**. Capítulo 1 - Fatores e Processos de Formação do Solo UFSM. Disponível em: <[http://www.cesnors.ufsm.br/professores/vanderlei/elementos-da-ciencia-do-solo/Unidade% 20I_Rochas_Fatores_Proc_for_solo.pdf](http://www.cesnors.ufsm.br/professores/vanderlei/elementos-da-ciencia-do-solo/Unidade%20I_Rochas_Fatores_Proc_for_solo.pdf)> Acesso em: 15/02/2014.

SCIPIONI, Marcelo Callegari et al. Análise fitossociológica de um fragmento de floresta estacional em uma catena de solos no Morro do Cerrito, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 457-466, jul.-set., 2012.

TESKE, Rodrigo. **Relações solo – litologia numa sequência de solos desenvolvidos de rochas efusivas no Planalto Sul de Santa Catarina**. Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. 121 p. Lages, 2010.

VASCHENKO, Yury et al. Aspectos ambientais da trilha via noroeste do Parque Estadual Pico do Marumbi. PR, **Revista Floresta**, v. 43, n. 4, p. 535 - 548, out. / dez. 2013.