

# Atributos físicos e químicos do solo em gradiente de declividade sob Floresta Ombrófila Mista alto-montana

## *Soil physical and chemical properties along a slope gradient under upper montane mixed-rain forest*

Lucia Helena Baggio Martins<sup>1(\*)</sup>

Álvaro Luiz Mafra<sup>2</sup>

Julio Cesar Pires dos Santos<sup>3</sup>

Marcos Benedito Schimalski<sup>4</sup>

Pedro Higuchi<sup>5</sup>

## Resumo

Ecossistemas alto-montanos apresentam alta sensibilidade ecológica relacionada às particularidades na dinâmica do carbono, nutrientes e água no solo, que podem variar de acordo com a posição na encosta. O objetivo foi avaliar atributos físicos e químicos do solo e relacioná-los com a variação de relevo. A amostragem foi realizada em quatro transectos, em 55 parcelas, com altitude de 1419 a 1489 m, abrangendo diferentes condições topográficas, em unidades representativas da paisagem regional, sob cobertura vegetal nativa. O solo foi coletado para análises de pH, Al<sup>+3</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e K<sup>+</sup>, fósforo, carbono orgânico total e, frações particulada e associada aos minerais. As análises físicas foram macro e microporosidade, porosidade total e resistência à penetração do solo. As relações entre as variáveis e tipos predominantes de solo, associados ao gradiente de declividade foram determinadas pela análise de componentes principais. Os atributos químicos e físicos do solo, em geral, foram semelhantes ao longo da encosta, evidenciando solos com horizonte superficial hístico, ácidos e pobres em nutrientes. Dois grupos de solos foram associados à condição de relevo: nas áreas de relevo forte ondulado, na porção superior e mediana da encosta, o solo é mais profundo; já nas áreas onduladas e na parte inferior da encosta, o solo é mais raso e com maior teor de carbono orgânico na camada superficial.

**Palavras-chave:** Mata atlântica; Matéria Orgânica do Solo; Relações Solo-Paisagem.

## Abstract

Upper montane ecosystems have high ecological sensibility related with carbon, nutrient cycling and water dynamics in the soil, which may vary depending on the position on the slope. The objective was to assess soil physical and chemical properties and their

1 Departamento ambiente e saúde; Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC Email: lbaggiomartins@gmail.com (\*) Autor para correspondência

2 Dr. Engenheiro Agrônomo; Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias; Endereço: Av. Luiz de Camões, 2090, Conta Dinheiro, CEP: 88520-000, Lages-SC, Brasil; Email: alvaro.mafra@udesc.br

3 Dr. Engenheiro Agrônomo; Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias; Endereço: Av. Luiz de Camões, 2090, Conta Dinheiro, CEP: 88520-000, Lages-SC, Brasil; Email: juliosantos@udesc.br

4 Engenheiro Florestal; Professor do departamento de Engenharia Florestal; Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias; Endereço: Av. Luiz de Camões, 2090, Conta Dinheiro, CEP: 88520-000, Lages-SC, Brasil; Email: marcos@schimalski@udesc.br

5 Engenheiro Florestal; Professor do departamento de Engenharia Florestal; Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias; Endereço: Av. Luiz de Camões, 2090, Conta Dinheiro, CEP: 88520-000, Lages-SC, Brasil; Email: higuchip@udesc.br

Recebido para publicação em 25/06/2019 e aceito em 09/06/2020

relation along a hillslope gradient. Soil sampling was performed in four transects, in 55 plots, with altitude from 1419 to 1489 m, including different topographic conditions, in representative units of the regional landscape, under native vegetation cover. Soil samples were analyzed for pH, Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup>, phosphorus, total organic carbon and particulate (POC) and associated to minerals fractions. Physical analyses were macro and microporosity, total porosity and soil resistance to penetration. The relationships between soil variables and predominant types of soil associated with the slope gradient were determined by the principal components analysis. Soil chemical and physical properties were in general similar along the hillside, indicating soils with histic horizon, acids and low nutrient availability. Two groups of soils were associated with the relief condition: on moderately steep areas, on the upper and middle slope position, soil is deeper; and on the strongly sloping, associated to the lower slope position, the soil is shallower and has higher organic carbon content in the surface depth.

**Keywords:** Atlantic Forest; Soil-Landscape Relationship; Soil Organic Matter.

## Introdução

Ecossistemas alto-montanos são formados por tipologias vegetais em altitude acima de 1000 m, correspondendo, na região sul do Brasil, à Floresta Ombrófila Densa e à Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 2012). Nesses locais, o clima frio e a precipitação elevada condicionam a vegetação e, junto com as condições de relevo, controlam a pedogênese. O desenvolvimento do solo varia conforme a disponibilidade de água, que acentua o intemperismo, e é controlado ainda pela intensidade de erosão do solo, que remove seus constituintes. A menor temperatura, alta umidade e o tipo de serapilheira nesse ambiente interferem no teor de matéria orgânica e na disponibilidade de nutrientes nesses solos (DIAS et al., 2003). Os solos em ambientes de altitude apresentam alta sensibilidade ecológica e são vulneráveis às mudanças no uso da terra, o que pode afetar negativamente seus atributos físicos e teor de carbono orgânico (PINTO et al., 2015).

O conhecimento das relações solo-paisagem é importante para se compreenderem os atributos do solo associados ao relevo e se preverem aspectos relacionados à erosão, assim como informação determinante no planejamento de uso do solo (CAMPOS, 2012). Dessa forma, o relevo acidentado que predomina nos ambientes alto-montanos, com áreas fortemente onduladas e montanhosas é um dos principais condicionantes dos tipos de solo. Neste sentido, Benites et al. (2003), ao caracterizarem solos nos complexos rupestres de altitude, evidenciaram muito baixa disponibilidade de nutrientes do solo, relacionada com a intensidade de lixiviação.

Ao avaliar a influência do relevo em propriedades físicas e químicas e na morfologia de solos em uma topossequência desenvolvida de arenitos Formação Aquidauana (MS), Schiavo et al. (2010) reforçam o papel do relevo na diferenciação dos solos, o que está associado à dinâmica da água e à intensidade de erosão que afetam os solos na topossequência e influenciam o desenvolvimento da vegetação nativa. A maioria dos ambientes alto-montanos apresenta limitações quanto à fertilidade dos solos, que sugerem sua fragilidade. Destacam-se, também, o papel dos nutrientes e a interferência das substâncias orgânicas na ciclagem biogeoquímica dos elementos, associados a condições de solos ácidos e intemperizados e ao tipo de vegetação, como caracterizado em áreas florestais no Planalto Sul Catarinense (MAFRA et al., 2008).

Estudos têm abordado as relações relevo-solo-vegetação em ambientes alto-montanos. Resultados de Soboleski et al., (2017), ao investigar como a heterogeneidade ambiental influencia as variações espaciais dos atributos funcionais e a diversidade funcional do componente arbóreo em uma floresta nebulosa no sul do Brasil, indicaram que o espaço horizontal da floresta nebulosa avaliada foi separado por espécies com diferentes estratégias ecológicas em função de variações edáficas e topográficas. Conforme Gonçalves et al. (2011), áreas em maior altitude corresponderam a solos distróficos e com maiores teores de alumínio trocável, quando comparadas com as de baixadas, que apresentaram maior fertilidade e menor acidez, influenciando a distribuição da vegetação arbórea nesse gradiente. Estudo em fragmento de Floresta Ombrófila Mista em Lages-SC, associando a influência do relevo em atributos edáficos e a distribuição de espécies arbóreas, com o uso da análise de componentes principais, apontou dois grupos de solos; o primeiro, associado às variáveis pH, soma de bases, potássio, cálcio, magnésio, fósforo, matéria orgânica e declividade, e o segundo, correlacionado com alumínio e CTC (HIGUCHI et al., 2012).

Dessa forma, busca-se compreender a influência do relevo na distribuição do carbono e em propriedades do solo em ambientes alto-montanos, uma vez que a posição na paisagem pode afetar a drenagem, a evolução e as propriedades dos solos. Assim, o objetivo deste estudo foi caracterizar atributos físicos e químicos do solo e sua relação com a posição na encosta, em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana.

## Material e Métodos

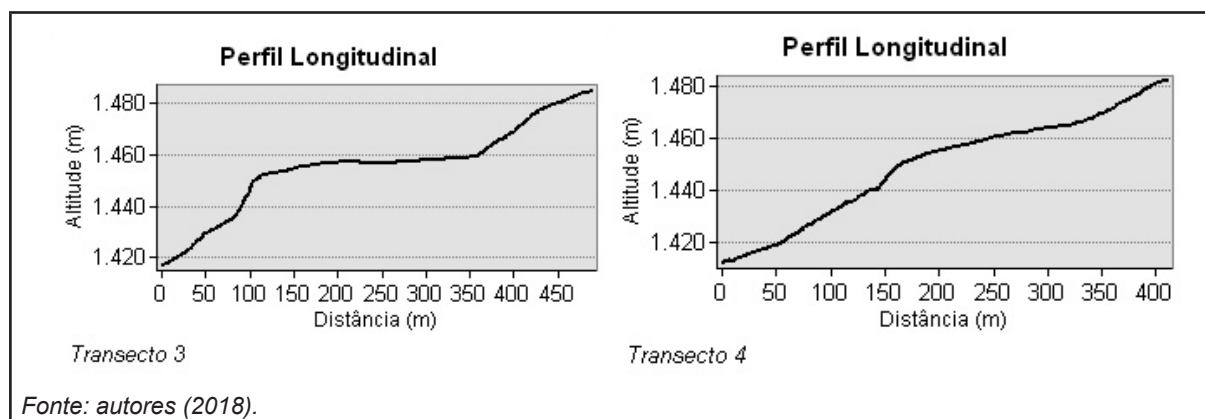
O estudo foi conduzido em Urupema – SC, com altitude entre 1419 e 1489 m, entre as coordenadas geográficas 27° 57' 39" a 27° 58' 64" latitude Sul, e 49° 50' 66" a 49° 50' 55" longitude Oeste. O clima da região é mesotérmico úmido (Cfb) pela classificação de Köppen, com temperatura média anual de 13 °C, chuvas bem distribuídas durante o ano e precipitação média anual de 1.789 mm. A geomorfologia é composta pelas unidades Planalto de Lages, Planícies Fluviais e Serra Geral. Os solos são desenvolvidos a partir de rochas efusivas ácidas da Formação Serra Geral, com predomínio de Neossolos Litólicos e Cambissolos Hísticos, em condição de relevo ondulado a forte ondulado (SiBCS, 2018). A vegetação é de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana (IBGE, 2012), nas áreas mais inclinadas, intercalada por campos naturais e áreas de banhado em relevo plano a suave ondulado.

A influência do relevo sobre as propriedades dos solos associadas a gradientes de drenagem foi avaliada em quatro transectos identificados como T1, T2, T3 e T4, acompanhando o gradiente de declividade na encosta (Figura 1). Os transectos foram subdivididos em parcelas contíguas de 10 x 20 m, totalizando 55 unidades amostrais.

Em cada unidade amostral foi avaliada a profundidade efetiva do solo, 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, de pedregosidade do solo e a declividade média de cada parcela, conforme critérios de Santos et al. (2005). O solo foi coletado com pá de corte nas camadas de 0 a 10, 10 a 30 cm, e trado holandês de 30 a 50 cm. Em cada uma das 55 parcelas dos quatro transectos, foram coletadas amostras compostas, preparadas a partir da mistura do solo coletado em cada uma das três camadas. As amostras de solo foram secadas ao ar, trituradas e peneiradas em malha de 2,0 mm.

As análises químicas envolveram determinação de pH em CaCl<sub>2</sub>, cátions trocáveis (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e K<sup>+</sup>), acidez potencial (Al+H) e fósforo extraível por Mehlich<sup>-1</sup>, conforme Embrapa (1997) e calculadas soma de bases (S) e capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva.

**Figura 1. Perfil dos transectos com relação a altitude das parcelas, distantes entre si a cada 20 m.**



O carbono orgânico total (COT) foi determinado após oxidação úmida por titulometria, conforme Tedesco et al. (1995). O fracionamento físico do carbono orgânico foi realizado segundo Cambardella e Elliot (1992), com determinação da fração particulada (COP) e da fração associada aos minerais (COAM), calculada pela diferença entre COT e COP.

As amostras para caracterização física do solo foram coletadas com anéis volumétricos, com diâmetro de 5 cm e volume de 98 cm<sup>3</sup>, sendo uma amostra em cada camada, no ponto central da parcela, para determinação de macro e microporosidade, porosidade total e resistência à penetração do solo. A profundidade do solo foi medida com trado em três pontos por parcela, sendo considerada 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.

A determinação do micro e da macroporosidade foi realizada após saturação das amostras e estabilização em mesa de areia, com altura de drenagem de 60 cm, com posterior pesagem das amostras, conforme método descrito pela Embrapa (1997). A umidade de saturação em volume foi considerada como porosidade total do solo. A granulometria do solo foi determinada pelo método da pipeta, com dispersão do solo com NaOH conforme Donagema et al. (2011).

As relações entre as variáveis químicas e físicas do solo, analisadas em 55 parcelas e em três camadas, totalizando 165 amostras, foram avaliadas por meio da análise de componentes principais (ACP). As parcelas foram agrupadas com base nos tipos de solos identificados, na camada de 0 a 10 centímetros. O primeiro tipo de solo com predomínio da espécie indicadora *Dicksonia sellowiana* (xaxim), correspondente ao grupo solo 1 (Cambissolo Hístico) e, o segundo tipo de solo sem espécie indicadora correspondente ao grupo solo 2 (Neossolo Litólico Hístico). 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).

## Resultados e Discussão

### Atributos Químicos do Solo

Os solos apresentaram acidez elevada, com média de pH CaCl<sub>2</sub> inferior ou próximo a 4, nas três profundidades (Quadro1). Na região de Painel-SC, Higuchi et al. (2013) obtiveram pH

baixo do solo, com valor médio de 4,9, em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana. Esse resultado também foi demonstrado em solos de ambientes de altitude, como na Serra da Igreja, PR, em que Scheer et al. (2011) constataram, em média, pH 3. Também Benites et al. (2003), ao caracterizarem solos de complexos rupestres de altitude, no estado de MG, relataram pH médio de 4,5 em solos desenvolvidos sobre rocha ígnea.

**Quadro 1. Atributos químicos pH, Ca, Mg, K, S, CTC, Al e P e dos teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (COAM) no Cambissolo Hístico e no Neossolo Litólico Hístico, nas camadas de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm.**

Camada	pH <sub>CaCl<sub>2</sub></sub>	Ca	Mg	K	S	CTC	Al	P	COT	COP	COAM
				cmol <sub>c</sub> /kg				mg/kg		g/kg	
Cambissolo Hístico (solo 1)											
0 – 10	3,60	1,3	1,10	0,20	2,60	9,60	7,00	6,40	123,00	43,00	80,00
10 – 30	3,72	0,60	0,70	0,20	1,50	8,60	7,10	3,20	78,00	22,00	56,00
30 – 50	3,86	0,40	0,60	0,10	1,10	7,70	6,60	5,00	64,00	24,00	40,00
CV*	6,67	69,67	30,00	26,67	43,00	-	58,00	51,00	26,0	54,0	35,0
Neossolo Litólico Hístico (solo 2)											
0 – 10	3,64	0,70	0,80	0,20	1,70	10,00	8,60	8,70	161,00	63,00	98,00
10 – 30	3,92	0,30	0,60	0,10	1,00	7,30	6,30	6,40	92,00	26,00	66,00
30 – 50	4,08	0,30	0,50	0,10	0,90	5,80	4,90	5,70	72,00	22,00	50,00
CV*	6,00	37,33	13,00	12,33	28,00	-	33,67	37,00	29,00	50,00	0,38

\*Média percentual do coeficiente de variação das três camadas.

Fonte: autores (2018).

Os teores de alumínio trocável, em geral, foram altos e (Quadro 1) associados ao baixo pH desses solos, que facilita a solubilização deste elemento no solo. Teske et al. (2013), ao estudarem solos desenvolvidos de rochas efusivas ácidas no Planalto Sul de Santa Catarina, observaram altos teores de Al<sup>3+</sup>, possivelmente devido a sua complexação por compostos orgânicos liberados na rizosfera, devido à grande quantidade de raízes finas encontradas nestes ambientes. Além disso, altos teores de Al associados a compostos orgânicos são característicos da evolução pedogenética em ambientes de altitude (SIMAS et al., 2005). Ao analisarem solos em ambientes alto-montanos, Scheer et al. (2011) verificaram predomínio de solos distróficos com alta saturação por Al trocável.

Os teores de cálcio, magnésio e potássio diminuíram em profundidade, tanto no Cambissolo quanto no Neossolo (Quadro 1). Segundo Comissão de química e fertilidade do solo (2016), os teores de Ca, Mg e K nesses solos são baixos. Em Campo Belo do Sul, SC, Mafra et al., (2008), constataram-se concentrações semelhantes, ao desse estudo, de Ca, Mg e K trocáveis em solos sob Floresta Ombrófila Mista Montana no planalto sul catarinense. Neste estudo, a soma de bases trocáveis (S) foi baixa devido os baixos teores de cálcio e potássio, conforme Comissão de química e fertilidade do solo (2016) (Quadro 1).

Os maiores teores de fósforo, assim como de matéria orgânica, ocorreram na camada superficial tanto no Neossolo como no Cambissolo, com valores de 6,40 e 8,70 mg/kg, respectivamente,

demonstrando a pouca mobilidade do fósforo (Quadro 1). Os valores mínimos foram de 3,2 e 5,0 mg/kg, nas camadas de 10 a 30 cm e de 30 a 50 cm, no Cambissolo, respectivamente. Teores entre 3,1 e 6 mg/kg caracterizam, para classe textural, entre franco argilosa e franco arenosa, predominante nestes solos, baixa disponibilidade de fósforo, conforme classificação da Comissão de química e fertilidade do solo (2016). O Neossolo apresentou as maiores concentrações de fósforo, resultado associado aos elevados teores de carbono orgânico. Salienta-se que 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, destacando a condição de vegetação natural na qual sua disponibilidade está intimamente relacionada à ciclagem das formas orgânicas (SANTOS et al., 2008).

A deficiência de nutrientes se relaciona com elevadas perdas por escoamento da água, relacionadas com o relevo ondulado e à pouca espessura do *solum*, associado à pobreza do material de origem, na mesma região deste estudo (TESKE et al., 2013). Para Benites et al. (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.

O teor de COT foi maior na camada de 0 a 10 cm, com média de 123 g/kg no Cambissolo Hístico (solo 1) e de 161 g/kg no Neossolo Litólico Hístico (solo 2) (Quadro 1). Esses resultados podem ser relacionados à variação na deposição de serapilheira, em virtude das diferenças observadas na vegetação associada a cada solo, e eventuais alterações na decomposição dos resíduos orgânicos. A matéria orgânica do solo, em regiões mais frias e úmidas como a área deste estudo, pode apresentar índice de decomposição menor que a produção, o que ocasiona acúmulo na superfície do solo até o topo do horizonte B, embora existam vários fatores que agem em conjunto para determinar o conteúdo de carbono orgânico, como relatado em um estudo para avaliar os horizontes diagnósticos superficiais e quantificar os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  em perfis de Cambissolos localizados em regiões de elevada altitude, em Santa Catarina (DORTZBACH et al., 2016).

Quanto ao fracionamento físico da matéria orgânica do solo, os valores do COAM superam os do COP, nos dois solos. Na camada superficial os teores de COAM e COP foram superiores aos demais, representando para COAM 65% no Cambissolo e 61% no Neossolo. Esse resultado indica o predomínio de matéria orgânica mais protegida da decomposição e compatível com as condições ambientais e de solo da região.

Conforme Soboleski et al. (2017), solos com maior fertilidade são localizados nas áreas de maior declive e com solos mais argilosos, mas, as áreas de menor fertilidade do solo e maior acidez, são localizadas nas áreas mais planas e com solos mais arenosos. Resultados médios das análises do solo obtidos por Higuchi et al. (2013), em estudo realizado no município de Painel, mesma região deste estudo, indicaram solo com fertilidade intermediária e, ao serem relacionados com a declividade, os solos foram agrupados em dois tipos de solos, os mais férteis em relevo com maior declividade e nas menores altitudes e, os solos mais ácidos em maior altitude, em relevo mais plano e maior cobertura vegetal. Segundo Puchalski (2006), em avaliações em solos no planalto de Santa Catarina, foram observados teores mais elevados de matéria orgânica e de alumínio trocável em maiores altitudes.

A capacidade de troca de cátions (CTC) diminuiu em profundidade indicando sua relação com o carbono orgânico do solo, que é maior no horizonte superficial em ambos os solos (Quadro1). Em solos de ambientes alto-montanos a CTC e acidez potencial são elevadas em horizontes superficiais e correlacionadas aos compostos orgânicos (BENITES et al., 2005).

A matéria orgânica da superfície dos solos incorpora e estoca elementos como o nitrogênio, promove o controle da erosão e a infiltração da água, conserva e disponibiliza nutrientes para as

plantas. Nesse contexto, destaca-se a importância dos ambientes altomontanos em prestar serviços ecossistêmicos, tais como ciclagem de nutrientes, armazenamento de água e sequestro de carbono, os quais podem ser afetados por mudanças no uso das terras (MARTÍNEZ et al., 2009).

### **Atributos Físicos do Solo**

A profundidade do solo e a declividade da área estudada apresentaram variação de acordo com a posição dos solos nos transectos.

As parcelas em Cambissolo Hístico (solo 1) apresentaram maior profundidade e declividade (inclinação média de 25%), sendo localizadas nas porções superiores e medianas da encosta. As parcelas em Neossolos Litólicos Hístico (solo 2) são mais rasas, com inclinação média de 15%, nas porções inferiores das encostas. O Cambissolo apresentou profundidade média de 0,56 m e o Neossolo de 0,41 m. A menor espessura, de dezessete centímetros, dos horizontes sobre a rocha foi constatada no transecto 1 e a maior, de noventa centímetros, no transecto 2.

Conforme Chagas et al. (2013), que identificaram relações entre atributos do terreno, material de origem e solos em dois sistemas de relevo, um com elevações de grande amplitude de relevo e vertentes íngremes e o segundo com amplitude topográfica inferior a 100 m 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 et al. (2003), ao caracterizarem os solos e identificarem as relações entre o meio físico e a 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. Com características correlatas 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, correlacionados com o escoamento superficial da água, encontrados normalmente nas regiões montanhosas.

Os dois solos identificados apresentaram textura entre franco argilosa e franco arenosa. A distribuição das frações argila, silte e areia variaram em profundidade, sendo que a argila aumentou em profundidade nos dois solos (Quadro 2).

A macro, micro e porosidade total foram semelhantes nos dois solos, nas três camadas (Quadro 2). A elevada porosidade total se relaciona com a capacidade de armazenamento de água e está associada à matéria orgânica do solo. Os valores de porosidade de aeração acima de 0,1 a 0,15 m/m<sup>3</sup> podem ser considerados como indicadores de boa qualidade física (REICHERT et al., 2003). Em ambientes nativos, a microporosidade do solo é resultante principalmente da textura e teor de carbono orgânico do solo e, o volume de macroporos é elevado (ALBUQUERQUE et al., 2001). Scheer et al. (2011) relacionaram a capacidade de retenção de água no solo dos ambientes alto-montanos, estudados na Serra da Igreja-PR, aos valores elevados de porosidade total do horizonte hístico. A resistência à penetração apresentou comportamento semelhante nos dois solos, aumentando em profundidade (Quadro 2). Apenas o Neossolo, na camada de 30 a 50 cm apresentou aumento da resistência à penetração, já que este é mais raso, com contato lítico e pode ser influenciada por raízes ou partículas de cascalho resultantes da rocha em alteração. Valores acima de 2 MPa indicam limitações ao crescimento de raízes de espécies cultivadas (REINERT et al., 2003) e podem ser prejudiciais também para espécies nativas. O resultado deste estudo evidencia limitação leve ou ausente para o crescimento de espécies vegetais e ausência

**Quadro 2. Granulometria e atributos físicos no Cambissolo Hístico (solo 1) e Neossolo Litólico Hístico (solo 2), nas camadas de 0 a 10, 10 a 30 e 30 a 50 cm.**

Camada	Argila	Silte	Areia	Micro	Macro	Pt	Rp
	g/kg			m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>			MPa
Cambissolo Hístico (solo 1)							
0 - 10	160	510	330	0,67	0,15	0,82	0,92
10 - 30	216	485	299	0,63	0,16	0,79	0,92
30 - 50	398	356	245	0,62	0,14	0,76	1,16
CV*	57,2	24,4	40,5	19,3	55,1	-	36,6
Neossolo Litólico Hístico (solo 2)							
0 - 10	134	429	437	0,68	0,16	0,84	1,15
10 - 30	194	366	440	0,66	0,14	0,80	1,17
30 - 50	409	351	240	0,64	0,12	0,76	1,24
CV*	52,6	31,5	34,9	15,8	42,5	-	31,5

\*Média percentual do coeficiente de variação das três camadas.

Fonte: autores (2018).

de compactação ou adensamento. Nesses solos, destaca-se que a matéria orgânica interfere na agregação do solo e na estrutura do solo, resultando em baixa resistência à penetração.

### **Análise de Componentes Principais**

Usando a ACP, para o conjunto das variáveis pH, Al<sup>+3</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> e K<sup>+</sup>, fósforo, COT, COP e COAM, com representação gráfica na Figura 2A, 2B, 2C, foi possível discriminar dois solos, que são o Neossolo Litólico Hístico (solo 1) e o Cambissolo Hístico (solo 2). O Neossolo Litólico Hístico identificado nas porções inferiores da encosta é mais raso, com teores mais elevados de areia e de carbono orgânico na camada superficial do solo. O Cambissolo Hístico foi associado com áreas mais inclinadas e nas porções mediana e superior da encosta.

Na camada de 0 a 10 cm, o PC1 explicou 32% da variância total dos dados, demonstrado na representação gráfica de seus escores (Figura 2A). Nesse PC1, observa-se equivalência entre a areia (0,83), COT (0,80), COP (0,75) e altitude (0,63), além da correlação com a argila (-0,67). O PC2 discrimina 17% da variância presente e sua correlação foi com o Al (0,67), CTC (0,75) e pH (-0,81).

O resultado da análise de componente principal por meio da representação gráfica de seus escores, na camada de 10 a 30 cm, está representado graficamente na Figura 2B. O PC1 explicou 31% da variância total dos dados e apresentou correlação com COT (0,76), areia (0,72), altitude (0,68), fósforo (0,66), pH (0,63), COAM (0,58), COP (0,55). Além da correlação com a argila (-0,66) e profundidade (-0,52). O PC2 discrimina 22% da variação dos dados e apresenta correlação com a CTC (-0,83) e silte (0,53), além do Al (-0,84).



O resultado da análise de componente principal por meio da representação gráfica de seus escores, na camada de 30 a 50 cm, está representado graficamente na Figura 2C. Essa PC1 explicou 28% da variância total dos dados e correlação com o pH (0,78), CTC (0,76), areia (0,72), COAM (0,55), altitude (0,53) e fósforo (0,50), além do alumínio (-0,78), argila (-0,66) e profundidade (-0,52). O PC2 explicou 25% da variação dos dados e apresentou correlação com o COT (-0,75), COP (-0,76), argila (-0,66) e areia (-0,66).

Estudo de Soboleski et al. (2017) sobre a relação entre a variação ambiental e os atributos funcionais, indicou que as variáveis ambientais de maiores correlações foram alumínio, pH, cálcio, saturação por base, areia, matéria orgânica, CTC e declividade. Também identificaram gradiente edáfico associado com a acidez, fertilidade, textura do solo e declividade, locais com solos mais ácidos, menos férteis, mais arenosos em topografia mais plana. Em outro extremo do gradiente, identificaram solos menos ácidos, de maior fertilidade, mais argilosos e com topografia mais declivosa.

Os dois tipos de solos identificados foram Cambissolo Húmico e Neossolo Litólico, sendo observada relação da drenagem com altitude, teores de Al e concentração de matéria orgânica. Associação entre atributos do solo e as classes de solo em determinados segmentos da paisagem foi identificada por Higuchi et al (2014) ao avaliarem a existência da partição espacial de espécies arbóreas em um fragmento de floresta com araucária, em função da drenagem do solo. A correlação entre classes de solos e sua posição na paisagem também foi constatada por Vashchenko et al. (2007) em solos de Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana na Serra Ibitiraquire, estado do Paraná. Esses autores concluíram que a declividade acentuada ocasiona maior perda de bases pelo escoamento da água e maior acúmulo de alumínio. Outro estudo, sobre atributos químicos dos solos da região de Painel e Urupema, em fragmento de Floresta Ombrófila Mista Alto-Montana também indicou a ocorrência de solos 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 (HIGUCHI et al., 2013).

## Conclusão

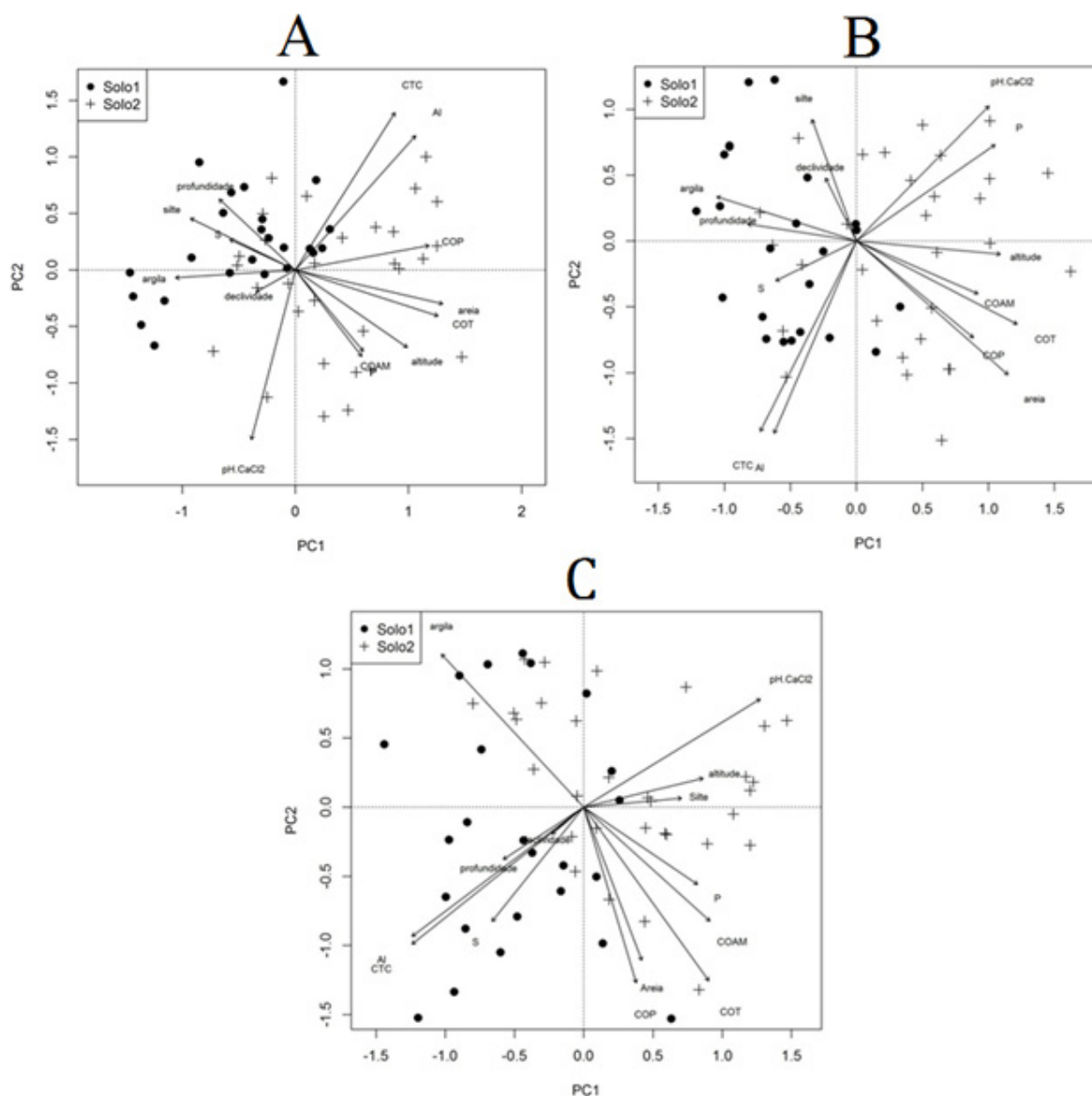
Houve associação de dois tipos de solos à condição de relevo, com ocorrência de solos mais profundos (Cambissolos Hísticos) nas áreas de relevo forte ondulado, na porção superior e mediana da encosta; e solos mais rasos (Neossolos Litólicos Hísticos) nas áreas onduladas e na parte inferior da encosta, apresentando maior teor de carbono orgânico na camada superficial.

Os atributos químicos e físicos do solo e evidenciaram que ambos os solos com horizonte superficial hístico, são ácidos e pobres em nutrientes.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 717-723, 2001.
- BENITES, V. M., MADARI, B., MACHADO, P. L. O. A. Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 10, p. 76-85, 2003.

**Figura 2. Distribuição dos solos 1 (Neossolo Litólico Hístico) e 2 (Cambissolo Hístico) na análise de componentes principais (PCA), considerando o carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COAM), pH CaCl<sub>2</sub>, alumínio (Al), soma de bases trocáveis (S), capacidade de troca de cátions (CTC), fósforo (P), areia, silte, argila, profundidade, altitude e declividade, nas camadas de 0 a 10 (A), 10 a 30 (B) e 10 a 30 cm (C).**



Fonte: autores (2018).

BENITES, V. M., MENDONÇA, E. S., SCHAEFER, C. E. G. R., NOVOTNY, E. H., REIS, E. L., KER, J. C. Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. *Geoderma*, Amsterdam, v. 13, p. 127-104-13, 2005.

CAMBARDELLA, C. A., ELLIOTT E. Participate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.

83, p. 56-777, 1992.

CAMPOS, M. C. C. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Ambiência**, Guarapuava, v. 8, p. 963-982, 2012.

CHAGAS, C.S.; FERNANDES FILHO, E.I.; BHERING, S. B. 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, v. 62, p. 25-147, 2013.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 1. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, p.376, 2016.

DIAS, H. C. T.; SCHAEFE, E. I.; FERNANDES FILHO, A. P.; OLIVEIRA, R.F.M.; MICHEL, J. B.; LEMOS, J. R. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 469-481, 2003.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Orgs.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

DORTZBACH, D.; PEREIRA, M. G.; VIANNA, L. F. N.; GONZÁLEZ, A. P. Horizontes diagnósticos superficiais de Cambissolos e uso de  $\delta^{13}C$  como atributo complementar na classificação de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, p.1339-1348, 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos; 2004. 726p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

GONÇALVES, I. S.; DIAS, H. C.; MARTINS, S. V.; SOUZA, A. L. Fatores edáficos e as variações florísticas de um trecho de mata ciliar do Rio Gualaxo do Norte, Mariana, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, p. 1235-1243, 2011.

HIGUCHI, P.; SILVA, A. C.; FERREIRA, T. S.; SOUZA, S. T.; GOMES, J. P.; SILVA, K. M.; SANTOS, K. F.; LINKE, C.; PAULINO, P. S. 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, p. 79-90, 2012.

HIGUCHI, P.; SILVA, A. C.; ALMEIDA, J. A.; BORTOLUZZI, R. L. C.; MONTOVANI, A.; FERREIRA, T. S.; GOMES, J. P.; SILVA, K.M.; SANTOS, K. F.; LINKE, C. P. 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, p. 153-164, 2013.

HIGUCHI, P.; SILVA, A. C.; AGUIAR, M. D.; MAFRA, A. L.; NEGRINI, M.; ZECH, D. F. 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. 4, p. 421-429, 2014.

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

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. F. F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; DALA ROSA, J. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 217-224, 2008.

MARTÍNEZ, M. L.; PEREZ-MAQUEO, O.; VAZQUEZ, G.; CASTILLO-CAMPOS, G.; GARCÍA-FRANCO, J.; MEHLTRETER, K.; EQUIHUA, M.; LANDGRAVE, R. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 258, p. 1856-1863, 2009.

OKSANEN, J. F.; GUILLAUME, B.; ROELAND, K.; PIERRE, L.; PETER, R.; MINCHIN, R. B.; O'HARA, G. L.; SIMPSON, P.; SOLYMOS, M.; HENRY, H.; STEVENS, H. W. **Vegan: Community ecology package**. R package version 1.17- 2. 2012 [acesso em 15 set. de 2014]. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=vegan>.

PINTO, L. C.; ZINN, Y. L.; MELLO, C. R.; OWENS, P. R.; NORTON, L. D.; CURI, N. Micromorphology and pedogenesis of mountainous inceptisols in the Mantiqueira range (MG). *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 39, p. 455-62, 2015.

PUCHALSKI, A. Variação em populações naturais de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Kuntze associada a condições edafo-climáticas. *Science Forestalis*, Piracicaba, v. 70, p. 37-148, 2006.

R: A LANGUAGE AND ENVIRONMENT FOR STATISTICAL COMPUTING. **R Foundation for Statistical Computing**. Vienna: 2014 [acesso em 09 set. 2014]. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, Santa Maria, v. 27, p. 29-48, 2003.

RODRIGUES, L.; CARVALHO, D. A.; OLIVEIRA FILHO, A.T.; CURI, N. Efeitos de solos e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual, em Luminárias, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, p. 25-25, 2007.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, v.38, p.576-586, p. 2008.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.

SCHEER, M. B.; CURCIO, G. R.; RODERJAN, C. V. Funcionalidades ambientais de solos altomontanos na Serra da Igreja, Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1113-1126, 2011.

SCHIAVO, J. A.; PEREIRA, M. G.; MIRANDA, L. P. M.; DIAS NETO, A. H.; FONTANA, A. Caracterização e classificação de solos desenvolvidos de arenitos da formação Aquidauana-MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 881-889, 2010.

SIMAS, F. N.B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E.; CHAGAS, A.C.; BRANDÃO, P.C. Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.125, p.187-201, 2005.

SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS. Humberto Gonçalves dos Santos [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília: Embrapa, 2018. 356 p.

SOBOLESKI, V. F.; HIGUCHI, P.; SILVA, A. C.; LOEBENS, R.; SOUZA, K.; BUZZI JUNIOR, F. LIMA, C. L.; CRUZ, A. P.; SILVA, M. A. F.; DALLABRIDA, J. P. Variação de atributos funcionais do componente arbóreo em função de gradientes edáficos em uma floresta nebulosa no sul do Brasil. **Rodriguésia**, v. 68, p. 291-300, 2017.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2a ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. (Boletim técnico, 5).

TESKE, R.; ALMEIDA, J. A.; HOFFER, A.; LUNARDI NETO, A. Caracterização química, física e morfológica de solos derivados de rochas efusivas no Planalto Sul de Santa Catarina. **Revista Ciência Agroveterinária**, Lages, v. 12, p. 175-186, 2013.

VASHCHENKO, Y.; PRADO, P. R.; LIMA, M. R.; FAVARETTO, N. Solos e vegetação dos Picos Camacua, Camapuã e Tucum – Campina Grande do Sul – PR. **Scientia Agraria**,

Curitiba, v. 8, p. 411-419, 2007.

VASCHENKO, Y.; BIONDI, D.; LIMA, M. R.; RODERJAN, C. V. Aspectos ambientais da trilha via noroeste do Parque Estadual Pico do Marumbi, PR. **Floresta**, Curitiba, v. 43, p. 535-48, 2013.