



Ciência e Natura

ISSN: 0100-8307

cienciaenaturarevista@gmail.com

Universidade Federal de Santa Maria  
Brasil

Facco, Ronaldo; Kumpfer Werlang, Mauro; Bilhan Freitas, Rafael; Cardoso Da Silva,  
Guilherme; Corrêa Pontes, Rodrigo; Albino Rabaiolli, Joel; Borges, Denise Cristina;  
Aragones Aita, Rômulo Augusto

Compreensão da conformação do perfil das vertentes face aos parâmetros físico-hídricos  
da cobertura pedológica em uma vertente situada sobre litologias da Formação Santa

Maria, no município de Santa Maria, RS

Ciência e Natura, vol. 38, núm. 1, enero-abril, 2016, pp. 232-242

Universidade Federal de Santa Maria

Santa Maria, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546196021>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## **Compreensão da conformação do perfil das vertentes face aos parâmetros físico-hídricos da cobertura pedológica em uma vertente situada sobre litologias da Formação Santa Maria, no município de Santa Maria, RS**

*Understanding the conformation of the profile of slopes up the physical-water parameters of the soil cover in a slope located on lithologies of Santa Maria Formation, in Santa Maria, RS*

Ronaldo Facco, Mauro Kumpfer Werlang, Rafael Bilhan Freitas, Guilherme Cardoso  
Da Silva, Rodrigo Corrêa Pontes, Joel Albino Rabaiolli, Denise Cristina Borges  
e Rômulo Augusto Aragones Aita

Universidade Federal de Santa Maria

ronaldofacco@hotmail.com; wermakwer@gmail.com; rafael\_bilhan@hotmail.com; gcsgeo@gmail.com; rodrigocorreapontes@gmail.com; joelrabaiolli@gmail.com; deniseborges\_cb@yahoo.com.br; romuloaita@gmail.com

### **Resumo**

As vertentes se configuram como um dos principais elementos da paisagem, quando observadas num curto espaço de tempo, mostram-se com aparência estática, entretanto estão sendo continuamente trabalhadas por processos erosivos ou deposicionais. O objetivo geral do trabalho é contribuir para o entendimento da conformação do perfil e forma das vertentes frente aos parâmetros físico-hídricos da cobertura pedológica sobre vertentes situadas sobre litologias da Formação Santa Maria, no município de Santa Maria, RS. De acordo com os objetivos do trabalho, utilizou-se como base teórico-metodológica a proposta da análise estrutural da cobertura pedológica, que permitiu a compreensão da dinâmica da cobertura pedológica e a relação com os demais elementos da paisagem. Após a análise dos resultados obteve-se o seguinte comportamento físico-hídrico dos horizontes diagnósticos do perfil do solo, aonde foi identificado o processo de translocação das argilas dos horizontes diagnósticos superficiais A, AE, E e EB para os subsuperficiais BE e B, sendo esses horizontes mais resistentes e impermeáveis contribuindo para a convexação do topo da vertente, já na base da vertente a concavização é devido a erosão remontante dos horizontes menos resistentes e pela organização dos mesmos, comandados pela circulação hídrica superficial e subsuperficial..

**Palavras-chave:** Cobertura pedológica. Vertentes. Perfil. Conformação. Parâmetros físico-hídricos.

### **Abstract**

The strands are configured as one of the main elements of the landscape, when viewed in a short time, show up with static appearance, however they are continually being worked by erosive or depositional processes. The main objective is to contribute to the understanding of the profile conformation and shape of the slopes up the water-physical parameters of soil cover on slopes situated on lithologies of Santa Maria Formation, in Santa Maria, RS. According to the objectives of the work, it was used as a theoretical and methodological basis the proposal structural analysis of soil cover, which allowed the understanding of the dynamics of soil cover and the relationship with other landscape elements. After analysis of the results, there was obtained the following physical-hydric behavior of horizons diagnoses of the soil profile, where it was identified the process of translocation of clay from superficial diagnostic horizons A, AE, E and EB for subsurface BE and B, these being more durable, impermeable horizons, contributing to turn convex the top of the slope. Already at the slope base, the concave shape is due to regressive erosion of less resistant horizons and the organization thereof, commanded by surface and subsurface water circulation.

**Keywords:** Soil cover. Slopes. Profile. Conformation. Physical-water parameters.

Recebido: 09/10/2015 Aceito: 19/11/2015

## 1 Introdução

AS vertentes se configuram como um dos principais elementos da paisagem, quando observadas num curto espaço de tempo, mostram-se com aparência estática, entretanto estão sendo continuamente trabalhadas por processos erosivos ou deposicionais. Portanto, constituem elementos importantes na caracterização geomorfológica de qualquer paisagem.

Em face da necessidade de estudos que busquem conhecer e explicar a morfologia da superfície terrestre, o estudo do meio físico, entre eles a geomorfologia abrangendo o aspecto do modelado do relevo, se reveste de grande importância especialmente no que diz respeito aos propósitos ambientais. Entretanto, quando se refere à concepção de paisagem física, aparecem questões relativas de como e de que maneira se processa a dinâmica das vertentes, como acontece o desenvolvimento do perfil e forma, quais foram as condições iniciais e até onde se processa a evolução. Nesse sentido, fica visível a importância do conhecimento da morfogênese das vertentes a partir do controle exercido pela cobertura pedológica.

A evolução do perfil das vertentes varia de acordo com os processos climáticos, que condiciona a incidência de água no ambiente, interferindo na intemperização do substrato litológico, consequentemente nas propriedades do solo, originando os diferentes horizontes diagnósticos que ajudam na estabilidade ou instabilidade da forma da vertente.

A proposta de estudar a conformação do perfil face aos parâmetros físico-hídricos do solo em topossequência de vertente nessa área da Depressão Periférica Sul Rio-Grandense, tem como hipótese de que a conformação das vertentes está condicionada pelos parâmetros físico-hídricos da cobertura pedológica. Nesse sentido o objetivo geral do trabalho é contribuir para o entendimento da conformação do perfil e forma das vertentes frente aos parâmetros físico-hídricos da cobertura pedológica sobre vertentes situadas sobre litologias da Formação Santa Maria, no município de Santa Maria, RS. Para responder ao objetivo geral, foram colocados os seguintes objetivos específicos: 1) Caracterização e descrição morfológica dos horizontes diagnósticos de perfis de solo ao longo de uma topossequência de vertente situada sobre litologias da Formação Santa Maria e coleta de amostras deformadas e indeformadas, para determinação e avaliação dos parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos nos perfis de solo identificados como modais; 2) determinação dos parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos; 3) avaliar a influência desses parâmetros na dinâmica e o desenvolvimento da forma do perfil da vertente.

## 2 Vertentes e cobertura pedológica

De acordo com Queiroz Neto (2002), para a compreen-

são das relações entre os solos e as formas de relevo é necessário superar algumas ideias preconcebidas no que diz respeito a haver uma oposição entre os processos de pedogênese (alteração das rochas, formação dos solos) e de morfogênese (erosão e esculturação das formas de relevo), pois ambos podem ocorrer simultaneamente.

Tricart (1965) ressalta que, no geral, a pedogênese é um dos elementos da morfogênese, já que ela é capaz de modificar os mecanismos fundamentais da morfogênese. De modo contributivo, Pellerin e Queiroz Neto (1992) destacam que a pedogênese é o motor da evolução do relevo, podendo inclusive direcioná-la.

Sendo assim, o estudo da vertente enquanto categoria do relevo, assume importância acadêmico-institucional a partir da década de 50 do século passado, com o trabalho de Tricart (1957), que afirma ser a vertente o elemento predominante do relevo. Sendo assim, é ela que predomina nas formas da superfície terrestre na maior parte das regiões, apresentando-se, portanto, como forma de relevo mais importante para a humanidade. Tanto a agricultura quanto os demais trabalhos de construções estão interessados na evolução das vertentes, que acabam comandando, por exemplo, a perenidade (direta e indireta) dos cursos d'água, pela ação geomorfológica (CASSETI, 1991).

As vertentes, juntamente com os interflúvios e os talvegues, são reconhecidas como componentes fundamentais das unidades de relevo, no entanto, quando se refere à concepção de paisagem, surgem questões de como e de que maneira ela se processa, qual o desenvolvimento das formas de relevo, quais as condições iniciais e até que fase se processa a evolução. Convergingo nesse raciocínio, torna-se, portanto, evidente a importância do conhecimento relativo à morfogênese das vertentes a partir do controle exercido pela cobertura pedológica.

O conceito de vertente é essencialmente dinâmico, uma vez que procura delimitar um espaço de relações processuais de natureza geomorfológica, incorporando os mais diferentes tipos de variáveis. Cruz (1982), observando a importância do estudo geomorfológico da evolução atual das vertentes, demonstrou que o entendimento espaço-temporal dos mecanismos morfodinâmicos atuais e passados levam ao cerne do estudo geomorfológico por excelência, ajudando o entendimento e evolução das paisagens geográficas.

A partir das pesquisas realizadas pelos pedólogos franceses, pode-se perceber que a cobertura pedológica é um sistema estrutural complexo que apresenta transformações progressivas das organizações, tanto vertical quanto lateralmente no sentido da vertente. Está assim intimamente relacionada com os outros elementos da paisagem, especialmente o relevo. Essa concepção foi empregada no final da década de 70, com o intuito de identificar diferentes sucessões de perfis de solos ao longo de encostas, compreender a gênese e evolução dos solos e das paisagens e ainda explicar a distribuição dos solos como consequência de processos pedogenéticos e mor-

fogenéticos complexos (QUEIROZ NETO, 1988, p. 416).

Conforme Santos (2000) o estudo da pedogênese tem por base o perfil de solo como unidade fundamental de trabalho. O perfil pedológico é entendido com uma seção vertical do solo que, partindo da superfície, aprofunda-se até onde alcança a ação do intemperismo, expondo, na maioria das vezes, uma série de camadas dispostas horizontalmente, denominadas horizontes. Tal disposição resultaria das variações das características morfológicas e propriedades dos solos, oriundas das transferências (translocações) e transformações verticais existentes ao longo do perfil.

De acordo com Boulaine (1978), o solo é um corpo que se comporta como um “contínuo” que não se apresenta apenas sob a forma de perfil vertical. A concepção do perfil de solo com horizontes superpostos foi em parte superada por Milne (1935). Este autor foi o primeiro a mostrar, a partir da noção de catena, que a distribuição ordenada dos solos na paisagem estaria relacionada diretamente à topografia.

A análise estrutural da cobertura pedológica, introduzida por Boulet (1978), adquiriu fundamental importância para os pedólogos na compreensão e distribuição dos solos nas vertentes e nas paisagens, suas causas e fatores, isto é, procura interpretar os processos responsáveis por essa distribuição.

Em um de seus estudos, Boulet (1978) propôs um procedimento que permite a reconstituição da distribuição espacial das organizações pedológicas ao longo das encostas, iniciando-se pela reconstituição bidimensional da organização dos solos com seus horizontes em topossequências, estabelecida no sentido do maior declive das vertentes. As trincheiras abertas em pontos privilegiados permitem observar as transições verticais e laterais entre horizontes.

Libardi (2005) enfatiza que dentre as variáveis que comandam o fluxo de água no solo, a condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_{sat}$ ) se destaca. A equação que melhor demonstra o movimento de água no solo é a de Darcy-Buckingham. Nela, a constante de proporcionalidade entre a densidade de fluxo e o gradiente de potencial total da água denomina-se condutividade hidráulica do solo. A condutividade hidráulica é, portanto, um parâmetro do solo que traduz a intensidade com que este solo conduz a água, sendo tanto maior quanto mais úmido o solo se encontra, atingindo seu valor máximo na saturação. Uhde (2009 apud BRADY, 1983) evidencia que qualquer fator que exerça influência sobre o tamanho e a configuração dos poros do solo, exercerá também efeito sobre a condutividade hidráulica, sendo os macroporos responsáveis pela maior parte da movimentação da água no solo.

Para Uhde (2009 apud CAMARGO e ALLEONI, 2009) outro fator que afeta a retenção de água no solo é a estrutura, pois ela determina o arranjo das partículas e a distribuição dos tamanhos dos poros, cujo diâmetro controla a energia de retenção da água e, conseqüentemente, a sucção necessária para seu esvaziamento, que

aumenta na medida em que diminui o tamanho do poro.

A condutividade hidráulica do solo é máxima quando este está saturado, sendo chamada de condutividade hidráulica de solo saturado ( $ksat$ ). Conceitualmente, Libardi (2000) definiu  $ksat$  como sendo a facilidade com que um fluido (água) é transportado através de um meio poroso (solo).

### 3 Metodologia

Para a orientação metodológica do trabalho, adotou-se a proposição da análise sistêmica da paisagem de Sochava (1982); Bertrand (1968 e 1971); Monteiro (2000) e os níveis de tratamento definidos por Ab'saber (1969). Segundo (Lakatos, Marconi, 2001, p.106), os métodos podem ser indutivos, dedutivos, hipotético-dedutivo, dialético e, fenomenológico. No presente trabalho fez-se do método hipotético-dedutivo, acreditando-se ser este a melhor das formas de abordagem permitindo uma maior proximidade da realidade. De acordo com os objetivos do trabalho, utilizou-se como base teórico-metodológica a proposta de Boulet (1978); e Queiroz Neto (1988), que trata da análise estrutural da cobertura pedológica, que permitiu a compreensão da dinâmica da cobertura pedológica e a relação com os demais elementos da paisagem.

#### 3.1 Procedimentos técnicos

Para atingir os objetivos propostos, adotou-se como escala de observação os horizontes diagnósticos do solo, a topossequência de vertente e a paisagem, seguindo-se os seguintes procedimentos (1) reconhecimento geral do comportamento das vertentes existentes na Formação Santa Maria, no município de Santa Maria, RS; (2) seleção da topossequência modal a ser caracterizada; (3) detalhamento da estrutura da cobertura pedológica da vertente, por meio da identificação e caracterização de perfis de solos em trincheiras e de sondagens a trado e, (4) coleta de amostras deformadas e indeformadas para determinação dos parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do solo no perfil da topossequência modal da vertente caracterizada. As coletas das amostras foram feitas sob condições atmosféricas de tempo seco e sem chuva, com o material apresentando condições de umidade que permitissem a coleta de amostras indeformadas.

##### 3.1.1 Descrição geral da área

A área estudada está situada na região central do estado do Rio Grande do Sul, na Depressão Periférica Sul Rio-Grandense (Ross, 1996), no município de Santa Maria, RS. Nessa área estão presentes algumas formas de uso da terra como lavouras de arroz irrigado, soja, pastagem cultivadas para a pecuária e campo. Caracteriza-se por apresentar áreas de planície aluvial com terraços fluviais e



outras com colinas, variando de uma topografia suave até suave ondulada. A área da planície aluvial está constituída principalmente por sedimentos recentes (Quaternário) que foram removidos de superfícies topograficamente mais elevadas e depositados nas áreas mais planas das margens dos cursos fluviais mais importantes sob o ponto de vista da atuação dos processos de acumulação. Modeladas sobre terraços fluviais em porções ao centro e sul, ao sul da área, onde atuam processos de aplainamento e dissecação, ocorrem formas topograficamente mais elevadas que constituem as colinas. Nessas, em alguns pontos, formam-se colinas alongadas, apresentando-se na forma de encostas rampeadas, e ocorrem fenômenos de erosão a partir a ação de canais incisivos. A topossequência de vertente está localizada na figura 1, dentro do campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), na área experimental do Departamento de Fitotecnia da UFSM.

Em relação à hidrografia, a área pertence ao sistema da Bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Vacacaí Mirim. Apresenta um padrão de drenagem que, na classificação de Christofletti (1980) enquadra-se no tipo sub-dendrítico (apresenta controle estrutural no curso principal). Em alguns casos o controle estrutural caracteriza padrão sub-paralelo na drenagem, que está representada por canais de primeira e segunda ordem. Estes canais são responsáveis pelo modelado de aplainamento e dissecação dos interflúvios e pelo entalhamento dos talvegues.

A área sofreu significativas alterações na sua cobertura

vegetal. Parte dela está inserida no domínio dos Campos com Capões e Matas Galerias (VIEIRA, 1984). Onde os processos erosivos esculpiram colinas (coxilhas) sobre rochas da Era Mesozóica da Bacia do Paraná, aparecem solos medianamente profundos como Argissolos. Sobre áreas de terraços e planícies fluviais, onde a flutuação do lençol freático associada a conformação do relevo imprime maior influência sobre os processos pedogenéticos, ocorrem Gleissolos e Planossolos.

O clima atual da região de Santa Maria caracteriza-se, segundo Sartori (2003) tendo como temperatura média do mês mais frio entre 10°C e 15°C e média das mínimas entre 6°C e 10°C, devido a atuação do Anticiclone Polar Atlântico. Já no verão as temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, média das máximas variando entre 28°C e 32°C, provocadas pelo superaquecimento da Massa Polar Velha ou pela Massa Tropical Atlântica ou ainda Massa Tropical Continental. As temperaturas médias anuais situam-se entre 18°C e 20°C.

Segundo Sartori (2003), observa que as precipitações meteóricas são regulares durante todo o ano, não havendo estação seca, com índices pluviométricos anuais entre 1500 mm e 1600 mm, sendo os meses de setembro e outubro os mais chuvosos e, o de novembro, o mês que menos chove. Os ventos predominantes são de leste, influenciados pela direção geral do Rebordo do Planalto (E-W), que provoca a inflexão dos ventos S e SE, canalizando-os ao longo da Depressão Periférica

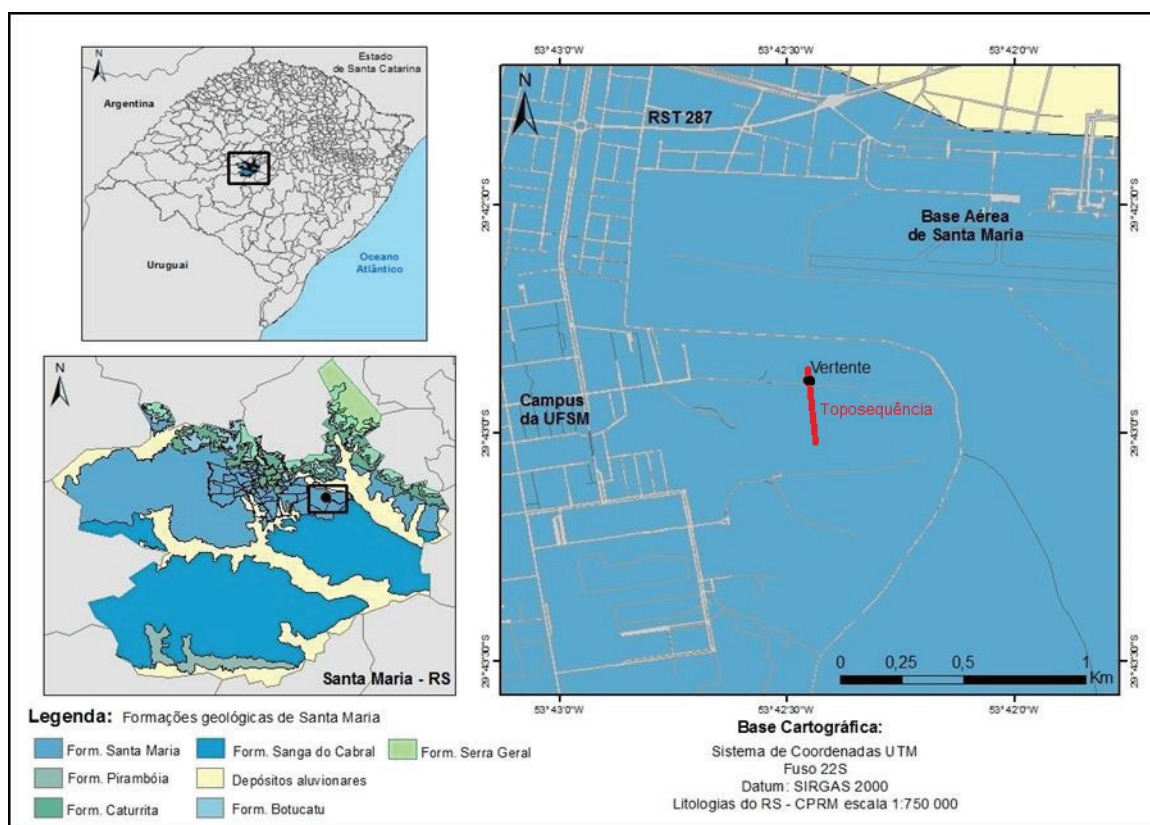


Figura 1- Localização da vertente na Formação Santa Maria, município de Santa Maria/RS  
Organização: Dos Autores

Sul-Riograndense.

No que se refere a geologia, a topossequência de vertentes em estudo está localizada sobre litologias da Formação Santa Maria. Essa Formação é composta por dois membros: um inferior, denominado Membro Passo das Tropas e, outro superior, o Membro Alemoa, que estão constituídos por arenitos, siltitos e argilitos procedentes de sedimentos Gondwânicos. O Membro Passo das Tropas é constituído predominantemente por arenitos grosseiros, sendo permeável e apresentando comportamento aquífero, enquanto o Membro Alemoa, constituído predominantemente por siltitos e argilitos, é impermeável, não apresentando boa retenção de água (Maciel Filho, 1990).

### 3.1.2 Descrição dos perfis

Os perfis de solos foram descritos conforme as características morfológicas dos horizontes diagnósticos seguindo a metodologia proposta pelo Manual de descrição e coleta de solos no campo (SANTOS et al, 2005). Foram descritos, na vertente, os seguintes horizontes diagnósticos: A, AE, E, EB, BE e B. A Figura 2 (A, B, C e D) ilustra os procedimentos utilizados na retirada de amostras e descrição dos horizontes diagnósticos.



Figura 2 - Demonstração dos horizontes do perfil (A), abertura da trincheira na área de estudo (B e C) e panorama da área de estudo (D)  
Fonte: Arquivo dos autores

### 3.1.3 Ensaios em laboratório

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Maria. Os parâmetros físico-hídricos determinados foram: a distribuição do tamanho de partículas (análise granulométrica), densidade de

partículas ( $\gamma_s$ ), densidade aparente ( $\gamma_d$ ), densidade aparente natural ( $\gamma_{dnat}$ ), condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ), índice de vazios ( $e$ ), índice de vazios máximo ( $e_{máx}$ ), índice de vazios mínimo ( $e_{mín}$ ), mineralogia dos grãos, porosidade total (%sat), microporosidade, macroporosidade, capacidade de campo (CC) e estabilidade de agregados (EA).

Foram coletadas amostras deformadas (etiquetadas e armazenadas em saco plástico com 500g, para serem conduzidas ao laboratório) de cada um dos horizontes diagnósticos descritos. Além destas, foram coletadas nos mesmos pontos, amostras indeformadas (coletadas em anéis de ferro galvanizados com volume e peso conhecido) para a determinação da densidade de partículas ( $\gamma_s$ ), densidade aparente ( $\gamma_d$ ), densidade aparente natural ( $\gamma_{dnat}$ ), capacidade de campo (CC), estabilidade de agregados (EA) e condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ). Para a determinação do tamanho de partículas da fração areia, utilizou-se o processo de peneiramento, e as frações silte e argila foram obtidas por sedimentação, conforme NBR 7181/84. Para a mineralogia dos grãos utilizou-se a observação em microscópio das areias finas, médias e grossas. O índice de vazios ( $e$ ), índice de vazios máximo ( $e_{máx}$ ), índice de vazios mínimo ( $e_{mín}$ ), e a porosidade ( $n$ ) foram obtidos por meio da aplicação de equações descritas a seguir.

A densidade aparente do solo ( $\gamma_d$ ) foi obtida pela expressão:

$$\gamma_d = \frac{ws}{v} \quad (1)$$

onde:  $\gamma_d$  densidade aparente do solo em  $\text{gcm}^{-3}$ ;  $ws$  = massa dos sólidos seca em  $\text{gcm}^{-3}$  e  $v$  = volume total da amostra em  $\text{gcm}^{-3}$ .

A densidade aparente natural do solo ( $\gamma_{dnat}$ ) foi obtida pela expressão:

$$\gamma_{dnat} = \frac{ws}{v} \quad (2)$$

onde:  $\gamma_{dnat}$  = densidade aparente natural do solo em  $\text{gcm}^{-3}$ ;  $ws$  = massa dos sólidos com a umidade natural em  $\text{gcm}^{-3}$  e  $v$  = volume total da amostra em  $\text{gcm}^{-3}$ .

A densidade de partículas do solo ( $\gamma_s$ ) foi obtida pela expressão:

$$\gamma_s = \frac{ws}{v} \quad (3)$$

onde:  $\gamma_s$  = densidade de partículas do solo em  $\text{gcm}^{-3}$ ;  $ws$  = massa das partículas,  $\text{gcm}^{-3}$  e  $v$  = volume das partículas em  $\text{gcm}^{-3}$ .

A determinação do índice de vazios máximo e índice de vazios mínimo foi dada pelas expressões:

$$e_{máx} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{s\text{ min}}} - 1 \quad (4)$$



$$e_{\min} = (y_s / y_{s\max}) - 1 \quad (5)$$

onde:  $y_s$  = densidade da amostra do solo determinada de acordo com a ABNT-NBR 6508/80, em  $\text{g cm}^{-3}$ ;  $y_{s\min}$  = densidade do solo seco mínima do solo, em  $\text{g cm}^{-3}$ ;  $y_{s\max}$  = densidade do solo seco máxima da amostra de solo, em  $\text{g cm}^{-3}$ .

O índice de vazios foi obtido pela expressão:

$$e = \frac{n}{(1-n)} \quad (6)$$

onde:  $e$  = índice de vazios e  $n$  = porosidade total dada pela expressão:

$$(1 - (\frac{\gamma_s}{\gamma_d})) \quad (7)$$

onde:  $y_s$  = densidade da amostra do solo determinada de acordo com a ABNT-NBR 6508/80, em  $\text{g cm}^{-3}$  e  $\gamma_d$  = densidade aparente do solo, em  $\text{g cm}^{-3}$ .

Para a determinação da condutividade hidráulica saturada foram coletadas, em cada horizonte diagnóstico, amostras indeformadas (três repetições) utilizando-se um extrator do solo de Uhland. No laboratório, as amostras foram preparadas e saturadas por um período de 24 horas, e, após submetidas ao ensaio onde, num permeâmetro, foram colocadas as amostras, coletado e medido o volume de água percolada sendo a vazão calculada pela expressão:

$$K_{sat} = Q \cdot \frac{L}{A} \cdot H \cdot T \quad (8)$$

onde:  $K_{sat}$  = condutividade hidráulica saturada em  $\text{cm/h}$ ;  $Q$  = volume percolado;  $L$  = altura do bloco da amostra;  $H$  = altura do bloco da amostra e da coluna em  $\text{cm}$ ;  $A$  = área do cilindro em  $\text{cm}^2$ ;  $T$  = tempo de percolação em horas.

Foi considerado como condutividade hidráulica o resultado calculado pela equação 10. Na Figura 3, observa-se o procedimento de coleta de amostras indeformadas no campo e procedimento de ensaio em laboratório, para a determinação da condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ ). Em 1, observa-se o procedimento para a retirada de amostras indeformadas e, em 2, as amostras preparadas para a realização do ensaio ( $K_{sat}$ ).

Já a micro e a macroporosidade foram determinadas a partir de amostras indeformadas coletadas no perfil em cada um dos horizontes e submetidas a drenagem em mesa de tensão. Conforme Kiehl (1979) procedeu-se a subsequente pesagem das amostras para obter valores tanto de saturação quanto de três condições de drenagem. Mediante cálculos considerando o peso seco, volume do anel, peso saturado e drenados, obteve-se os resultados apresentados.

Os valores de porcentagem de saturação foram obtidos conforme a fórmula:



Figura 3 - Procedimento de coleta de amostras indeformadas no campo, preparo das amostras e procedimento de ensaio em laboratório para a determinação da condutividade hidráulica saturada ( $K_{sat}$ )

Organização: Dos autores

$$\% \text{ sat} = (P_{sat} - P_{seco}) / (\text{Vol. anel}) \times 100 \quad (9)$$

Já os valores de microporosidade foram obtidos utilizando os valores máximos de drenagem gerados com uma coluna de tensão de 60 cm aplicando a seguinte fórmula:

$$\text{Micro} = (P_{dren 60} - P_{seco}) / (\text{Vol. anel}) \quad (10)$$

A macroporosidade foi determinada pela fórmula:

$$\text{macro} = (P_{sat} - P_{dren 60}) / (\text{Vol. anel}) \times 100 \quad (11)$$

### 3.1.4 Elaboração das topossequências

O traçado da topossequência foi determinado a partir da abertura de trincheiras próximas ao divisor topográfico da vertente modal e pontos de amostragem (sondagens a trado) ao longo do segmento da vertente. Em cada ponto amostrado foi determinado o ângulo do desnível

topográfico com o auxílio de um clinômetro. Ainda para a determinação do grau de declive em cada segmento do perfil da vertente, foi considerada a distância entre esses pontos amostrados medidos com uma trena. O desnível da topografia foi obtido pela equação:

(12)

Onde  $Tg^\infty$ : tangente do ângulo;  $h$  = desnível topográfico (altura) e  $d$  = distância entre as sondagens a trado.

Com os dados relativos ao desnível entre a trincheira e cada ponto de amostragem por tradagem, e conhecidas as distâncias entre esses pontos, foi elaborado um perfil topográfico da topossequência. Foi utilizado o aplicativo *Corel Draw X3* para representar a figura da topossequência e as informações relativas à espessura de cada horizonte diagnóstico, conforme pode ser visualizado na Figura 4.

#### 4 Resultados e discussão

A topossequência da vertente em estudo tem 151 metros de comprimento desde o topo até a base e 15 metros de desnível, demonstrado na Figura 4, já na Figura 5 tem-se um panorama da área de estudo.

Nota-se na Figura 4 e 5 a topossequência, que caracteriza-se por apresentar um perfil convexo no topo e

côncavo na base, bem como a distribuição dos horizontes diagnósticos em sua cobertura pedológica. O resultado da descrição morfológica dos horizontes diagnósticos do perfil de solo da topossequência consta no quadro 1.

Organização: Dos autores.

Na Tabela 1 estão apresentados os resultados obtidos para distribuição do tamanho de partículas dos horizontes diagnósticos, na Tabela 2 e 3, os parâmetros físico-hídricos.

Na Tabela 1 tem-se a distribuição do tamanho das partículas do solo, ensaio que ajuda a compreender a organização física do solo, contribuindo para os resultados dos parâmetros físico-hídricos, nota-se na Tabela 1 que os horizontes diagnósticos superficiais A, AE, E e EB caracterizam-se por apresentar uma grande quantidade de areias e silte, em relação aos horizontes diagnósticos subsuperficiais BE e B, esses predominam o tamanho de partículas argila, caracterizando uma translocação das argilas dos horizontes diagnósticos superiores para os inferiores.

Na Tabela 2 tem-se os parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos, no qual a condutividade hidráulica é destacada, pois ela é influenciada pelos outros parâmetros. nota-se que o horizonte diagnóstico

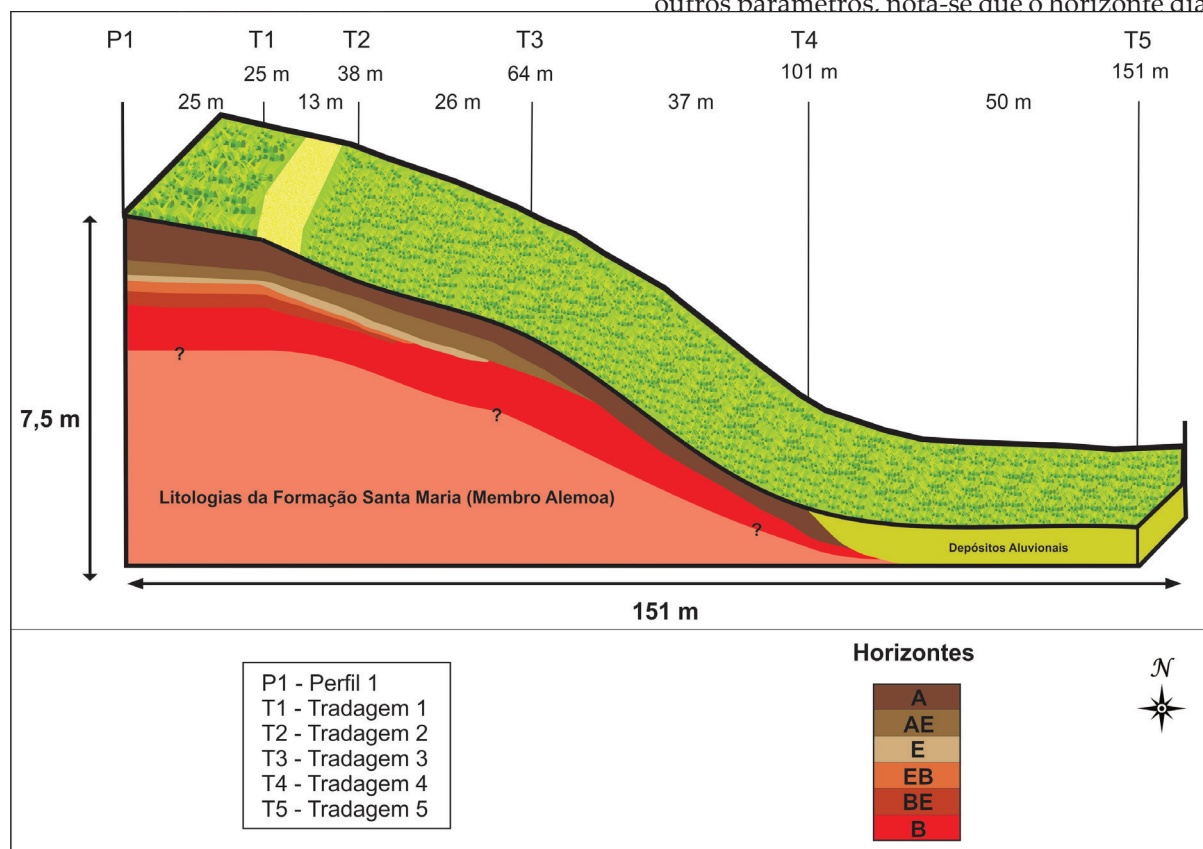


Figura 4: Topossequência obtida para a vertente da Formação Santa Maria, no município de Santa Maria, RS. Organização: Dos autores.





Figura 5 - Panorama da área de estudo onde se observa a forma convexa do perfil da vertente situada na área experimental do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria  
Fonte: Arquivo dos autores

Tabela 1 - Distribuição do tamanho de partículas do perfil de solo/topossequência

Hz	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH) em porcentagem (%)						
	Prof. (cm)	Cascalho (20-2mm)	Areia grossa (2-0,6mm)	Areia média (0,6-0,2mm)	Areia fina (0,2-0,06mm)	Silte (0,06-0,002mm)	Argila (<0,002mm)
A	0 - 51	0,05	2,70	12,71	42,13	31,55	10,64
AE	51 - 73	0,09	1,83	9,76	42,35	35,30	10,37
E	73 - 88	1,36	2,01	8,79	40,67	39,04	6,98
EB	88 - 110	2,54	1,46	7,16	34,99	39,41	13,49
BE	110 - 139	2,45	1,04	4,74	15,15	29,39	37,18
B	139 +	3,50	1,04	4,99	25,16	28,17	36,66

Organização: Dos autores

Tabela 2 - Parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos do perfil de solo

Hz	$\gamma_d$ nat	$\gamma_d$ (gcm <sup>3</sup> )	$\gamma_s$ (gcm <sup>3</sup> )	e min (gcm <sup>3</sup> )	emax (gcm <sup>3</sup> )	Ksat (cm/h)
A	1,75	1,54	2,61	1,41	1,12	24,19
AE	1,88	1,62	2,50	1,65	1,26	10,75
E	2,08	1,82	2,28	1,75	1,34	13,91
EB	1,81	1,50	2,59	1,56	1,27	32,31
BE	1,75	1,38	2,56	1,39	1,14	9,52
B	1,84	1,46	2,42	1,39	1,12	0,064

$\gamma_d$  nat=densidade aparente natural;  $\gamma_d$ =densidade aparente;  $\gamma_s$ =densidade de partículas;; e min=índice mínimo de vazios; emax=índice máximo de vazios e Ksat=condutividade hidráulica saturada.

Organização: Dos autores

Quadro 1: Descrição morfológica dos horizontes diagnósticos do perfil de solo/topossequência em estudo.

Trincheira: Vertente
Descrição morfológica
Data: 17/03/2015
Localização: 29°42'53.00" de latitude sul e, 53°42'27.00" longitude oeste (área experimental do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria).
Altitude: 113 m.
Formação geológica: Formação Santa Maria (Membro Alemoa).
Material originário: Lamitos e siltitos argilosos maciços.
Relevo local: Suave ondulado.
Relevo regional: Suave ondulado.
Erosão: Laminar.
Clima: Cfa da classificação de Köppen (mesotérmico brando).
Drenagem: Bem drenado.
Vegetação: Campos com Capões e Matas Galerias.
Uso atual: Lavoura temporária.
Horizonte A: 0-51 cm; Preto (5 YR 2,5/1, úmido); Bruno-escuro (7,5 YR 3/2, seco); franco arenosa; friável, pequena a média, blocos angulares e subangulares; muitos poros pequenos e médios; cerosidade ausente; muito friável quando úmida; ligeiramente dura quando seca; ligeiramente plástica quando molhada; transição gradual; raízes muitas.
Horizonte AE: 51-73 cm; Bruno-avermelhado-escuro (5 YR 2,5/2, úmido); Bruno-escuro (7,5 YR 3/4, seco); franco arenosa; friável; pequena a média, blocos angulares e subangulares; poros comuns pequenos e médios; cerosidade ausente; friável quando úmida; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; (continua) ligeiramente dura quando seca; transição gradual; raízes comuns.
Horizonte E 73-88 cm; Bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, úmido); Vermelho-escuro (2,5 YR 3/6, seco); franco arenosa; friável, blocos angulares e subangulares pequenos a médios; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável quando úmida; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; dura quando seca; transição gradual; raízes comuns.
Horizonte EB 88-110 cm; Bruno (7,5 YR 4/4, úmido); Bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); franco argilo arenosa; friável, pequena a média, blocos angulares e subangulares; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável quando úmida, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; dura quando seca; transição gradual; raízes poucas.
Horizonte BE 110-139 cm: Bruno (7,5 YR 4/4, úmido); Bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); franco argilo; firme, pequena a média, blocos angulares e subangulares; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; firme quando úmida, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; dura quando seca; transição difusa; raízes raras.
Horizonte B 139 + cm: Bruno (7,5 YR 4/4, úmido); Bruno-avermelhado-escuro (2,5 YR 3/4, seco); argila; firme, pequena a média, blocos angulares e subangulares; cerosidade ausente; poros comuns pequenos e médios; friável quando úmida, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa quando molhada; dura quando seca; transição difusa; raízes raras.

A e o EB tem uma elevada condutividade hidráulica perante os demais, o horizonte A por apresentar em sua granulometria maior quantidade de areia grossa e média, enquanto o horizonte EB apresentou em sua granulometria uma quantidade grande de cascalho e silte. Já os horizontes diagnósticos AE e E se mantiveram numa relação intermediária no valor da condutividade hidráulica perante os outros horizontes devido a pouca quantidade de cascalho e argila e uma grande quantidade de areia fina e silte. Já os horizontes diagnósticos BE e B se comportaram impermeável, principalmente o horizonte B, devido sua alta concentração de argila.

Na Tabela 3, nota-se que a capacidade de campo, índice de vazio e porosidade total é menor no horizonte E devido a sua distribuição granulométrica enquanto que o horizonte B tem a maior capacidade de campo devido ter a maior quantidade de argila e o horizonte A tem a maior estabilidade de agregados devido a presença de raízes e matéria orgânica.

Na Tabela 4 observa-se a porosidade dos horizontes diagnósticos obtidas pelo ensaio da mesa de tensão, obteve-se os seguintes resultados, o horizonte diagnóstico B, tem a maior microporosidade e a menor

macroporosidade, enquanto que o horizonte diagnóstico E tem a menor microporosidade, resultados que correspondem a suas respectivas granulometrias.

Após a análise dos resultados obteve-se o seguinte comportamento físico-hídrico dos horizontes diagnósticos do perfil do solo, aonde foi identificado o processo de translocação das argilas dos horizontes diagnósticos superficiais A, AE, E e EB para os subsuperficiais BE e B, sendo esses horizontes mais resistentes e impermeáveis contribuindo para a convexação do topo da vertente, já na base da vertente a concavização é devido a erosão remontante dos horizontes menos resistentes e pela organização dos mesmos, comandados pela circulação hídrica superficial e subsuperficial.

## 5 Conclusão

Conclui-se que todos os resultados dos parâmetros físico-hídricos dos horizontes diagnósticos da cobertura pedológica corroboram para a atual conformação do perfil da topossequência da vertente.

Tabela 3 - Parâmetros físicos dos horizontes diagnósticos do perfil de solo

Hz	CC (%)	e	n (%)	EA (%)
A	14,43	0,69	40,0	66,06
AE	11,64	0,54	35,0	33,15
E	10,73	0,25	20,0	29,85
EB	12,58	0,72	41,0	31,52
BE	21,35	0,85	45,0	16,43
B	22,27	0,65	39,0	30,66

CC=capacidade de campo; e=índice de vazios; n=porosidade total e EA=estabilidade de agregados.

Organização: Dos autores

Tabela 4 - Parâmetros físicos dos horizontes diagnósticos do perfil de solo obtidos pela mesa de tensão

Hz	% sat	micro	macro	10 cm	30 cm	60 cm
A	37,00	28,52	8,48	34,98	31,83	28,52
AE	39,14	29,24	9,90	36,21	32,87	29,24
E	34,36	27,72	6,64	31,64	29,25	27,72
EB	41,38	32,65	8,73	38,16	34,13	32,65
BE	46,33	38,62	7,71	42,30	40,01	38,62
B	46,64	41,30	5,34	46,07	42,38	41,30

Organização: Dos autores



## Referências

- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. *Geomorfologia*. n. 18, IG-USP, São Paulo, 1969.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo - determinação da distribuição do tamanho de partículas: NBR 7181. Rio de Janeiro, 1984.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo - determinação do índice de vazios mínimo: NBR 6508/80. Rio de Janeiro, fev. 1991.
- BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale: Esquisse méthodologique. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ovest*. Toulouse; 39(3), 249-272, 1968.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global – esboço metodológico. *Cadernos de Ciências da Terra*. Instituto de Geografia/USP: São Paulo; 1971.
- BOULAIN, J. *Projet de taxonomie pédologique*. Tome I. Grignon: Multicopie, 1978.
- BOULET, R. Toposéquences de sols tropicaux en Haute Volta: équilibres et déséquilibres pédobioclimatiques. *Mém. ORSTOM*. v.85, 1978.
- CASSETI, V. Ambiente e Apropriação do Relevo. São Paulo: Contexto, 1991.
- CHRISTOFOLETTI, A. Vertentes: processos e formas In: *Geomorfologia*. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- CRUZ, O. Estudo dos processos geomorfológicos do escoamento pluvial na área de Caraguatatuba. São Paulo. Tese de Livre Docência, FFLCH-USP, S. Paulo, 1982.
- KIEHL, E. J. Manual de Edafologia: relações solo-planta. Ed Agronômica Ceres: São Paulo, 1979.
- LAKATOS, Eva Maria y MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos de metodologia científica. 4.ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 2001.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da **água** no solo. 2 ed. Piracicaba: P. L. Libardi, 2000.
- LIBARDI, P.L. Dinâmica da **água** no solo. São Paulo: EDUSP. 2005.
- MACIEL FILHO, C. L. Carta Geotécnica de Santa Maria. Santa Maria: Imprensa Universitária UFSM, 1990.
- MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African Soils. *Soil Res.*, v. 4, p. 183-198, 1935.
- MONTEIRO, C.A.F. Geossistemas: a história de uma procura. São Paulo: Contexto, 2000.
- PELLERIN, J.; QUEIROZ NETO, J.P. (1992) Relations entre la distribution des sols, les formes et l'évolution du relief dans la haute vallée du Rio do Peixe (état de São Paulo, Brésil). *Paris, Science du Sol*, v. 30, n. 3, p.133-147.
- QUEIROZ NETO, J. P. Análise estrutural da cobertura pedológica no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21 Campinas, 1988.
- QUEIROZ NETO, J. P. Geomorfologia e pedologia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*.1:59-67, 2000.
- QUEIROZ NETO, J. P. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica: Uma Experiência de Ensino. Departamento de Geografia USP, 2002.
- ROSS, J.L. Geografia do Brasil. São Paulo, SP: Edusp, 1996.
- SANTOS, L. J. C. Contribuição da análise estrutural da cobertura pedológica ao desenvolvimento da ciência do solo. *R. RA'EGA*, n. 4, p. 131 – 138. Editora da UFPR, 2000.
- 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, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Embrapa Solos, 2005. 100p.
- SARTORI, M. da G. B. A dinâmica do clima do RS: Indução empírica e conhecimento científico. *Revista Terra Livre*. São Paulo. Ano 19 – Vol 1n. 20, 2003 (jan/jul).
- SOTCHAVA, V. B. O estudo de geossistemas. Métodos em Questão. São Paulo; p. 27-36, 1982.
- TRICART, J. Mise au point – L'évolution des versants. *L'information géographique*, 1957.
- TRICART, J. Principes et méthodes de l'geomorphologie. Paris:Masson Ed., 1965.
- UHDE, L. T. Sistema pedológico em um ambiente antropizado da depressão central do RS. Tese de Doutorado, PPGCS, UFSM, Santa Maria, 2009.
- VIEIRA, E.F. Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação. Porto Alegre-RS: Sagra, 1984.