

# DIVISÃO 1 - SOLO NO ESPAÇO E NO TEMPO

## Comissão 1.1 - Gênese e morfologia do solo

### FILIAÇÃO ENTRE ARENITOS DA FORMAÇÃO GUARÁ E SUA COBERTURA PEDOLÓGICA NO RIO GRANDE DO SUL<sup>(1)</sup>

Edgardo Ramos Medeiros<sup>(2)</sup>, Fabrício de Araújo Pedron<sup>(3)</sup>, Dalvan José Reinert<sup>(3)</sup> & Anderson Augusto Volpato Scoti<sup>(4)</sup>

#### RESUMO

As regiões oeste e sudoeste do Rio Grande do Sul, RS, destacam-se pela ocorrência de extensas áreas com solos frágeis desenvolvidos sobre sedimentos arenosos continentais do Mesozoico da Bacia do Paraná. O uso inadequado das terras tem acelerado o processo de arenização sobre essas áreas. Nesse caso, o conhecimento dos solos é fundamental para a seleção de práticas adequadas de manejo visando a sua sustentabilidade. Os objetivos deste trabalho foram entender a evolução e estabelecer a relação, em termos de filiação, entre a rocha e sua respectiva cobertura pedológica por meio de perfis desenvolvidos sobre os arenitos da Formação Guará no RS. Foram realizadas análises químicas, físicas, mineralógicas e morfológicas em dois perfis de Cambissolos Háplicos e um perfil de Argissolo Vermelho. Verificaram-se indícios de adição externa de materiais aos perfis estudados, principalmente ilmenita, oriunda da alteração de áreas com rochas vulcânicas básicas circunvizinhas. O aporte de material alóctone nos perfis estudados é responsável pela pedogênese de horizontes B com incremento de argila, característicos de Argissolos e Cambissolos. Os dados sugerem a identificação e interpretação de um sexto componente pedogenético definido como contexto geológico do entorno.

**Termos de indexação:** pedologia, solos arenosos, arenização, bioma Pampa.

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em 11 de julho de 2012 e aprovado em 7 de março de 2013.

<sup>(2)</sup> Professor do Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, campus UFSM, Av. Roraima, 1000, Bairro Camobi. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: edgardomedeiros@gmail.com

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Solos, UFSM, campus UFSM. E-mail: fapedron@ufsm.br; dalvanreinert@gmail.com

<sup>(4)</sup> Acadêmico do Curso de Geografia, UFSM, campus UFSM. E-mail: ascoti@yahoo.com.br

**SUMMARY: ORIGIN OF SANDSTONES FROM THE GUARÁ FORMATION AND THEIR PEDOLOGIC COVER IN RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL**

*In the west and southwest regions of Rio Grande do Sul (RS) there are extensive areas with fragile soils developed from sandy sediments of the continental Mesozoic Paraná Basin. Inappropriate land use has accelerated the process of sandy desertification in these areas. In this case, the knowledge of soils is critical for the choice of appropriate management systems to regain sustainability. The objectives of this study were to understand the evolution and describe the relationships, in terms of origin, between the rock and its respective pedological cover by studying profiles developed from sandstones of the Guarú Formation in RS. Soil chemical, physical, mineralogical, and morphological analyses were carried out with samples of two Dystrudept and one Rhodudult profile. There was evidence of external addition of material to the studied profiles, mainly of ilmenite, resulting from the alteration of areas with basic volcanic rocks in the surroundings. The inclusion of allochthonous material in the soil profiles was responsible for a pedogenesis leading to B horizons with higher clay contents, a feature of Ultisols and Cambisols. The data suggest the identification and interpretation of a sixth pedogenetic component, defined as the geological context of the surroundings.*

*Index terms: pedology, sandy soils, desertification, Pampa ecosystem.*

## INTRODUÇÃO

As regiões oeste e sudoeste do Rio Grande do Sul, RS, que ocupam uma superfície significativa dentro dos aproximadamente 283 mil km<sup>2</sup> de área total do Estado, são consideradas menos desenvolvidas, quer sob o aspecto industrial, quer sob o agrícola. Estão localizadas entre as latitudes 29° 00' e 31° 00' S e as longitudes 54° 30' e 58° 40' W, mais precisamente desde as nascentes do Rio Ibicui ao norte e as nascentes do Rio Santa Maria Chico ao sul, até o limite oeste estabelecido pelas fronteiras com o Uruguai e Argentina. É nesse espaço que se situam áreas arenosas destituídas de vegetação, equivocadamente chamadas por uns de áreas de desertificação (Suertegaray, 1995). Na realidade, essas refletem uma forma acelerada de erosão dos solos, vinculada, principalmente, às cabeceiras de drenagens, bem como às vertentes convexas da parte média de colinas e base de cerros, especialmente as associadas a um substrato arenoso pouco coeso. Portanto, constituindo-se numa paisagem extremamente frágil (Medeiros et al., 1995; Streck et al., 2008).

Em termos litológicos, essa área é constituída por rochas vulcânicas e sedimentares, especialmente por sequências arenosas de idades e procedências distintas e que respondem de maneira diferente aos processos superficiais, determinando, em última análise, formas distintas de relevo e, por consequência, formas distintas de ocupação. Essas últimas litologias fazem parte das sequências sedimentares continentais da parte superior (Mesozoica) da Bacia do Paraná (Petri & Fulfaro, 1983). Em termos geológicos-geomorfológicos, esse espaço continental encontra-se parte sobre a Depressão Periférica do Rio Grande do Sul e parte sobre o extremo sudoeste do Planalto Meridional ou, segundo autores

como Müller Filho (1970), assentando, na sua quase totalidade, sobre a Cuesta de Haedo.

Quando se visa uma qualificação do uso e aproveitamento de um espaço, torna-se necessário o conhecimento prévio das múltiplas condições que terão influência direta sobre esse, ou seja, o conhecimento interdisciplinar que, nesse caso, destacam-se os diversos aspectos ligados à filiação rocha-solo. Embora, o conhecimento geológico-geomorfológico da parte oeste e sudoeste do Rio Grande do Sul já se encontre em um nível de maior detalhamento, por meio dos muitos trabalhos realizados como os de Medeiros et al. (1989, 1995), Paula & Robaina (2003), entre outros, além dos pioneiros Souto (1984) e Müller Filho (1970), o mesmo não se aplica ao conhecimento das características pedológicas, ainda que pese os trabalhos de Brasil (1973), Klamt & Schneider (1995), Azevedo & Kaminski (1995) e Streck et al. (2008). Esses, em geral, são trabalhos de maior abrangência em área, porém menos detalhados.

Considerando-se a amplitude das regiões oeste-sudoeste do Rio Grande do Sul, onde a ocorrência de sequências arenosas distintas, além de ocuparem uma superfície significativa, apresenta elevada fragilidade aos processos superficiais, é fundamental que se busque maior conhecimento das características petrográficas dessas regiões, suas variações de fácies mineralógico e textural, a fim de estabelecer o nível de relação rocha-solo, visto ser uma das condições mínimas para melhor qualificar o aproveitamento da área.

Os solos predominantes na região de estudo sobre arenitos são os Neossolos Quartzarênicos, Argissolos e Latossolos (Brasil, 1973; Klamt & Schneider, 1995; Azevedo & Kaminski, 1995). O trabalho de Klamt & Schneider (1995) sugeriu que os Argissolos sobre arenitos são formados por meio da adição externa de material argiloso de origem basáltica. Michelon et al.

(2010), analisando a pedogênese alóctone em perfis de solos derivados de sedimentos no RS, não encontraram indícios desse processo em perfis com mudança textural abrupta.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros morfológicos, químicos, físicos e mineralógicos, visando entender a evolução e estabelecer a relação, em termos de filiação, entre a rocha e sua respectiva cobertura pedológica, por meio de perfis desenvolvidos sobre o substrato rochoso da Formação Guará no Rio Grande do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado a partir do estudo de três perfis de rocha-solo desenvolvidos sobre os arenitos da Formação Guará, no município de Alegrete, RS. A Formação Guará, restrita em sua ocorrência ao oeste do Rio Grande do Sul, assenta, estratigraficamente, em discordância sobre a Formação Sanga do Cabral e encontra-se sotoposta à Formação Botucatu e, na ausência dessa, sob as vulcânicas da Serra Geral; tem uma espessura que oscila entre os 60 e 100 m e distribui-se de maneira quase contínua dentro da área (Scherer & Lavina, 2005).

Os arenitos da Formação Guará, segundo Scherer & Lavina (2005), apresentam coloração bege a esbranquiçada e natureza fluvial com processos eólicos associados. Caracterizam-se pela granulometria grossa e média pouco selecionada, por vezes finas e com matriz argilosa; evidenciam mineralogia quartzosa, com grãos subangulosos e com subordinação de feldspatos; e possuem estratificação cruzada-acanalada, plano-paralela e maciça. O clima da região é classificado, segundo Maluf (2000), como subtropical úmido, com possibilidade de seca definida no verão. A temperatura média anual é de 18,6 °C e a precipitação pluvial anual, de 1.574 mm.

Os três perfis foram selecionados, considerando-se a sua representatividade litológica, geomorfológica e pedológica (Quadro 1). Em cada perfil, foram amostrados todos os horizontes de solo e as camadas saprolíticas e rochosas; neste trabalho, denominadas de camadas Cr, CrR, RCr e R, conforme Embrapa (2006) e Pedron et al. (2010). Foram coletadas amostras com estrutura deformada de todos os horizontes e as camadas e amostras com estrutura indeformada e

orientadas no sentido vertical das camadas Cr, CrR, RCr e R, com formato aproximadamente cúbico com cerca de 10 cm de lado, revestido com parafina para preservação de suas características físicas originais.

Os procedimentos laboratoriais subsequentes constaram de análises químicas, físicas e mineralógicas/petrográficas, buscando o conhecimento da composição mineral e a consequente classificação petrográfica, bem como a determinação das características macro e micromorfológicas e de textura de superfície dos grãos minerais constituintes, tanto leves quanto pesados, conforme métodos indicados na sequência.

Inicialmente, todas as amostras foram secas ao ar e levemente destorroadas. A amostra foi destorroadada e submetida à dispersão química com hexametáfosfato de sódio e dispersão física em agitador vertical. A areia foi separada por peneiramento úmido e posteriormente fracionada via peneiramento seco. A argila foi determinada por sedimentação pelo método da pipeta (Embrapa, 1997).

A distribuição granulométrica seguiu a Escala Granulométrica de Wentworth (1922), que considera areia muito grossa de 2 a 1 mm; areia grossa de 1 a 0,5 mm; areia média de 0,5 a 0,25 mm; areia fina de 0,25 a 0,125 mm; areia muito fina de 0,125 a 0,062 mm; silte de 0,062 a 0,002 mm; e argila <0,002 mm. As classes texturais atribuídas a cada horizonte e camada foram com base em Santos et al. (2005).

Para a análise mineralógica/petrográfica, foram utilizados procedimentos e técnicas analíticas distintas, definidos, principalmente pelo grau de friabilidade do substrato rochoso e pela necessidade de detalhamento no reconhecimento mineral.

As amostras com estrutura indeformada, correspondentes ao substrato rochoso e parte do saprolito, em virtude da possibilidade de desagregação, foram impregnadas com resina Araldite GY 1109 e endurecedor HY 951, na proporção 10:1 e mais corante Azul de Ceres na proporção 3 %. Foram acrescentadas cerca de 5 % de acetona com objetivo de diminuir a viscosidade da resina para melhor penetração nas amostras. Subsequentemente, as amostras ficaram 8 h sob pressão negativa com o auxílio de uma bomba de vácuo; após, permaneceram na estufa por aproximadamente 24 h, com temperatura de 50 °C, para secagem e eliminação da acetona. Posteriormente, foram laminadas e levadas à

**Quadro 1. Dados ambientais e taxonômicos dos perfis estudados**

Perfil	Declividade	Posição paisagem	Altitude	Classificação taxonômica	Coordenada
	%		m		
São João 1 (SJ1)	8	Meia encosta	150	Cambissolo Háplico	29° 43' 40.65" S 55° 28' 32.71" W
São João 2 (SJ2)	5	Encosta inferior	140	Argissolo Vermelho	29° 43' 54.74" S 55° 28' 22.64" W
Lagoa Verde (LV)	4	Topo	180	Cambissolo Háplico	29° 46' 18.06" S 55° 28' 17.96" W

microscopia de luz transmitida, para a determinação da constituição mineral e a consequente classificação petrográfica. Para tanto, foi utilizado microscópio petrográfico de polarização com quatro objetivas e uma ocular de 8x.

A constituição mineralógica dos horizontes pedogênicos, assim como das camadas correspondentes à rocha matriz e ao saprolito, representados por amostras com estrutura deformada, como também os aspectos morfométricos como o arredondamento e os aspectos texturais da superfície dos grãos, foram determinados a partir da análise individual das várias frações granulométricas que compõem cada horizonte, utilizando-se uma lupa binocular com *zoom* progressivo e aumento maior de 40x. Para maior enriquecimento das informações, uma das oculares tanto da lupa quanto do microscópio foi frequentemente substituída por uma ocular digital de alta resolução, visando o registro fotográfico de aspectos mineralógicos e texturais importantes dos grãos. A morfometria foi estabelecida por comparação visual conforme escala proposta por Power, encontrada em Sgarbi (2007), enquanto a seleção dos constituintes detríticos de rocha sedimentar foi baseada em Pettijohn (1976).

Em razão da dificuldade na determinação de alguns minerais pesados, especialmente os opacos com uso de microscopia comum, foi utilizada a técnica de Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV) (Goldstein et al., 1992).

Em termos químicos, todos os horizontes e as camadas de cada perfil foram avaliados individualmente para 12 elementos. Entretanto, foram utilizados somente Si, Al, Fe, Ti, Mg e Mn, em razão da mineralogia que compõe a camada rochosa e os horizontes pedogenéticos. Embora o zircão e até mesmo a turmalina ocorram em alguns horizontes, a porcentagem de zircônio e a de boro (nas turmalinas) foram insuficientes para serem detectadas na análise. Os demais elementos, principalmente Ca, K e P, não foram considerados, em razão da possibilidade de ocorrerem valores anômalos oriundos de correção e adubação do solo, em razão de algumas áreas serem de antigas lavouras ou até mesmo lavouras atuais. A abertura das amostras deu-se pela associação de  $\text{HNO}_3$  + HCl + HF. As determinações dos elementos foram feitas por espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

Os perfis foram classificados, até o segundo nível categórico, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SiBCS), conforme Embrapa (2006).

## RESULTADOS

Os dados granulométricos dos três perfis estudados são apresentados no quadro 2. Os três perfis apresentaram baixos teores de argila na rocha e elevação da argila em direção ao solo, com valores

máximos nos horizontes B. Verificam-se aumentos de argila da rocha para o horizonte B de 3,28 para 17,42, no perfil SJ1; de 7,09 para 24,16, no perfil SJ2; e de 5,59 para 27,17, no perfil LV. Da mesma forma, os três perfis apresentaram predomínio de areia média e areia fina, totalizando valores superiores a 85 % nas camadas R e RCr. Ressalta-se a quebra abrupta dos teores de areia média no horizonte Bi do perfil LV e aumento dos teores de areia fina, areia muito fina, silte e argila.

### Caracterização do substrato rochoso e sua classificação petrográfica

Nos três perfis, o substrato rochoso é constituído por uma rocha sedimentar clástica, de modo geral, bem a moderadamente selecionada, que, mesmo em lâmina delgada orientada (oriunda de amostra com orientação vertical no perfil) dos perfis SJ1 e LV, não evidenciou nenhum tipo de orientação na distribuição de seus clastos. Por sua vez, no substrato rochoso do perfil SJ2 ocorre grosseira laminação oriunda da intercalação paralela de areia média e areia fina.

A mineralogia é quase que totalmente quartzosa, tratando-se, segundo classificação de Folk (1974), de uma rocha tipo quartzo-arenito, com grãos monocristalinos e raros polimicrocristalinos. O reconhecimento do quartzo baseou-se na ausência de clivagem, na baixa birrefringência, na extinção ondulante de muitos grãos e por serem uniáxicos positivos. Tanto os minerais pesados opacos quanto os transparentes, pelo menos microscopicamente, não são de ocorrência significativa na rocha, restringindo-se à presença de poucos grãos de rutilo e zircão, esses identificados pela MEV (Figura 1). No perfil LV apareceram raras turmalinas e frequentes opacos, entre esses a magnetita, reconhecida pelo hábito octaédrico.

Não foram encontrados feldspatos, nem fragmentos de rochas. Muitos grãos apresentam recobrimento ora parcial, ora total, de uma fina película de material sedimentar de característica argilosa, constada pela presença quase que exclusiva de Al e Si como elementos químicos constituintes; esses determinados com o uso da MEV (Figura 1). A sua identificação ao microscópio foi determinada pela baixa birrefringência quando em luz polarizada com nicóis cruzados e por distribuir-se de modo irregular em alguns dos espaços entre os grãos, não chegando, desse modo, a constituir uma típica matriz (Figura 2).

### Caracterização da fração areia

Os clastos da fração areia média e areia fina da camada RCr do SJ1, que constituem uma das frações mais significativas em termos percentuais, são formados, na sua quase totalidade, por quartzo, predominantemente hialinos, poucos foscos, variando de subangulares (predominantes) a arredondados, esses apresentando frequentes marcas de percussão. Raros opacos (Figura 2).

**Quadro 2. Distribuição granulométrica dos perfis desenvolvidos sobre o arenito Guará**

Horiz./camada	Prof.	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte	Argila	Classe textural <sup>(1)</sup>
	cm	%							
Perfil São João 1 (SJ1) - Cambissolo Háplico									
Ap	0-26	0,03	0,47	18,25	52,98	13,86	3,93	10,46	Areia Fr
A	26-60	0,14	1,23	28,61	42,78	8,85	5,00	13,38	Areia Fr
Bi	60-98	0,11	0,90	20,34	44,63	12,9	3,70	17,42	Areia Fr
BC	98-185	0,16	1,20	24,70	43,18	10,15	5,09	15,52	Areia Fr
Cr	185-260	0,02	0,18	40,83	50,38	0,75	1,40	6,43	Areia
RCr	260-350	0,00	0,05	27,93	67,02	0,66	1,06	3,28	Areia
Perfil São João 2 (SJ2) - Argissolo Vermelho									
Ap	0-22	0,08	1,40	33,86	42,40	8,35	3,84	10,07	Areia
A	22-90	0,08	1,89	38,16	34,55	2,38	9,39	13,55	Areia Fr
Bt1	90-140	0,19	1,64	29,36	33,36	6,53	6,38	22,53	Fr.Arg.Ar
Bt2	140-230	0,19	1,61	26,02	32,33	7,63	7,46	24,76	Fr.Arg.Ar
Cr/C	230-270	0,10	1,09	45,20	34,12	3,96	2,25	13,27	Areia Fr
CrR	270-310	0,01	0,10	38,38	48,32	3,83	1,23	7,09	Areia
Cr	310-340	0,11	1,54	39,69	46,37	2,67	1,77	7,65	Areia
Perfil Lagoa Verde (LV) - Cambissolo Háplico									
A	0-23	0,08	1,06	21,51	40,28	13,14	8,63	15,12	Areia Fr
AB	23-55	0,04	1,01	22,30	34,65	12,61	9,59	19,76	Fr.Ar
Bi	55-95	0,13	0,84	18,19	29,89	13,38	10,4	27,17	Fr.Arg.Ar
RCr	95-150	0,00	2,04	77,54	10,12	1,94	0,95	7,40	Areia
R	150-200	0,09	5,28	68,80	17,24	1,47	1,53	5,59	Areia

Horiz.: horizonte; Prof.: profundidade; AMG: areia muito grossa; AG: areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina. <sup>(1)</sup> Areia Fr.: areia franca; Fr.Arg.Ar.: franco-argiloarenoso; Fr.Ar: franco-arenoso.

Nos horizontes Bi e BC do SJ1, a mineralogia em todos os intervalos de classe é basicamente constituída por quartzo monocristalino, hialino, com muitos grãos amarelados nas frações arenosas mais finas. Os minerais pesados concentram-se na fração areia fina, embora possam estar em menor quantidade na fração areia média e muito fina. São constituídos por rutilo, zircão (raro), turmalina e maior ocorrência de ilmenita. Na fração areia grossa aparecem grãos de quartzo recobertos por óxidos de ferro, bem como agregados de quartzo cimentados pelos mesmos óxidos de ferro (Figura 2g).

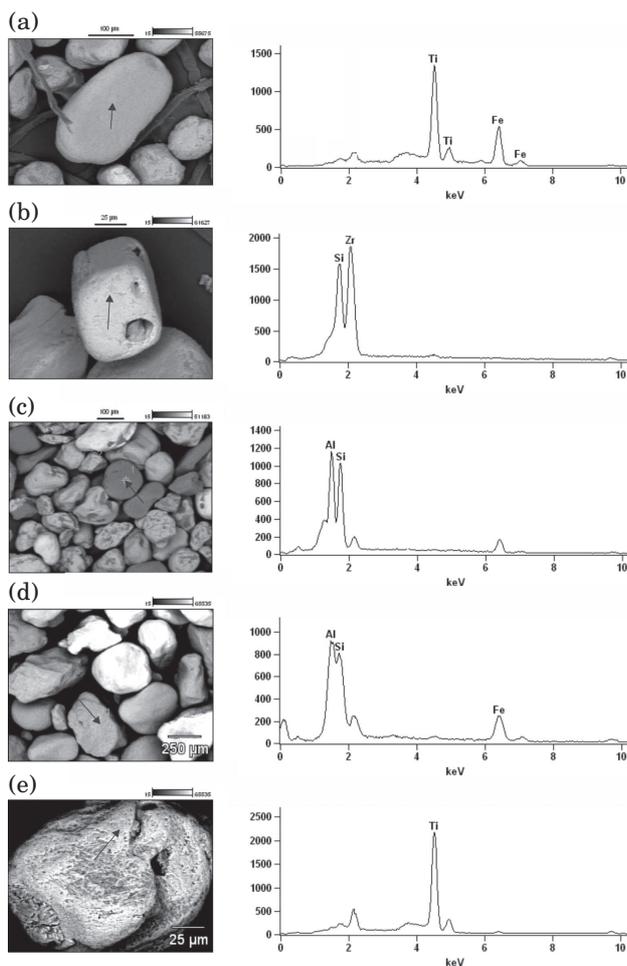
No SJ2, as frações predominantes também são a areia média e areia fina, predominando clastos subangulares a angulares; os de diâmetro maior, pouco representativos, são, em geral, arredondados a subarredondados. A camada sobrejacente Cr, tal qual a anterior, é constituída predominantemente por quartzo monocristalino e caracteriza um estágio mais avançado da ação intempérica, identificada pela manutenção da presença de argila e pelo aumento do número de grãos recobertos por óxido de ferro. A difusa estrutura laminada, presente no horizonte subjacente, foi totalmente destruída nesse horizonte. Os clastos nas camadas Cr e CrR são predominantemente subangulares, em geral com muitas arestas (Figura

2h). Os horizontes Bt1 e Bt2 apresentam minerais pesados como turmalina, rutilo, muitas ilmenitas e raras granadas e zircões nas frações areia fina e areia muito fina. O perfil LV apresenta mineralogia e morfometria da fração areia muito semelhante aos dois perfis anteriores. Destacam-se no LV a presença, mesmo que rara, de magnetita nas camadas R e RCr.

### Composição química dos perfis rocha-solo

Os valores de dissolução química do quadro 3 evidenciam, no SJ1, um crescimento significativo do Ti, Fe e Al a partir da camada rochosa RCr e saprolítica Cr, com picos entre os horizontes BC e Bi. O titânio após recuar no horizonte A, tornou a crescer no horizonte Ap.

O Si praticamente manteve-se constante ao longo do perfil. O Mg e o Mn, como os demais, praticamente têm aumento sequencial em direção ao topo do perfil, retraindo-se o primeiro, levemente no horizonte A e o segundo, no horizonte Bi. No SJ2, verifica-se o crescimento proporcional significativo a partir das camadas saprolíticas Cr e CrR, dos elementos Ti, Fe e Al, com picos de alta nos horizontes pedogenéticos Bt2 e Bt1. O Mg e o Mn, a partir do substrato rochoso, têm picos de alta nos horizontes Cr/C e Bt2, respectivamente. Assim como no SJ1, o Si manteve-



**Figura 1. Fotomicrografias e gráficos composicionais obtidos pela microscopia eletrônica por varredura das amostras dos perfis desenvolvidos sobre o arenito Guará. (a) grão de ilmenita, horizonte Bi do perfil SJ1; (b) grão de zircão, camada RCr do perfil SJ1; (c) e (d): película de argila como revestimento de grãos, perfis SJ1 e SJ2, respectivamente; e (e) grão de rutilo, camada R do perfil LV.**

se constante ao longo de todo o perfil. No LV, nota-se crescimento proporcional significativo dos elementos Ti, Fe e Al a partir da camada rochosa, tendo os picos entre os horizontes Bi e AB. A variação do teor de Si só é expressiva no horizonte Bi, onde ocorre pico de baixa, coincidente com o pico de alta do Al e do Fe ao longo do perfil.

## DISCUSSÃO

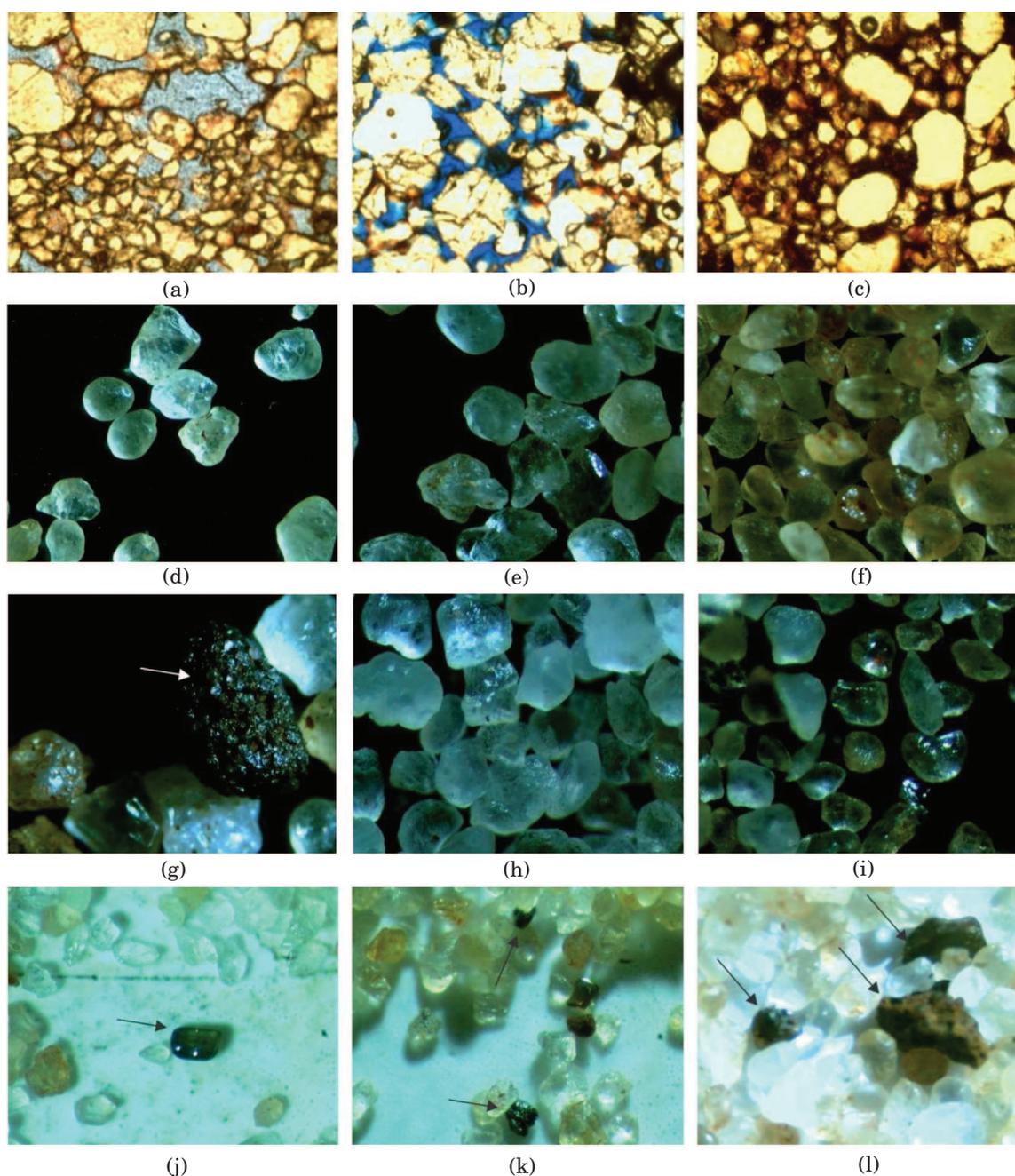
O substrato rochoso nos três perfis é, em termos petrográficos, rigorosamente o mesmo, classificado com quartzo arenito e, praticamente, destituído de feldspato e fragmentos de rochas e com baixo teor de

argila, que em nenhum caso ultrapassa 8 %, que se comporta mais como cimento ou como película revestindo grãos do que como matriz. A mineralogia acessória é representada principalmente por minerais pesados como o rutilo (principal), zircão, turmalina e magnetita titanífera, essa no perfil LV, todos praticamente vinculados às frações areia fina e muito fina. Essa mineralogia, associada à mineralogia básica quartzosa, repete-se, de modo geral, ao longo de todos os três perfis; nesse caso, ligando geneticamente os horizontes pedogenéticos ao substrato rochoso. Entretanto, é também correto afirmar a existência de uma atividade alóctone ao processo pedogenético original, que foi comprovada por meio de aspectos granulométricos, mineralógicos e químicos e fundamentalmente pela notória inter-relação deles.

Em termos granulométricos, os três perfis revelam predomínio das frações areia fina e areia média. Com exceção da fração areia média, que cresce em direção ao topo do Perfil LV, nos demais perfis, essas evidenciam redução em direção aos horizontes superficiais, embora apresentem algumas variações nos horizontes intermediários. Concomitante, em direção ao topo do perfil, ocorre elevação da fração areia muito fina e argila, essa com pico de alta nos horizontes intermediários dos três perfis. O aumento no teor de argila, juntamente com a presença de óxido de ferro preenchendo fraturas e recobrendo parcialmente bordos de alguns grãos, especialmente de quartzo, aponta para uma participação externa ao processo pedogenético. No caso do SJ1, a partir da camada RCr em direção aos horizontes pedogenéticos BC e Bi, há crescimento da fração argila, que passa, respectivamente, de 3,28 % para 15,52 e 17,42 %, concomitante com o decréscimo das duas frações areia principais, sugerindo o aporte externo de material fino. No SJ2, há elevação dos teores de argila de 7,09 % no CrR para 24,76 % no Bt2, enquanto no LV essa elevação é de 5,59 % no R para 27,17 % no Bi.

Essa participação de argila de procedência alóctone é corroborada pela inexistência de minerais instáveis, como feldspatos e anfibólios, no substrato rochoso, que, uma vez alterados, poderiam contribuir com o aumento do teor de argila; ainda no aspecto granulométrico, contribui também para reafirmar essa influência, o crescimento sequencial da fração areia muito fina em direção ao topo do perfil, uma vez que parte, no SJ1, de teor próximo a zero (0,66 e 0,75 %) nas camadas rochosas até atingir (10,15 e 12,9 %) nos horizontes BC e Bi, chegando no horizonte A com 13,86 %. É importante salientar que embora ao longo de todo o perfil a fração areia seja representada basicamente por areias média e fina, e subordinadamente por areia muito fina, existe grande variação percentual ao longo dos horizontes.

Em termos mineralógicos, ressalta-se o aporte, a partir do horizonte BC, Bt2 e Bi dos perfis SJ1, SJ2 e LV, respectivamente, de mineralogia alheia ao substrato rochoso e representada principalmente por



**Figura 2.** Imagens de microscopia de polarização (8 x 3,5) e morfometria da fração areia dos perfis desenvolvidos sobre o arenito Guará. (a), (b) e (c): bordas e fraturas de clastos de quartzo preenchidas por óxido de ferro, camadas RCr, do perfil SJ1; CrR, do Perfil SJ2; e RCr do Perfil LV, respectivamente. (d): fração areia grossa (<1,0>0,5 mm). Clastos de quartzo apresentando o grau de retrabalhamento e as marcas de percussão, camada R do SJ1. (e): fração areia média (<0,5>0,250 mm). Clastos de quartzo subangulares a arredondados, camada Cr do SJ1 (lupa 35x). (f): fração areia média (<0,5>0,250 mm). Clastos de quartzo hialinos e amarelados subangulares a subarredondados, horizonte Bi do SJ1 (lupa 35x). (g): fração areia grossa (<1,0>0,5 mm). Agregado de quartzo cimentado por óxido de ferro na fração areia grossa do horizonte BC do SJ1. (h): fração areia fina (<0,250>0,125 mm). Clastos de quartzo hialino subangulares com muitas arestas, camada Cr do SJ2 (lupa 35x). (i): fração areia muito fina (<0,125>0,062 mm). Clastos de quartzo hialinos e amarelados, horizonte A do SJ2 (lupa 35x). (j): fração areia fina (<0,250>0,125 mm). Grão de zircão, camada R do LV (lupa 35x). (k): fração areia fina (<0,125>0,062 mm). Grãos de rutilo (os dois inferiores e o superior) e de zircão (parte média superior), horizonte Bt do LV (lupa 35x). (l): fração areia grossa (<1,0>0,5 mm). Agregados de quartzo cimentados por óxido de ferro, horizonte Bt do LV (lupa 35x).

**Quadro 3. Dados de dissolução química total das amostras dos perfis desenvolvidos sobre o arenito Guará**

Horizonte/ camada	Si	Al	Fe	Ti	Mg	Mn
$\mu\text{g g}^{-1}$						
Perfil São João 1 (SJ1) - Cambissolo Háplico						
Ap	254.867	16.400	9.099	3.021	522	126
A	254.497	19.098	14.610	1.805	325	100
Bi	266.600	27.693	10.735	2.366	383	79
BC	277.667	21.283	10.376	2.689	303	84
Cr	268.753	9.375	3.778	435	190	0
RCr	288.660	2.646	902	395	81	0
Perfil São João 2 (SJ2) - Argissolo Vermelho						
Ap	276.050	11.708	6.134	1.705	171	341
A	269.807	18.441	8.392	1.539	171	409
Bt1	264.333	36.473	13.047	2.615	79	383
Bt2	255.010	31.185	13.750	2.107	132	691
Cr/C	274.873	14.208	5.029	802	408	68
CrR	290.408	13.079	4.613	559	369	0
Cr	300.493	9.560	3.231	620	247	54
Perfil Lagoa Verde (LV) - Cambissolo Háplico						
A	283.554	19.347	9.253	1.923	117	444
AB	280.597	28.512	12.285	3.359	143	577
Bi	248.197	40.840	15.226	2.864	97	660
RCr	301.830	10.539	3.709	789	25	219
R	291.440	6.812	2.498	527	28	167

ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ). A ilmenita, de acordo com Pettijohn (1941), é quimicamente instável em climas tropical e subtropical úmidos, o que dificilmente lhe permitiria passar incólume pelo ciclo sedimentar que antecedeu a deposição dos sedimentos da Formação Guará. No entanto, a ilmenita é um mineral acessório comum em muitas rochas, entre essas as vulcânicas como o basalto. Como esse tipo de rocha faz parte do contexto geológico da área, além de ser estratigraficamente posicionado acima dos arenitos da Formação Guará, é de se esperar que produtos minerais oriundos de sua alteração sejam carregados e passem a fazer parte de um novo condicionamento geológico.

Contribui também, para reafirmar a contribuição de uma mineralogia alóctone, o incremento de cimento ferruginoso, oriundo principalmente da alteração do piroxênio (mineral fundamental em basaltos) e ausente na camada basal do substrato rochoso de todos os perfis, chegando, posteriormente, a recobrir parcial ou totalmente ou até mesmo preencher fraturas de muitos clastos nos horizontes superiores ou cimentar agregados de quartzo de diâmetro menor nas frações areia grossa e muito grossa desses mesmos horizontes.

Em termos químicos, é notória a relação entre o aporte de ilmenita e argila, no perfil, que ocorre a partir do horizonte BC, e a resposta que esse aporte impõe à composição química original do substrato

rochoso. Assim, elementos químicos como Fe, Ti, Mg, Mn e Al, que fazem parte da composição química desses minerais, têm forte incremento nas suas respectivas concentrações, como estão apresentados no quadro 3. A ilmenita, que de forma mais completa pode ter sua composição expressa pela fórmula  $(\text{Fe,Mg,Mn})\text{TiO}_3$ , segundo Deer et al. (1966), pode apresentar ampla variação na relação Ti/Fe. Entretanto, a variação do Mg e Mn está diretamente vinculada à capacidade desses de substituir isomorficamente o Fe na estrutura da ilmenita, com o qual apresentam crescimento inverso. Excetuando-se o horizonte Bi do Perfil LV, onde a redução da concentração do Si é compensada pelo incremento do teor de Al, Fe e Ti. O teor de Si praticamente mantém-se constante (oscila dentro do desvio-padrão) ao longo de todos os perfis, não evidenciando correlação significativa com os demais elementos, indicando que sua participação no substrato rochoso e nos horizontes pedogenéticos constitui-se, de modo geral, numa ação isolada, ou seja, faz parte da rocha como mineral quartzo e como tal se mantém.

A contribuição alóctone no processo pedogenético subsidia a formação de Argissolos e Cambissolos desenvolvidos sobre os arenitos da Formação Guará. Os solos típicos dessas condições petrográficas/geológicas-geomorfológicas são, em sua maioria, classificados como Neossolos Quartzarênicos (Klamt

& Schneider, 1995; Azevedo & Kaminski, 1995; Streck et al., 2008), principalmente em razão da mineralogia do material de origem. São solos extremamente frágeis e associados aos campos de areias da região oeste-sudoeste do RS. No levantamento de reconhecimento dos solos do RS (Brasil, 1973), boa parte desses solos foi mapeada como Latossolos de textura franco-arenosa. No caso dos perfis avaliados neste trabalho, o elevado gradiente textural entre horizontes B e A e a espessura inferior a 50 cm desqualificam a ocorrência de horizontes do tipo B latossólico (Embrapa, 2006).

Os dados dos três perfis estudados sugerem que o aporte externo de argilominerais é determinante na formação de solos mais desenvolvidos e com horizontes B, já se destacando pelo acúmulo de argila, corroborando com as ideias de Klamt & Schneider (1995) e de Michelon et al. (2010). Contudo, esses solos ainda são considerados muito frágeis, visto que os horizontes superficiais apresentam textura areia a areia franca, muito pobres em termos de fertilidade e muito suscetíveis aos processos erosivos, tanto pluviais quanto eólicos (Paula & Robaina, 2003).

Ressalta-se que em se tratando de ocupação e uso das terras, sobremaneira no oeste e sudoeste gaúcho, especialmente com objetivos agrícolas, é fundamental, entre outras necessidades, identificar e interpretar o contexto geológico de seu entorno, uma vez que os dados deste trabalho tornam a sua participação no desenvolvimento pedogenético inegável. Esse contexto geológico seria enquadrado como um sexto componente pedogenético, definido pela inter-relação entre a geomorfologia e a distribuição litológica da área em questão.

## CONCLUSÕES

1. A elevação dos teores de argila nos horizontes B em relação às camadas R e RCr indicam aporte de material alóctone no processo pedogenético dos solos estudados, o que foi confirmado pela ausência de minerais formadores de argila na rocha e pela presença de minerais como a ilmenita nos horizontes pedogenéticos e sua ausência na rocha matriz.

2. As condições ambientais dos perfis estudados revelam que a ilmenita, bem como argilominerais encontrados de forma abundante, associados aos horizontes com incremento de argila, é originada da alteração de áreas com rochas vulcânicas básicas circunvizinhas.

3. O aporte de material alóctone nos perfis, derivados de substrato arenoso, indica ser responsável pela pedogênese de horizontes B com incremento de argila, característica de Argissolos e Cambissolos.

## LITERATURA CITADA

- AZEVEDO, A.C. & KAMINSKI, J. Considerações sobre os solos dos campos de areia no Rio Grande do Sul. *Ci. Amb.*, 11:65-70, 1995.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul. Recife, DNPEA-MA, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30)
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. Minerais constituintes das rochas – uma introdução. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1966. 558p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FOLK, R. Petrology of sedimentary rocks. Austin, Hemphill Publishing, 1974. 182p.
- GOLDSTEIN, J.I.; NEWBURY, D.E.; ECHLIN, P.; JOY, D.C.; ROMIG JR., A.D.; LYMAN, C.E.; FIORI, C. & LIFSHIN, E. Scanning electron microscopy and x-ray microanalysis. 2.ed. New York, Plenum Press, 1992. 820p.
- KLAMT, E. & SCHNEIDER, P. Solos suscetíveis à erosão eólica e hídrica na região da Campanha do Rio Grande do Sul. *Ci. Amb.*, 11:70-80, 1995.
- MALUF, J.R.T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Agrometeorol.*, 8:141-150, 2000.
- MEDEIROS, E. R.; MÜLLER FILHO, I. L. & VEIGA, P. O Mesozóico no oeste do Rio Grande do Sul (São Francisco de Assis e Alegrete). *Acta Geol. Leopoldensia*, 29:49-60, 1989.
- MEDEIROS, E.R.; ROBAINA, L.E.S. & CABRAL, I.L.L. Degradação ambiental na região Centro-Oeste do Rio Grande do Sul. *Ci. Amb.*, 11:53-64, 1995.
- MICHELON, C.R.; AZEVEDO, A.C.; PEDRON, F.A.; DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, J.L. & JESUS, S.L. Causes of morphological discontinuities in soils of depressão central, Rio Grande do Sul State, Brazil. *Sci. Agric.*, 67:319-326, 2010.
- MÜLLER FILHO, I.L. Notas para o estudo da Geomorfologia do Rio Grande do Sul, Brasil. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1970. 39p. (Publicação Especial, 1)
- PAULA, P.M. & ROBAINA, L.E.S. Mapeamento de unidades geológicas-geomorfológicas da bacia do Arroio Lajeado Grande. *Geociências*, 22:175-184, 2003.
- PEDRON, F.A.; FINK, J.R.; DALMOLIN, R.S.D. & AZEVEDO, A.C. Morfologia dos contatos entre solo-saprolito-rocha em Neossolos derivados de arenitos da Formação Caturrita no Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1941-1950, 2010.

- PETRI, S. & FÚLFARO, V.J. Geologia do Brasil. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1983. 631p.
- PETTIJOHN, F.J. Persistence of heavy minerals and geology age. *J. Geol.*, 49:610-625, 1941.
- PETTIJOHN, F.J. Rocas sedimentarias. Buenos Aires, Editorial Universitária, 1976. 731p.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; DOS SANTOS, H.G.; KER, J.C. & DOS ANJOS, L.H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.
- SCHERER, C.M.S. & LAVINA, E.L. Sedimentary cycles and facies architecture of aeolian-fluvial strata of the Upper Jurassic Guarú Formation, southern Brazil. *Sedimentology*, 32:1323-1341, 2005.
- SGARBI, N.C.C. Petrografia macroscópica das rochas ígneas, sedimentares e metamórficas. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 557p.
- SOUTO, J.P. Desertos, uma ameaça? Estudo do núcleo de desertificação na fronteira sudoeste do RS. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, 1984. 172p.
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; GIASSON, E. & PINTO, L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Emater/RS, 2008. 222p.
- SUERTEGARAY, D.M.A. O Rio Grande do Sul descobre seus desertos. *Ci. Amb.*, 11:33-52, 1995.
- WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *J. Geol.*, 30:377-392, 1922.