



DISCRIMINAÇÃO DE MARCADORES DE PROVENIÊNCIA DE SEDIMENTO EM BACIA RURAL POR MEIO DE EDXRF

Edivaldo Lopes Thomaz

Professor Adjunto, Bolsista Produtividade em Pesquisa - Fundação Araucária - Departamento de Geografia - Laboratório de Hidrogeomorfologia - Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO - e-mail: thomaz@unicentro.br

Fábio Luiz Melquiades

Professor Adjunto - Departamento de Física - Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO - e-mail: fmelquiades@unicentro.br

Resumo

O entendimento da dinâmica de sedimento no sistema de drenagem é fundamental aos propósitos da Geomorfologia. O objetivo do trabalho foi discriminar marcadores de proveniência de sedimento em bacia rural. As amostras de sedimento foram coletadas em diferentes pontos da cabeceira de drenagem (estrada, floresta, barranco de rio e sedimento em rio). Foi avaliada a concentração dos seguintes elementos químicos: Ti, Mn, Fe e Zr, Cu, Zn e Y. A técnica aplicada foi Fluorescência de Raios X por Dispersão em Energia (EDXRF). A técnica de EDXRF foi eficiente na detecção da composição química presente nos sedimentos. Conclui-se que os elementos quando analisados individualmente ou pareados não permitiram uma clara distinção dos ambientes à exceção do ítrio (Y) que indicou características distintas entre o material das margens do rio em relação aos demais ambientes. Todavia, a análise de agrupamento proporcionou discriminação entre as diferentes fontes de sedimento. Constatou-se, ainda, que o sedimento depositado recentemente no canal fluvial apresenta maior similaridade com os materiais das estradas do que com o barranco do rio. É provável que as estradas sejam as principais fontes de sedimentos na cabeceira de drenagem estudada.

Palavras-chave: traçadores, bacia rural, EDXRF

Abstract

Sediment dynamics understanding in a drainage system is fundamental to geomorphology purposes. This work aim was to discriminate sediment provenance tracers in rural basin. Sediment samples from different points in the headwater (road, forest, riverbank, river sediment deposit) were collected. The concentration of the following chemical elements: Ti, Mn, Fe e Zr, Cu, Zn and Y, were evaluated. Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) was the analytical technique applied, which was efficient to detect the chemical composition of the sediments. It was concluded that the elements, when analyzed individually or paired, do not allow a clear environment distinction except for yttrium (Y) that indicates distinct characteristics between the riverbank materials related to the other environments. However, the cluster analysis provided discrimination between the different sources of sediment. Also, it was verified that the recent deposited sediment in the river channel displays greater similarity with the materials of the road than with the riverbank. It is probable that the roads has been the mainly sediment source in the studied headwater.

Keywords: tracers, rural catchment, EDXRF

Introdução

A dinâmica de sedimento em bacia de drenagem envolve a produção, transporte e deposição. Além disso, é importante o conhecimento da conectividade entre as áreas fontes de sedimento, sobretudo, a proveniente de vertente para o canal fluvial.

A carga de sedimento suspensa é a principal componente de um sistema fluvial (Knighton, 1998). Por sua vez, os processos erosivos em vertente (ex. erosão laminar, sulcos, ravinas etc.) fornecem sedimentos finos ao canal fluvial. Muitas vezes os sedimentos finos são as principais fontes de contaminação dos corpos hídricos causando aumento de entrada de nutriente (Edwards et al., 2000) e contaminantes nos riachos (Stone & Haight, 2000).

Dessa forma, o reconhecimento das diversas fontes de produção de sedimento, assim como, a forma de transferências de sedimentos no sistema de drenagem são essenciais aos propósitos da Geomorfologia, assim como à conservação de solo e água no âmbito das bacias hidrográficas.

Os estudos de proveniência de sedimento em bacia podem envolver duas técnicas distintas: mensuração direta (ex. mapeamento, pinos de erosão, parcelas de erosão etc.) e mensuração indireta (ex. traçadores ou *fingerprints*) (Collins & Walling, 2004).

Tem crescido a aplicação da segunda abordagem, pois ela permite avaliar a proveniência de sedimento distante do local de onde ele é gerado. Além disso, o processo de amostragem e análise é mais rápido do que o monitoramento convencional.

As características dos traçadores empregados nas análises de proveniência são variáveis: mineralógica (Collins et al., 1997); magnética (Hassan et al., 1999); radiométrica (Andrello et al., 2003); artificial como fragmentos de rocha pintados (Oostwoud Wijdenes et al., 2003); granulométrica e morfológica (Lana & Castro, 2008) entre outras.

Desta forma os objetivos do trabalho foram: 1) identificar por meio de traçadores diferentes fontes de sedimento existente em bacia rural; 2) verificar se há diferença (elementos traços) entre os sedimentos das estradas, margens de rio e sedimento depositado no leito do rio; 3) Aplicar a técnica de Fluorescência de Raios X por Dispersão em Energia (EDXRF) na discriminação de traçadores para estabelecer proveniência de sedimento em bacia rural.

A suposição estabelecida no presente estudo foi de que os depósitos de sedimentos existentes no canal fluvial são formados, sobretudo, por material recentemente transportado das estradas rurais não pavimentadas. Previamente verificou-se que a erosão de margens no rio da bacia em estudo foi de 0,8 cm/ano (6,5 kg/m/ano), enquanto que nas estradas a remoção média foi de 2 cm/ano (13,9 kg/m/ano) (Thomaz, et al., 2008).

Ressalta-se que não foi objetivo deste trabalho analisar o comportamento geoquímico dos elementos presentes nos materiais analisados. Estudo detalhado pode ser consultado em Mineropar (2005).

Materiais e Métodos

Características do material analisado

O local de estudo é uma cabeceira de drenagem de segunda ordem com 1,1 km² (Figura 1) que se localiza na bacia do Rio Guabiroba no município de Guarapuava no estado do Paraná. A bacia do Guabiroba possui área aproximada de 23,7 km² (2370 ha) e a hierarquia fluvial é de quarta ordem. Por sua vez, a rede de drenagem da cabeceira (hierarquia fluvial segunda ordem) de drenagem soma 4,4 km (Dd 3,94 km/km), enquanto que a extensão das estradas e caminhos é de 4,17 km. O clima de Guarapuava possui característica subtropical úmido sem estação seca (Cfb) (Köppen, 1948).

A rocha predominante é o basalto (categoria genérica de rocha ígnea efusiva). Em relação à cobertura pedológica, predomina a associação de solos Litólicos Álicos (Neossolos Litólicos) e Cambissolos Álico, ambos com textura argilosa, fase pedregosa, sob domínio da floresta subtropical subperenifólia. O teor de argila dos solos varia de 35% a mais de 70% dependendo do grau de desenvolvimento do solo (Thomaz, 2005). Melfi e Pedro (1977, 1978) destacam que os processos pedogeoquímicos apresentam alteração incompleta dos minerais nos Cambissolos, enquanto que nos Litossolos (Neossolo), a alteração é inexistente ou insignificante. A caulinita é o argilomineral predominante nos solos da área de estudo.

O relevo dessa unidade é predominantemente forte ondulado a montanhoso (Mendes & Castro, 1984). Em torno de 75,6% da cabeceira de drenagem possui declividade entre 12% a superior a 30%.

Na área de estudo o conjunto de vertentes em geral apresenta setores bem definidos (degraus) que marcam os níveis litológicos (estrato) das rochas eruptivas básicas (Figura 1.B). Essa estruturação cria descontinuidade na energia potencial e hidráulica no sistema vertente, por extensão, influencia no arranjo das formas, dos materiais e dos processos (Thomaz, 2008).

Em relação a essa estruturação, geomorfopedológica, as coletas foram realizadas em três setores distintos a partir do médio para o baixo curso do canal fluvial (Figura 1.B). Assim, no conjunto de amostras Am1 as vertentes são convexas com declividade predominante de 12 a 30% e subsidiariamente declividades entre 6 a 12%. Os solos são associações entre Cambissolo+Neossolo e Neossolo+Cambissolo, e em alguns setores ocorre afloramento de rocha.

No conjunto de amostras Am2 as vertentes também são convexas, porém a declividade predominante é menor, variando de 6 a 12%. Por fim, o conjunto de amostras Am3 foi coletado, em parte em setores com vertentes convexas pouco declivosas (igual ao Am2), e em parte em setor de terraço fluvial. Neste setor a declividade predominante é inferior a 6%, por sua vez, os solos predominantes são associações entre Cambissolo+Latossolo, além de Gleissolos.

Coleta e Preparo das Amostras

Após identificação das possíveis áreas fontes de sedimentos, foram realizadas as coletas de materiais (estratificação). As amostras foram coletadas pontualmente de médio para baixo curso (Figura 1). Coletaram-se três amostras da seguinte forma: três amostras em barranco de estrada (BRe) nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm; três amostras no leito das estradas (ES); três amostras no barranco do rio (BRr), três amostras de material depositado no canal fluvial (SEr) e três amostras superficiais (0 – 10 cm) em área controle com floresta (FL). Utilizou-se espátula para coleta do material e sacos plásticos para armazenamento.

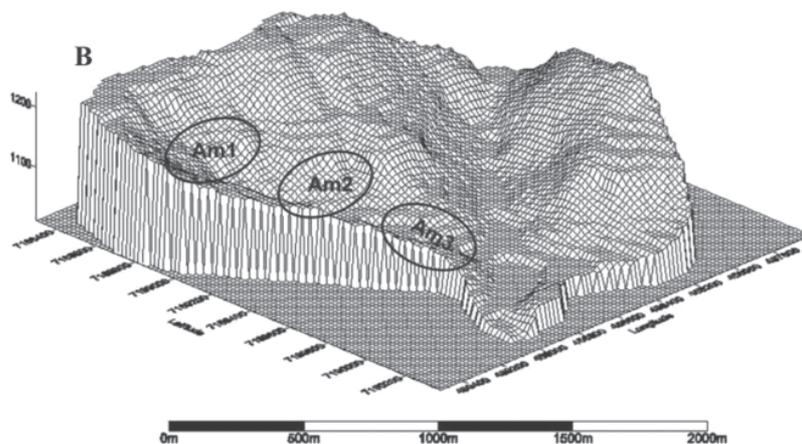
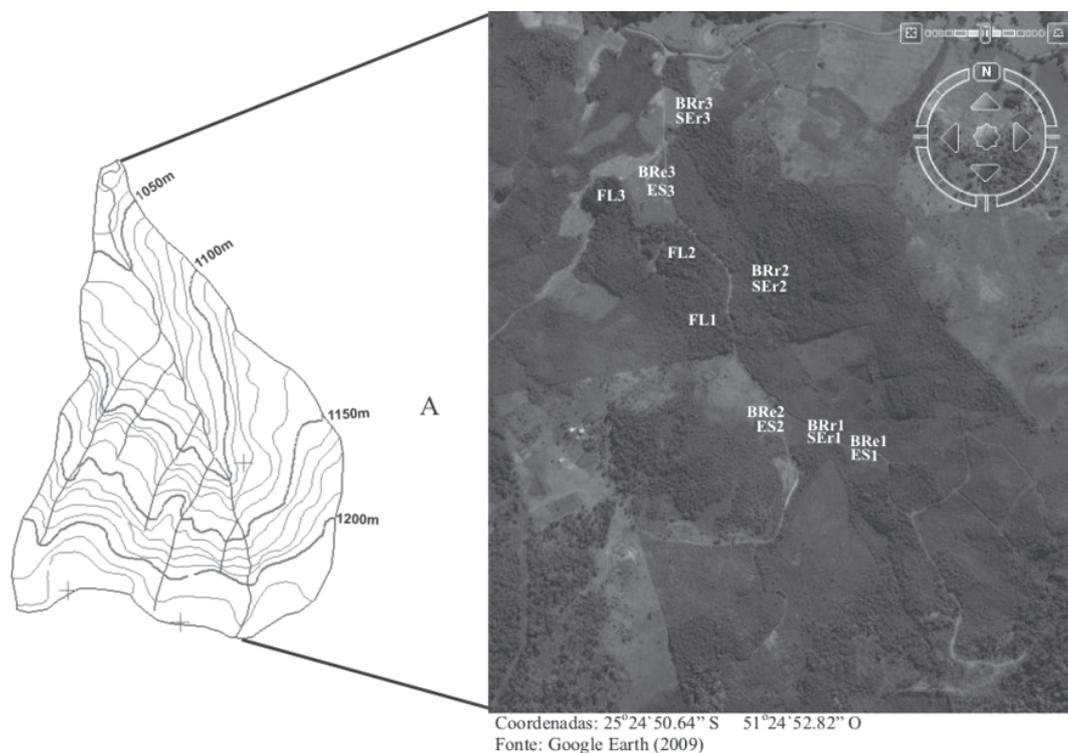


Figura 1 - Localização da área de estudo: a) distribuição planimétrica dos pontos de coleta de amostras de solo e sedimentos; b) Modelo Digital de Terreno indicando a distribuição das amostras de acordo com a posição topográfica. Sendo: amostragem 1 (Am1) - (BRe1, ES1, BRr1, SEr1, BRe2, ES2); amostragem 2 - (Am2) (FL1, FL2, BRr2, SEr2); amostragem 3 - (Am3) (FL3, ES3, BRe3, SEr3, BRr3).

Nota: As legendas estão descritas no texto.

Em laboratório as amostras de solo e sedimento foram secas em estufa a 50°C por 48h. Posteriormente, foram peneiradas manualmente por um minuto para obtenção de granulometria menor que 1 mm. Todas as amostras foram medidas na forma de pó (*in natura*). Foram pesadas 3,0g de amostra e colocadas em recipientes específicos para XRF. Os recipientes foram recobertos com filme de mylar de 2,5µm de espessura.

Metodologia de Análise e de Quantificação

Técnica de EDXRF

A fluorescência de raios X por dispersão em energia (EDXRF) com equipamentos convencionais de laboratório ou com equipamentos portáteis vem crescentemente sendo aplicada na estimativa da concentração de metais no meio ambiente, em diferentes tipos de amostras (solo, sedimento, água, ar, plantas, etc.), auxiliando em estudos geoquímicos, tanto de mapeamento de regiões contaminadas, como na identificação dos elementos tóxicos e suas concentrações. Do ponto de vista geoquímico, variações espaciais de enriquecimento de metais pesados em solos devem ser relacionadas a processos de dispersão natural, tais como: lixiviamento por percolação de água ou transporte mecânico, processos de dispersão antropogênicos, tais como mecanização agrícola (aração) ou a diluição de solos poluídos por outros materiais. Entretanto, quando se estuda regiões contaminadas, é importante entender as fontes de solos, que podem ser tanto naturais como antropogênicos.

Contudo, para verificação do transporte de elementos de um nível do solo para outro ou sua contribuição na formação de sedimentos esta metodologia pode ser considerada inovadora, visto que existem poucos trabalhos que tratam especificamente do tema.

O princípio básico da EDXRF é medir diretamente em um detector a energia dos raios X característicos emitidos pelos componentes da amostra, depois de excitados por uma radiação incidente (raios X ou raios gama).

Por se tratar de uma análise exploratória (preliminar) os elementos químicos não foram escolhidos *a priori*, ou seja, trabalhou-se com todos os elementos presentes nas amostras dentro do limite de detecção do equipamento.

Instrumentação

O sistema de medidas é composto por um detector de raios X tipo Si-PIN (FWHM de 221 eV para a linha de 5,9 keV) com janela de Be de 25 mm acoplado a um pré-amplificador e resfriados termoeletricamente, fonte de alta tensão com amplificador, analisador multicanal e um notebook para aquisição e armazenamento dos dados. A excitação das amostras foi feita com um mini tubo de raios X com alvo de prata

e 4W de potência (10-40kV, 0-100mA). As condições de medidas foram: 28kV, 10mA, filtro Ag de 50mm no tubo de raios X; colimador Ag de 2mm de diâmetro no detector; tempo de excitação-deteção de 500s.

Quantificação

Todos os espectros obtidos foram analisados utilizando o software WINQXAS, que fornece a área dos picos dos elementos identificados na amostra. A comparação entre as áreas líquidas fornece resultados das intensidades relativas dos elementos nas diferentes amostras.

Para quantificação dos elementos, foram medidos 6 materiais de referência certificados de solo e argila (IAEA-375, IAEA-SL2, IPT42, IPT51, IPT57 e IPT63) para construção de curvas de calibração. As amostras foram medidas na forma de pó (*in natura*), ou seja, sem nenhum tipo de preparação. Para validação das curvas foi medido o padrão de argila PTXRF-IAEA/04.

Resultados

Os resultados da análise por EDXRF para todos os pontos amostrados estão na Quadro 1. Devido aos padrões disponíveis para calibração do equipamento foi possível calcular a concentração de Ti, Mn, Fe e Zr. Os demais elementos Cu, Zn e Y, foram identificados acima do limite de detecção do sistema, contudo são apresentados seus valores de intensidade de pico, em contagens por segundo (cps).

Observa-se que o Fe e o Ti são os mais abundantes, em conformidade com o tipo de solo (Cambissolo) derivado de rochas basálticas (Mineropar, 2005).

Os valores médios de Ti foram mais altos para o material do BRr (barranco do rio). O material da ES (estrada) e o SEr (sedimento rio) foram equivalentes. Por outro lado, o BRe (barranco estrada) e FL (floresta controle) tiveram a mesma concentração.

O Fe foi mais abundante nos materiais proveniente das estradas. Enquanto que nos demais pontos a presença desse mineral foi praticamente igual. Os materiais BRr e FL tiveram um maior enriquecimento de Mn, já as outras amostras não apresentaram variação significativa. O Cu e o Zn apresentam pequenas intensidades com variações aleatórias e serão alvo de estudos posteriores. Em termos de concentração os materiais das estradas (BRe e ES) registraram maior enriquecimento, sendo que em ambos os locais as concentrações foram idênticas. Nas demais amostras ocorreu decréscimo na concentração de Cu, sobretudo, no BRr. O Zn apresentou comportamento mais complexo que o elemento anterior, pois registrou maior concentração apenas no material BRe. O Zr se apresenta nas amostras em nível de traço, da ordem de dezenas de partes por milhão, e próximo do limite de detecção

do sistema de medidas, o desvio padrão em sua concentração foi muito grande. Por isso, não permitiu distinção segura entre as amostras.

O ítrio (Y) apresentou um comportamento importante frente aos propósitos do estudo. A concentração de Y foi muito superior no material de margens (BRr) em comparação às outras amostras. Inclusive, a média registrada no BRr apresentou diferença estatística em relação as demais amostras ($p=0,03$ – teste t).

A partir da média de todos os elementos químicos verificou-se uma proximidade entre os pontos amostrais (Figura 2). Entretanto, a similaridade do material proveniente do barranco do rio (BRr) esteve mais distante dos demais ambientes. Por outro, lado a similaridade dos materiais proveniente das estradas (BRE e ES) estiveram próximos como indicado nas análises anteriores. Enquanto, os materiais provenientes dos sedimentos depositados no canal fluvial (SEr) e floresta agruparam-se no mesmo nível de similaridade.

Quadro 1 - Resultados da análise por EDXRF para os pontos amostrados. Desvios com 95% de confiabilidade.

Amostra Elemento (unidade)	Barranco Estrada1 (n=6)	Estrada1 (n=3)	Barranco Rio1 (n=3)	Sedimento Rio1 (n=3)	Floresta1 (n=3)
Ti(%)	3,21±0,04	2,89±0,26	3,24±0,15	2,77±0,32	3,16±0,18
Mn(%)	0,13±0,01	0,11±0,01	0,11±0,01	0,16±0,02	0,14±0,01
Fe(%)	12,6±0,2	13,4±1,1	9,4±0,6	12,9±2,1	8,9±0,7
Cu (cps)	4,47±0,30	4,58±0,63	2,51±0,94	3,52±0,53	2,16±1,11
Zn(cps)	2,95±0,07	2,43±0,38	2,36±0,68	2,64±0,40	4,06±0,92
Y(cps)	2,42±0,14	2,45±0,26	3,98±0,64	3,09±1,02	4,65±1,83
Zr(mg kg ⁻¹)	53±34	57±32	157±134	78±49	248±182
Amostra Elemento (unidade)	Barranco Estrada2 (n=6)	Estrada2 (n=3)	Barranco Rio2 (n=3)	Sedimento Rio2 (n=3)	Floresta2 (n=3)
Ti(%)	3,16±0,10	3,05±0,09	3,19±0,08	2,90±0,10	2,90±0,16
Mn(%)	0,12±0,01	0,13±0,01	0,14±0,01	0,14±0,01	0,13±0,01
Fe(%)	13,7±0,2	13,9±0,1	17,0±0,8	12,4±0,8	13,1±0,6
Cu (cps)	4,56±0,16	4,45±1,63	3,23±0,41	3,09±0,80	3,58±0,41
Zn(cps)	2,08±0,08	2,08±2,09	1,73±0,35	2,91±0,40	1,98±0,49
Y(cps)	2,15±0,05	3,13±1,67	6,40±1,72	4,03±0,57	3,51±0,42
Zr(mg kg ⁻¹)	37±2	115±110	206±113	185±36	113±78
Amostra Elemento (unidade)	Barranco Estrada3 (n=6)	Estrada3 (n=3)	Barranco Rio3 (n=3)	Sedimento Rio3 (n=3)	Floresta3 (n=3)
Ti(%)	2,64±0,10	2,75±0,11	2,74±0,20	2,83±0,22	2,85±0,28
Mn(%)	0,11±0,01	0,13±0,00	0,12±0,02	0,15±0,01	0,15±0,02
Fe(%)	14,9± 0,3	14,5±0,6	11,8±1,0	13,9±0,9	14,2±1,0
Cu (cps)	6,20±0,34	5,89± 1,00	1,61±1,37	2,64±1,96	4,23±1,93
Zn(cps)	1,66± 0,07	2,08±0,99	2,82±0,93	2,90±0,32	1,54±0,75
Y(cps)	4,94±0,47	5,48±1,15	6,62±2,18	3,93±0,92	2,48±0,40
Zr(mg kg ⁻¹)	138±8	126±34	191±115	142±40	56±45

Os resultados apresentados são corroborados por alguns princípios assumidos no uso de traçadores. De acordo com Foster & Lees (2003, p. 6) os traçadores: a) podem distinguir pelo menos duas fontes de sedimentos em uma bacia; b) o transporte seletivo não muda as propriedades do elemento traço; c) uma vez depositado os elementos traços não sofrem transformações (ex. enriquecimento, empobrecimento ou diluição) no novo local.

Apesar disso, Collins & Walling (2002) destacam que existem incertezas no uso dos traçadores e as análises baseadas em apenas uma propriedade podem levar a resultados errôneos.

Os elementos quando analisados individualmente ou pareados não permitiram uma clara distinção dos ambientes à exceção do ítrio (Y) que indicou características distintas entre o material do BRr em relação aos de-

mais ambientes. O comportamento deste elemento químico no perfil do solo deverá ser analisado em detalhe futuramente.

Posteriormente, com a análise de agrupamento a discriminação dos locais foi mais evidente, uma vez que todas as características dos materiais foram reunidas. Relacionando os resultados com a proposição inicial, constata-se que o

sedimento depositado recentemente no canal fluvial apresenta maior similaridade com os materiais do barranco das estradas (BRr) e leito das estradas (ES) do que com o barranco do rio (BRr). Considerando, que a área controle (Floresta) não possui erosão significativa (Thomaz, 2005), resta como principais fontes possíveis de sedimento na cabeceira de drenagem as estradas rurais não pavimentadas (barranco e leito).

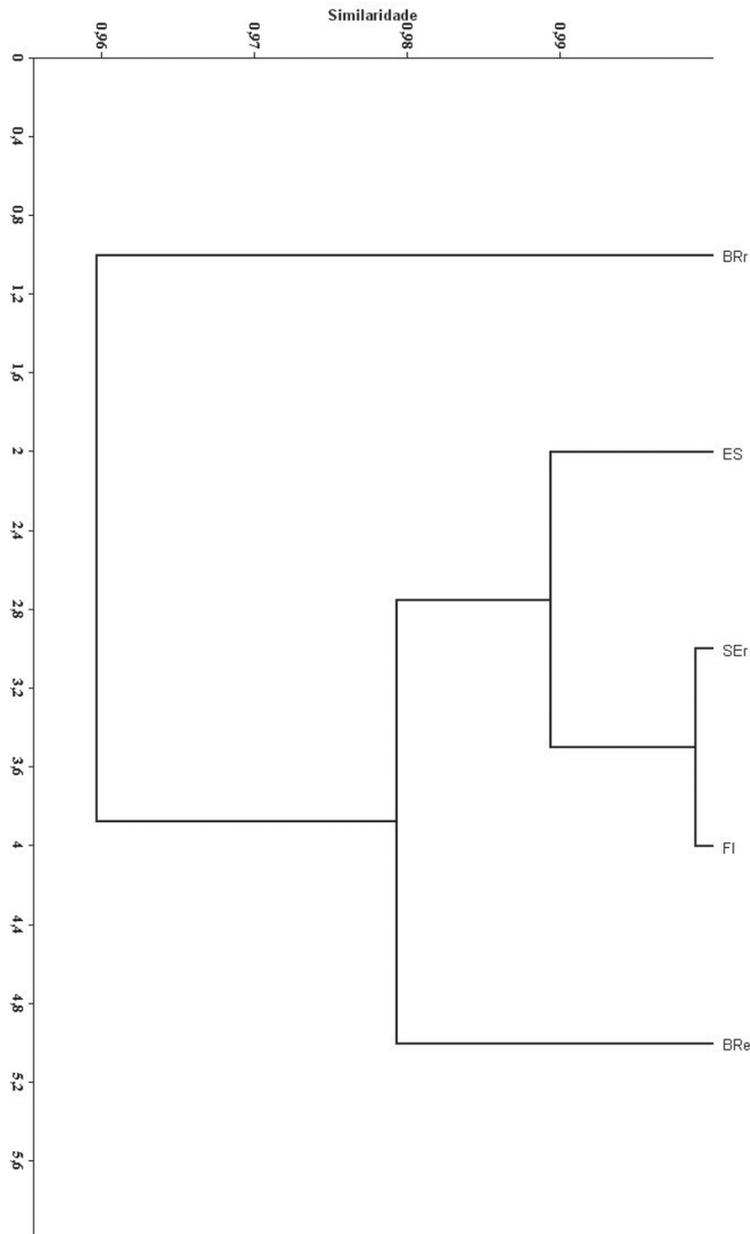


Figura 2 - Correlação entre áreas fontes de sedimento de acordo com a presença de elementos traços (Fe, Ti, Mn, Zr, Cu, Zn, Y)

Nota: Coeficiente de correlação cofenética 0,7254. **Discussão e conclusão**

O modelo conceitual de traçadores utilizado no presente estudo buscou reconhecer tipos de fontes de sedimentos em uma cabeceira de drenagem (ex. uso da terra, estrada e barranco de rio). Essa perspectiva é fundamental aos propósitos da Geomorfologia, pois integra o processo de transferência de sedimento através do sistema de drenagem tanto em vertente como em canal fluvial.

A técnica de EDXRF mostrou-se eficiente na detecção da composição química presente nos sedimentos. Contudo, em estudos futuros um protocolo de coleta de sedimento em campo será elaborado com maior detalhe para facilitar as interpretações das possíveis áreas fontes. Assim, devem-se aprofundar as estratificações amostrais aliadas as coletas em transectos (transversais e longitudinais) de forma a representar o máximo possível à continuidade da área fonte de sedimento.

Agradecimentos

Ao Laboratório de Física Nuclear Aplicada da UEL, na pessoa de seu coordenador, Prof. Dr. Carlos Roberto Appoloni, pela utilização do sistema de EDXRF.

Referências bibliográficas

- Andrello, A. C.; Appoloni, C. R. & Guimarães, M. F. (2003) Uso do Césio-137 para avaliar taxas de erosão em cultura de soja, café e pastagem. **R. Bras. Ci. Solo**, 27: 223-229.
- Collins, A. L.; Walling, D. E. & Leeks, G. J. L. (1997) Sediment sources in the Upper Severn catchment: a fingerprinting approach. **Hydrology and Earth System Sciences**, 1 (3): 509-521.
- Collins, A. L. & Walling, D. E. (2002) Selecting fingerprint properties for discriminating potential suspend sediment sources in river basins. **Journal of Hydrology**, 261: 218-244.
- Collins, A. L. & Walling, D. E. (2004) Documenting catchment suspend sediment sources: problems, approaches and prospects. **Progress in Physical Geography**, 28 (2): 159-196.
- Edwards, L.; Burney, J.; Brimacombe, M. & MacRae, A. (2000) Nitrogen runoff in a potato-dominated watershed area of Prince Edward Island, Canada. In: Stone, M. (Editor). The role of erosion and sediment transport in nutrient and contaminant transfer. **IAHS Publication**, 263: 93-97.
- Foster, I. D. & Lees, J. A. (2003) Tracers in geomorphology: theory and applications in tracing fine particulate sediments. In: Foster, I. D. (Editor) *Tracers in geomorphology*. Wiley, Baffins Lane, Chichester, 3-20.
- Knighton, D. (1998) **Fluvial forms and processes: a new perspective**. London: Arnold, 382p.
- Köppen, W. (1948) **Climatología: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Económica. México.
- Lana, C. E. & Castro, P. T. A. (2008) Análise sedimentológica e de proveniência e sedimentos fluviais nas cabeceiras do rio das Velhas, município de Ouro Preto, MG. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 61 (1): 63-68.
- Melfi, J. A. & Pedro, G. (1977) Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1 – Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, 7: 271 – 286.
- Melfi, J. A. & Pedro, G. (1978) Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 2 – Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, 8: 11 – 22.
- Mendes, W. & Castro, A. F. (1984) **Limitações do uso dos solos do Estado do Paraná por suscetibilidade à erosão**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS. 34p.
- Minerpar. Minerais do Paraná S. A. **Geoquímica de solo – Horizonte B: relatório final de projeto**. Curitiba: Minerpar, 2005, 408p.
- Oostwoud Wijdenes, D. J.; Poesen, J.; Vandekerckhove, L. & Kosmas, C. The use of marked rock fragments as tracers to assess rock fragments transported by sheep trampling on Lesvos, Greece. et al., 2003. In: Foster, I. D. (Editor) **Tracers in geomorphology**. Wiley, Baffins Lane, Chichester, 201-220.
- Stone & Haight, (2000) Distribution of dioxins and furans in size-fractionated suspend solids in Canagagigue Creek, Elmira, Ontario. (2000) In: Stone, M. (Editor). The role of erosion and sediment transport in nutrient and contaminant transfer. **IAHS Publication**, 263: 159-166.
- Thomaz, E. L. (2005) **Processos hidrogeomorfológicos e o uso da terra em ambiente subtropical – Guarapuava – PR**. São Paulo, 2005, 297 f. Tese (Doutorado em Ciência, área Geografia Física) –

Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas,
Universidade de São Paulo.

Thomaz, E. L.; Antoneli, V. & Dias, W. A. (2008) Estimativa de proveniência de sedimento em cabeceira de drenagem com alta densidade de estradas rurais

não pavimentadas. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos** (submetido).

Thomaz, E. L. (2008) Aspectos geomorfopedológicos de uma vertente em área de basalto no município de Guarapuava - PR. **Mercator**, 14: 69-87.