



Seqüência de Soleiras e Depressões no Córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon, Região Oeste do Paraná.

Oscar V. Q. Fernandez¹, Carlos Sander² e Gilson E. Rebelatto³

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste) - Colegiado de Geografia

² Mestrando no Departamento de Geografia - Universidade Estadual de Maringá - PR

³ Colégio Estadual Antonio Cristino Cortes Barra do Garça MT

e-mail: oscar@oel.com.br

Recebido 19 de novembro 2001; revisado 10 de setembro 2002; aceito 17 de setembro 2002

RESUMO

O trabalho descreve as características físicas e granulométricas de uma seqüência de soleiras e depressões identificadas no córrego Guavirá, município de Marechal Cândido Rondon, oeste do Estado do Paraná. As soleiras constituem porções elevadas do leito compostas por sedimentos grosseiros e as depressões superfícies rebaixadas capeadas por sedimentos mais finos. O trecho estudado possui 105 m e compreende um segmento retilíneo e sinuoso do córrego. O estudo consistiu no mapeamento do traçado das margens do canal fluvial e na obtenção da cota do leito e da lâmina d'água nas soleiras e depressões, mediante método de nivelamento taqueométrico. O levantamento foi realizado em dezembro de 1999, num período de estiagem. As observações mostraram a influencia do substrato e do gradiente do leito sobre a distribuição das soleiras e depressões e a variação das características granulométricas dos sedimentos de fundo. No segmento superior do trecho em estudo, onde o canal é retilíneo e o gradiente do leito mais acentuado, a separação média entre as feições é de 20 m e o material de fundo é representado por grânulos. No trecho inferior, sinuoso e com gradiente do leito menos acentuado, o espaçamento entre as soleiras e depressões diminui para 9 m e o material de fundo é composto por sedimentos tamanho areia grossa.

Palavras chave: Morfologia fluvial, Sedimentologia; Soleira e depressão.

ABSTRACT

The work describes the physical and sedimentological characteristics of a sequence of riffles and pools identified in the stream Guavirá, Marechal Cândido Rondon, west of the State of Paraná, Brazil. The riffles constitute high portions of the bed composed by coarse sediments and the pools lowered surfaces hidden by finer sediments. The studied was made along 105 m with straight and meandering segments. In December 1999 during a drought period, a survey of the planimetric and longitudinal form of the study reach was completed using standard level, leveling pole and compass. The observations show influences of the substratum and the bed gradient about the distribution of riffles and pools and sedimentological characteristic of the bottom sediments. In the upper segment of the study in study, where the channel is straight the gradient of the bed more accentuated, the medium separation among the features is of 20 m and the bottom sediment is represented by granules. In the low reach, sinuous and with gradient of the bed less accentuated, the spacing between the riffles and pools decreases to 9 m and the bottom material is composed by coarse sand.

Keywords: Fluvial morphology; Sedimentology; Riffle and pool.

1. Introdução

O objetivo deste trabalho é descrever as soleiras e depressões identificadas e mapeadas num percurso de 105 m no curso superior do córrego Guavirá, município de Marechal Cândido Rondon, região oeste do Paraná (Figura 1). As características granulométricas dos sedimentos de fundo presentes nestas feições também são objetos de estudo.

Raramente os cursos fluviais seguem uma trajetória reta. A sinuosidade dos canais ocorre tanto numa perspectiva horizontal como vertical. A sinuo-

sidade do canal, no plano horizontal, é denominada meandro. A erosão lateral causada pelo meandramento ocasiona perdas de terras férteis e ben-feitorias. As ondulações do leito, no plano vertical, formam áreas rasas e profundas denominadas so-leiras (*riffles*) e depressões (*pools*), respectivamente (Figura 2). A evolução destas feições causa menos problemas que o meandramento, entretanto, podem causar algumas dificuldades para a navegação (Yang, 1971).

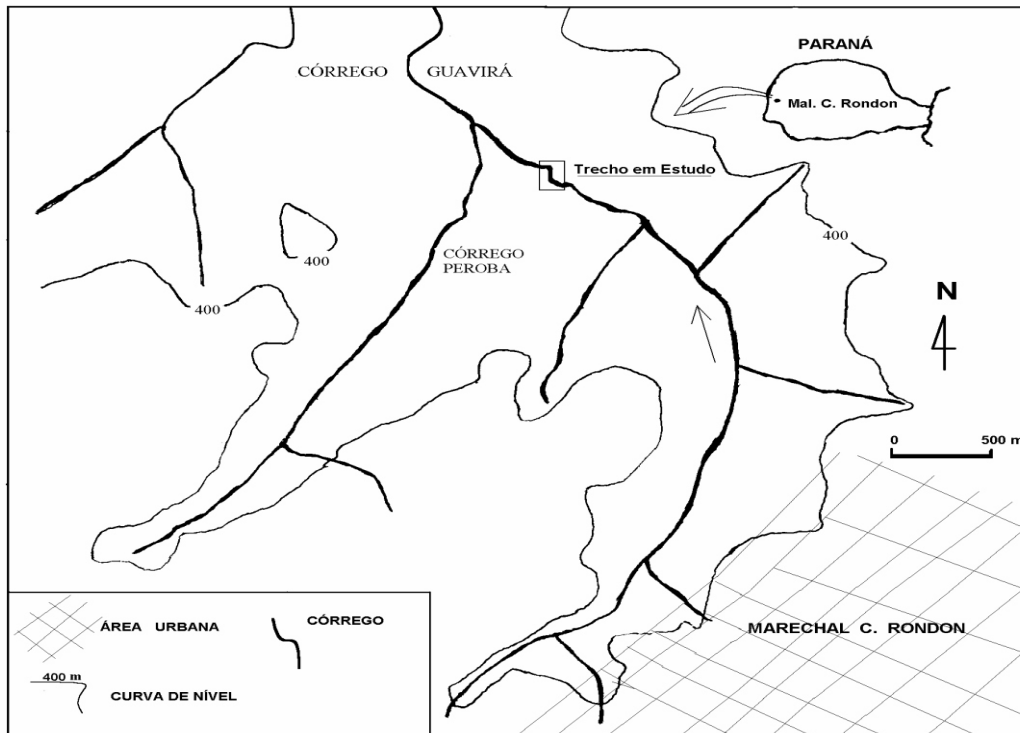


Figura 1. Localização do trecho em estudo, no córrego Guavirá, região Oeste do Paraná.

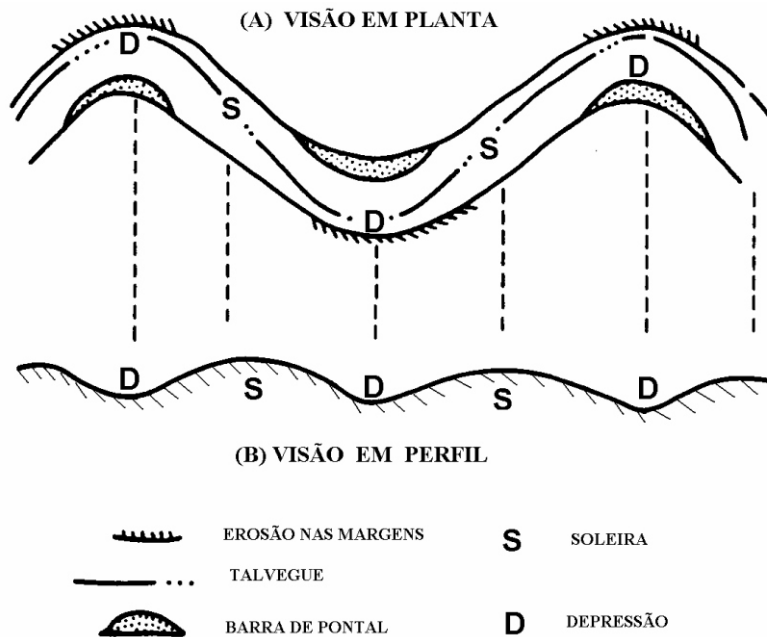


Figura 2. Diagrama idealizado mostrando o meandramento do canal fluvial numa perspectiva planimétrica (A) e ao longo do perfil longitudinal (B) (modificada de Keller & Melhorn, 1978).

Soleiras e Depressões Definição e Origem

Soleiras e depressões são formas topográficas do leito que se alternam em cursos fluviais caracterizados por gradiente do talvegue inferior a 0,05 e

sedimentos de fundo compostos por materiais grosseiros ($D_{50} > 3 \text{ mm}$). As soleiras são trechos do talvegue topograficamente elevados, com fluxo convergente, material de fundo formado por sedimentos grosseiros e gradiente da lâmina d'água superior ao

gradiente médio do trecho. Por sua vez, as depressões são trechos rebaixados do leito, com fluxo divergente, material do leito formado por sedimentos mais finos e gradiente da lâmina d'água inferior a média do trecho. Estas condições conferem às soleiras maior velocidade do fluxo do que nas depressões.

A origem destas feições está intimamente ligada aos processos erosivos e deposicionais associados ao meandramento (erosão e acresção das margens e do leito, evolução de barras centrais e laterais). Via de regra, as depressões estão localizadas nas proximidades das curvas e as soleiras nos pontos de inflexão dos meandros (Figura 2).

Para explicar a formação das soleiras e depressões, Keller (1971) formulou a hipótese da reversão da velocidade do fluxo (*hypothesis of velocity reversal*). Este fenômeno consiste na variação da velocidade do fluxo nas soleiras e depressões conforme aumenta o nível d'água. Nas baixas descargas a velocidade do fluxo próximo ao leito é maior nas soleiras do que nas depressões. Por essa razão, os sedimentos finos são removidos das soleiras e depositados nas depressões, dando como resultado uma seleção gradual dos sedimentos de fundo: as soleiras são capeadas por sedimentos grosseiros e as depressões por sedimentos finos. Conforme aumenta o nível d'água, também aumenta a velocidade do fluxo, caracterizando uma correlação direta entre ambas as variáveis (Leopold & Maddock, 1953). Keller (1971) verificou que com o incremento da vazão, a taxa de aumento da velocidade é maior nas depressões do que nas soleiras. Próximo do nível de vazão plena, a velocidade do fluxo nas depressões ultrapassa a velocidade nas soleiras. A este fenômeno, Keller (1971) denominou reversão da velocidade. Teleki (1972) criticou esta denominação, afirmando que a reversão da velocidade implica mudança de sentido do fluxo. No entanto, o termo continua em uso. Acima do nível de vazão plena, a maior velocidade do fluxo nas depressões enseja maior taxa de remoção do material do leito nestes locais do que nas soleiras, causando o aprofundamento do canal nas depressões. Com a descida do nível d'água abaixo do nível de vazão plena, a velocidade do fluxo nas soleiras e depressões é novamente invertida. Em consequência, as baixas descargas favorecem a retenção de sedimentos grosseiros e remoção de sedimentos finos nas soleiras e deposição de sedimentos finos nas depressões.

O fenômeno da reversão é aceito por uns cientistas e rejeitado por outros. Clifford & Richards (1992) analisaram 12 trabalhos e constataram que em seis, os autores aceitam a reversão de uma ou mais características hidráulicas do fluxo tais como velocidade média, força de tração do fluxo ou potência do rio (Keller, 1971; Andrews, 1979; Lisle, 1979; Teisseyre, 1984; Ashworth, 1987; Petit, 1987; O'Connor et al., 1996;); três autores aceitam que a reversão hidráulica pode ser considerada como um ponto de partida para posteriores investigações (Ri-

chards, 1976; Jackson & Beschta, 1981; Carling, 1991) e os demais rejeitam categoricamente qualquer tipo de reversão (Teleki, 1972; Bathurst, 1982; Bhowmik & Demissie, 1982). Posteriormente, outros autores (Sear, 1996 e Thompson et al., 1999), também constataram a ocorrência de reversão hidráulica.

Para padronizar a identificação de soleiras e depressões, vários autores propuseram critérios específicos tais como o número de Froude (Wolman, 1955), a granulometria do material do fundo (Leopold et al., 1964; Mosley, 1982), o gradiente da lâmina d'água (Yang, 1971) e a oscilação topográfica do leito (Richards, 1976; O'Neil & Abrahams, 1984). Via de regra, o critério baseado na variação da topografia do leito é o mais aceito em detrimento dos critérios hidráulicos e sedimentológicos.

Importância do Estudo das Soleiras e Depressões

Projetos de recuperação física e ecológica de canais fluviais degradados executados nas últimas décadas nos países desenvolvidos, mostraram a necessidade da coleta de informações básicas sobre a dinâmica do fluxo e a transferência de sedimentos ao longo dos cursos fluviais. Esta situação exige o pleno conhecimento da dinâmica das correntes e sedimentos nas soleiras e depressões (Brookes, 1990, 1992; Newbury, 1995). Os biólogos utilizam estas feições como unidade básica no estudo da ecologia de rios e córregos (Lium, 1974; Statzner, 1981; Scullion et al., 1982; Logan & Brooker, 1983; Pridmore & Roper, 1985; Brown & Brussock, 1991).

O conhecimento da estrutura e funcionamento das soleiras e depressões é valioso na aplicação de protocolos de avaliação rápida da qualidade de habitats lóticos (Plafkin et al., 1989; Hannaford et al., 1997; Callisto et al., 2001). Os protocolos consistem na descrição geral da qualidade de um habitat físico através da avaliação quantitativa de atributos dos habitats que são pontuados, com base em observações visuais. Callisto et al. (2001) propuseram um protocolo simplificado de avaliação de habitats baseado na proposta de Hannaford et al. (1997) adotando onze parâmetros de habitats: tipo de fundos, largura das depressões, frequência das depressões, tipo de substrato, deposição de lama, depósitos sedimentares, alterações no canal, caracterização do fluxo, presença de vegetação ripária, estabilidade das margens e extensão da vegetação ripária. Cada parâmetro recebe uma pontuação que varia de ótimo (3 pontos), sub-ótimo (2 pontos), mediano (1 ponto) e pobre (0 ponto). Quando a pontuação total supera 20 pontos, o habitat avaliado é considerado como bem preservado.

2. Área de estudo

Desde a nascente até o local de estudo, a extensão do córrego Guavirá é de 5 km e a área drenada é de 11,05 km². Aproximadamente a metade

desta área é ocupada pela sede urbana de Marechal Cândido Rondon (margem direita) e a outra metade (margem esquerda) por terras utilizadas na agricultura. No trecho superior do córrego Guavirá predomina o padrão meândrico irregular e as cotas altimétricas variam de 420 m na cabeceira a 314 m no trecho em estudo. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, subtropical, úmido, mesotérmico, com precipitação média anual de 1.600 a 1.700 mm (IAPAR, 1994).

Ao longo do percurso do córrego Guavirá ocorrem leitos rochosos, compostos por basalto (Formação Serra Geral) e leitos móveis constituídos por sedimentos não consolidados. No trecho em estudo predominam leitos móveis, alternando sedimentos de tamanho areia média a grossa nas depressões e de tamanho grânulo nas soleiras.

3. Metodologia

Objetivando o início de um estudo detalhado das características físicas e sedimentológicas de soleiras e depressões no trecho superior do córrego Guavirá, foi delimitado um segmento de aproximadamente 100 m, num trecho do córrego que já está sendo alvo de outras pesquisas em geomorfologia fluvial (Fernandez *et al.*, 2001).

No percurso escolhido foi instalado anteriormente um marco de concreto, que serve como nível referencial nos procedimentos de nivelamento. O marco foi inserido num ponto conspícuo da planície aluvial, para evitar ser afetada pelas atividades erosivas ou deposicionais do córrego. Posteriormente, foi calculada a cota do marco (314,964 m) a partir do RN (referência de nível) mais próximo. Também pode ser atribuída ao marco uma cota arbitrária (por exemplo, cota 100 m).

A seguir, é realizada uma inspeção visual da topografia do leito, marcando com estacas na superfície da margem, a localização dos pontos rasos (soleiras) e profundos (depressão) no talvegue. Tendo como base o marco referencial foi mapeado, mediante técnica de nivelamento taqueométrico (IBGE, 1983), os traçados das margens do córrego e obtidas a localização e a cota do leito e da lâmina d'água das soleiras e depressões identificadas visualmente. O levantamento teve início no extremo jusante do trecho selecionado.

Em cada soleira e depressão foram levantados perfis transversais da área molhada com auxílio de trena e régua graduada. Paralelamente, foram coletadas nestas feições amostras de sedimentos de fundo, analisadas posteriormente, mediante técnicas convencionais de peneiramento.

4. Resultados e discussões

Durante o levantamento topográfico realizado em 7 de dezembro de 1999, o córrego Guavirá apresentou vazão mínima devido a forte estiagem que afetou a região sul do Brasil. Portanto, as feições morfológicas do leito e as características granulométricas dos sedimentos de fundo descritas neste trabalho refletem a ação morfológica das descargas de base.

Com as informações obtidas no levantamento topográfico foram definidos os traçados das margens do córrego (Figura 3A) e os perfis longitudinais do talvegue e da lâmina d'água (Figura 3B).

A identificação das soleiras e depressões foi realizada através da técnica de regressão linear pro-posta por Richards (1976). A técnica se baseia na ondulação a topografia do leito para definir os ambientes de soleira e depressão e consiste em determinar uma função linear que relaciona as cotas do leito ao longo de uma seção longitudinal e a localização dos pontos cotados. Neste trabalho, a reta é representada por:

$$Y = 314,31 + 0,0027 X$$

(1)

onde Y é a cota do leito (m) e X a distância (m) a partir do ponto inicial de levantamento (jusante). Os pontos localizados abaixo da reta de ajuste são considerados depressões. As porções do leito acima da reta, soleiras. Utilizando a equação (1), foram definidas no trecho em estudo seis soleiras e cinco depressões. As soleiras (S) e depressões (D) identificadas foram numeradas de jusante para montante (Figura 3A e B).

O gradiente médio do leito no trecho em estudo foi de 0,0027 m/m (0,27%). Este valor corresponde ao coeficiente angular da equação (1).

O gradiente médio do leito no trecho em estudo foi de 0,0027 m/m (0,27%). Este valor corresponde ao coeficiente angular da equação (1).

O gradiente médio do leito no trecho em estudo foi de 0,0027 m/m (0,27%). Este valor corresponde ao coeficiente angular da equação (1).

Morfologia e Distribuição de Soleiras e Depressões

A morfologia e as condições hidráulicas nas soleiras e depressões são diferentes. A área molhada (A) é maior nas depressões do que nas soleiras. Num curto trecho, onde a vazão (Q) é invariável e para satisfazer $Q=V.A$, a velocidade do fluxo (V) é maior nas soleiras do que nas depressões. A figura 4 ilustra as áreas molhadas levantadas nas soleiras e depressões.

Dolan *et al.* (1978) concluíram que o tamanho e a distribuição espacial das soleiras e depressões são controlados basicamente pela natureza do substrato e pelas condições hidráulicas do fluxo. No trecho em estudo, foi observada a associação entre morfologia das feições e tipo de substrato. Na metade superior do trecho em estudo afloram concreções ferruginosas e formam soleiras e depressões bem desenvolvidas e estáveis. A estabilidade facilita a evolução de feições com expressivas diferenças altimétricas (soleiras S5, S6 e depressão D5, figura 3B). Durante cada enchente, o fluxo provoca erosão do leito nas depressões, aumentando suas dimensões. Por outro lado, as feições localizadas na metade inferior são formadas por sedimentos arenosos móveis, gerando soleiras e depressões instáveis e com poucas variações altimétricas.

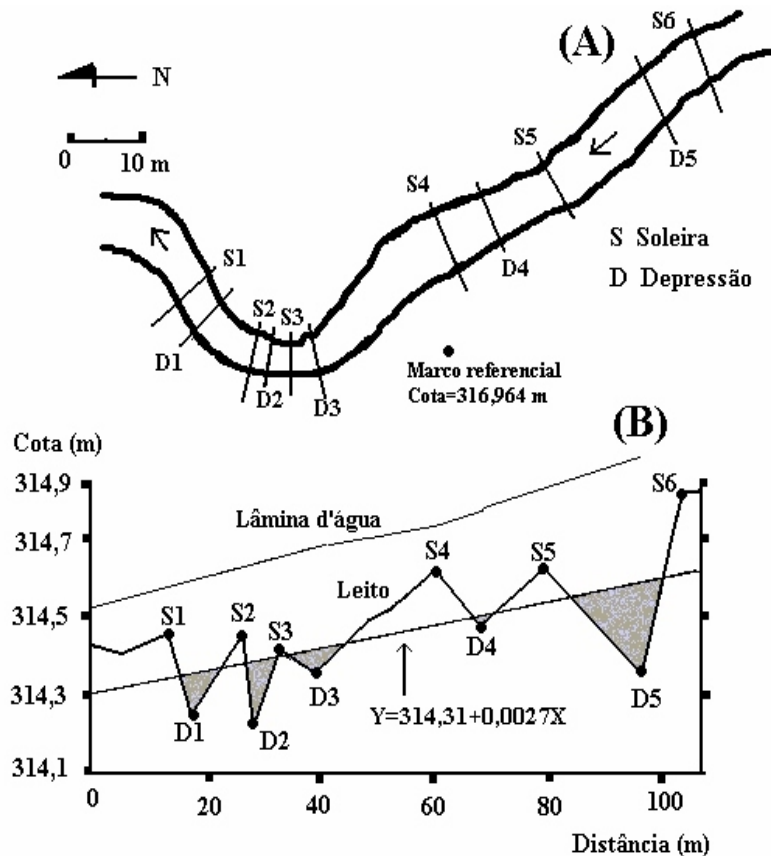


Figura 3. A) Traçado da linha das margens e localização das soleiras e depressões no córrego Guavirá. B) Perfil longitudinal do talvegue e da lâmina d'água.

Na metade superior do trecho, onde o canal é aproximadamente retilíneo, as soleiras e depressões distribuem-se numa distância média de 20 m e a diferença altimétrica entre as feições chega até 48 cm (D5-S6). Na metade inferior, caracterizada por uma inflexão pronunciada do canal, a distância média entre as soleiras e depressões é de 9 m e a diferença altimétrica máxima é de 25 cm (S2-D2).

Granulometria dos Sedimentos de Fundo

A granulometria do material de fundo foi utilizada por vários autores como critério para discriminação de soleiras e depressões. Leopold *et al.* (1964) distinguiram sedimentos oriundos de ambas as feições através da comparação do diâmetro médio. Yang (1971) e Cherkauer (1973) chegaram a associar fácies de seixo com soleiras e fácies areia ou grânulo com depressões. Richards (1976) e Milne (1982) enfatizam que a diferença entre parâmetros estatísticos granulométricos obtidos em amostras coletadas em ambas as feições não são estatisticamente significativas.

É interessante frisar que diferenças nos parâmetros estatísticos granulométricos dos sedimentos de fundo nas soleiras e depressões podem aumentar ou diminuir com a variação do regime hidrológico. A força de arraste do fluxo é maior nas soleiras nos pe-

ríodos de baixas descargas. Durante as cheias, a força de arraste é maior nas depressões. Portanto, a granulometria dos materiais de fundo depende da magnitude e duração das últimas enchentes e estiagens.

A tabela 1 mostra os valores do diâmetro médio e grau de seleção dos sedimentos coletados nas soleiras e depressões no trecho em estudo. Cabe ressaltar, que as amostragens de sedimentos de fundo aconteceu num período de estiagem. Em média, os sedimentos nas soleiras apresentam diâmetro médio equivalente a tamanho grânulo e nas depressões areia muito grossa. Os valores médios em ambos os casos apresentam um alto grau de dispersão (Coeficiente de variação > 50%), indicando uma pequena representatividade da média. Esta dispersão é mais expressiva nas depressões e pode indicar uma mistura variada de sedimentos rudáceos transportados apenas nos períodos de cheia e materiais mais finos movi-mentados em níveis de baixa descarga. Por outro lado, os valores médios do grau de seleção em ambas as feições mostram a predominância de sedimentos pobremente selecionados e com baixa dispersão da média (Coeficiente de variação < 50%). Os baixos índices de seleção decorrem da grande variabilidade do tamanho dos sedimentos em transporte e a ocorrência de descargas de magnitude variada.

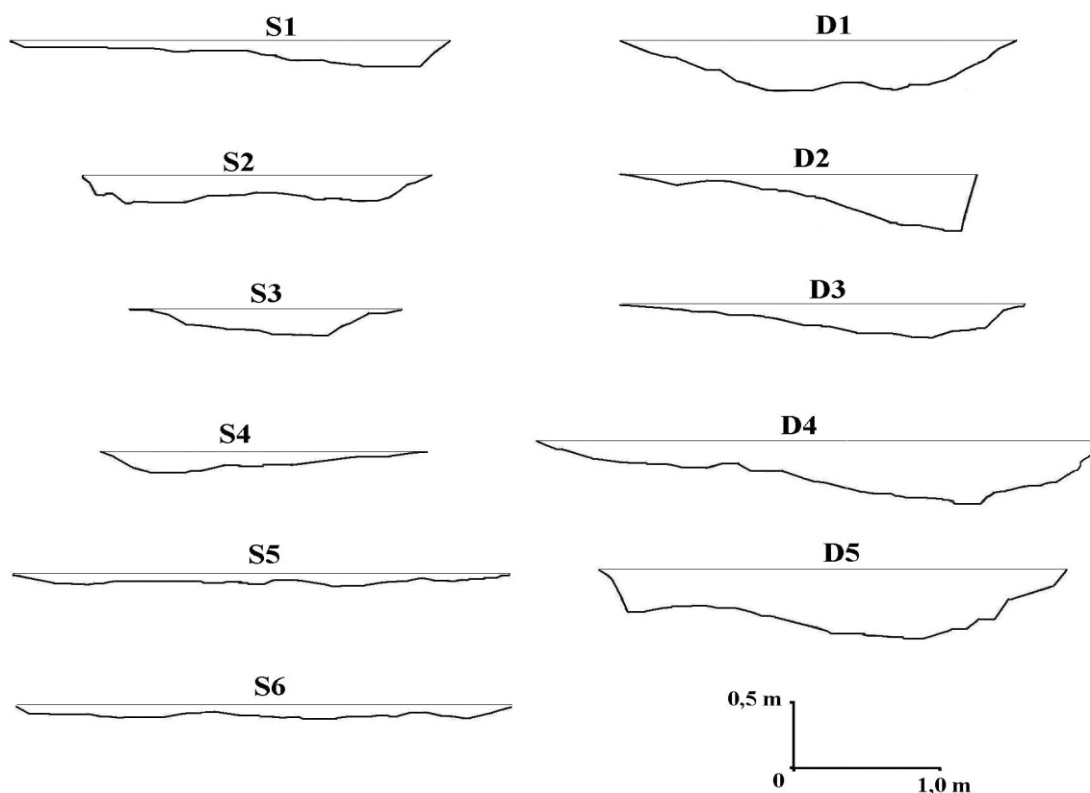


Figura 4. Área da seção molhada das soleiras e depressões identificadas no córrego Guavirá. Vide a localização dos perfis transversais na figura 3. Em todos os perfis a vista é para montante.

A figura 5 ilustra os valores dos percentis D_{50} e D_{84} correspondentes às amostras de sedimento de fundo. No segmento superior, à montante da depressão D3, o canal é retilíneo e a declividade do leito é de 0,0048. Nestas condições, o maior poder erosivo do fluxo durante as enchentes escavou uma profunda depressão (D5) e formou expressivas soleiras (S5 e S6) e ambas feições são capeadas por sedimentos extremamente grosseiros como grânulo e

seixo (Figura 5). No segmento inferior, a jusante da depressão D3, o canal é sinuoso e o gradiente do leito menor (0,0026). Neste ambiente, a baixa força de tração do fluxo nos períodos de seca permite a deposição temporária de sedimentos de menor cali-bre (areia grossa), que geram soleiras e depressões pouco desenvolvidas (Figuras 3 e

Tabela 1: Estatísticas do diâmetro médio e grau de seleção (escala phi) de amostras de sedimentos de fundo, coletadas em soleiras e depressões no córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon, PR.

SOLEIRA			
Parâmetros Estatísticos de Folk & Ward (1957)	Média Aritmética	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Diâmetro médio	-1,46 phi grânulo	1,33	91
Grau de seleção	1,95 phi pobrememente selecionado	0,45	23
DEPRESSÃO			
Diâmetro médio	-0,85 phi areia muito grossa	1,35	159
Grau de seleção	1,64 phi pobrememente selecionado	0,45	27

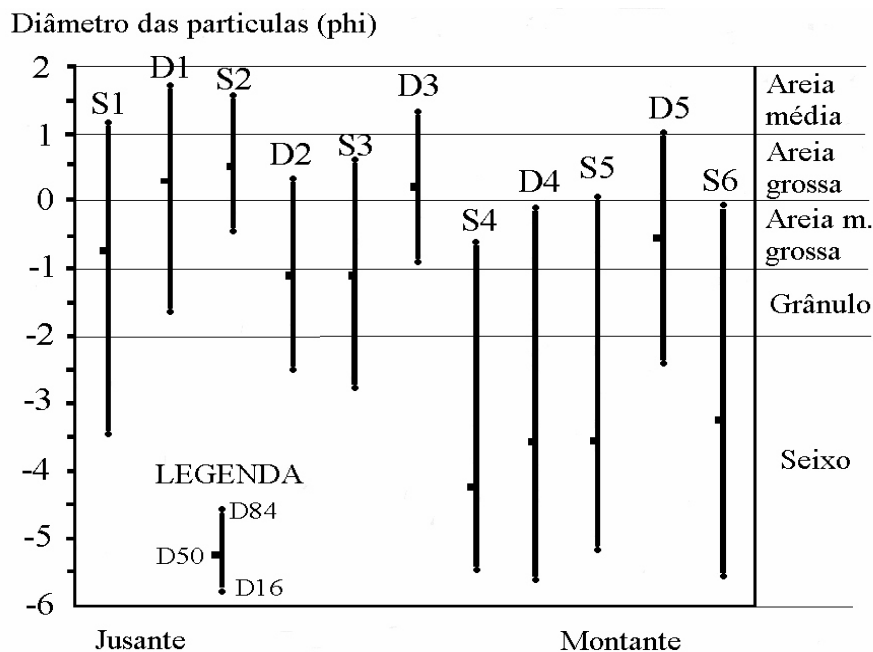


Figura 5. Valores dos percentis D16, D50 e D84 das amostras de material de fundo coletadas no leito do córrego Guavirá, Mal. C. Rondon (PR).

5).

4. Conclusões

O presente trabalho fornece as primeiras informações sobre as características morfológicas e sedimentológicas de uma seqüência de soleiras e depressões num curso fluvial brasileiro.

Foram identificadas seis soleiras e cinco depressões no córrego Guavirá, ao longo de um trecho 105 m, utilizando a técnica de regressão linear de Richards (1976). Foi observada que a distribuição e as dimensões das soleiras e depressões estão associadas com a geometria do canal e a declividade do leito. O espaçamento entre as feições é maior no trecho retilíneo (20 m) do que no segmento sinuoso (9 m). No córrego Guavirá, o traçado do canal depende do tipo de substrato. No trecho retilíneo afloram materiais resistentes à erosão (concreções ferruginosas) e no trecho sinuoso sedimentos arenosos móveis. Por sua vez o estudo granulométrico dos sedimentos de fundo mostrou que as soleiras estão constituídas por sedimentos mais grossos (-1,46 phi) e menos selecionado (1,95 phi) do que as depressões onde os sedimentos são mais finos (-0,85 phi) e melhor selecionado (1,64 phi). Este é o quadro sedimentar dos depósitos de fundo imperante nos períodos de estiagens.

Informações mais detalhadas sobre a seqüência de soleiras e depressões poderão desempenhar um importante papel na confecção ou modificação de protocolos de avaliação rápida da qualidade de habitats desenvolvidos por biólogos e ecólogos.

Bibliografia

- Andrews, E.D. 1979. Scour and fill in a stream channel: East Fork River, Western Wyoming. *United States Geological Survey Professional Paper*, 1117.
- Ashworth, P.J. 1987. Bedload transport and channel change in gravel-bed rivers. PhD Thesis, University of Stirling.
- Bathurst, J.C. 1982. Channel bars in gravel-bed rivers. Discussion. In: Hey, R.D.; Bathurst, J.C. & Thorne, C.R. (Eds.) *Gravel-bed Rivers*, Wiley, pp. 330-331.
- Bhowmik, N.G. & Demissie, M. 1982. Bed material sorting in pools and riffles. *Journal Hydraulic Engineering*, American Soc. Civil Engineering, 108: 1227-1231.
- Brown, A.V. & Brussock, P.P. 1991. Comparison of benthic invertebrates between riffles and pools. *Hydrobiologia* 220: 99-108.
- Brookes, A. 1990. Restoration and enhancement of engineered British river channels: some European experiences. *Reg. Rivers Research Management*, 5: 45-56.
- Brookes, A. 1992. Recovery and restoration of some engineered British river channels. In: Boon, P.J., Calow, P. & Petts, G.E. (Eds.) *River Conservation and Management*. Wiley, Chichester, pp. 337-352.
- Callisto, M; Moretti, M. & Goulart, M. 2001. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 6 (1): 71-82.
- Carling, P.A. 1991. An appraisal of the velocity-

- reversal hypothesis for stable pool-riffle sequences in the River Severn, England. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16: 19-31.
- Cherkauer, D.S. 1973. Minimization of power expenditure in a riffle-pool alluvial channel. *Water Resources Research*, 9: 1613-1628.
- Clifford, N.J & Richard, K.S. 1992. The reversal hypothesis and the maintenance of riffle-pool sequences. In: *Lowland Floodplain River*, Carling, P.A. & Petts, G.E. (Eds.), p. 43-70.
- Dolan, R.; Howard, A. & Trimble, D. 1978. Structural control of the rapids and pools of the Colorado river in the Grand Canyon. *Science*, 202: 629-631.
- Fernandez, O.V.Q.; Rebelatto, G. & Sander, C. 2001. Análise quantitativa de seções transversais em canais fluviais. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2: 85-92.
- Folk, R.L. & Ward, W.C. 1957. Brazos river bar: study in significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 2-26.
- Hannaford, M.J.; Barbour, M.T. & Resh, V.H. 1997. Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. *Journal North. American Benthol. Society* 16 (4): 853-860.
- IAPAR (Fundação Instituto Agronômico do Paraná) 1994. *Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná*, Curitiba (PR), 49p.
- Jackson, W.L. & Beschta, R.L. 1981. A model of two-phase bedload transport in an Oregon Coast range stream. *Earth Surface Processes and Landforms*, 7: 517-527.
- Keller, E.A. 1971. Areal sorting of bed load material: the hypothesis of velocity reversal. *Bulletin of the Geological Society of America*, 82: 753-756.
- Keller, E.A. & Melhorn, W.N. 1978. Rhythmic spacing and origin of pools and riffles. *Geological Society of America Bulletin*, 89: 723-730.
- Leopold, L.B. & Maddock, T.J. 1953. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, 252, 1-57.
- Leopold, L.B.; Wolman, M.G. & Miller, J.P. 1964. *Fluvial processes in Geomorphology*. San Francisco, Ed. Freeman, 522 p.
- Lisle, T. 1979. A sorting mechanism for a riffle-pool sequence: summary. *Bulletin Geological Society American*, 90: 616-617.
- Lium, B.W. 1974. Some aspects of aquatic insects populations of pools and riffles in gravel bed streams in western United States. *Journal of Research of the U. S. Geological Survey*, 2: 379-384.
- Logan, P. & Brooker, M.P. 1983. The macroinvertebrate faunas in riffles and pools. *Water Research* 17: 263-270.
- Milne, J.A. 1982. Bed-material size and the riffle-pool sequence. *Sedimentology*, 29: 267-278.
- Mosley, M.P. 1982. A procedure for characterising river channels. Water and Soil Miscellaneous Publication 32, Ministry of Works and Development, Wellington, 90 p.
- Newbury, R. 1995. Rivers and the art of stream restoration, Natural and Anthropogenic influences in Fluvial Geomorphology. *Geophysical Monograph*, vol. 89. American Union.
- O' Connor, J.E.; Webb, R.H. & Baker, V.R. 1986. Paleohydrology of pool and riffle pattern development: Boulder creek, Utah. *Geological Society Bulletin*, 97: 410-420.
- O'neill, M.P. & Abrahams, A.D. 1984. Objective identification of pools and riffles. *Water Resources Research*, 20: 921-926.,
- Petit, F. 1987. The relationship between shear stress and the shaping of the bed of a pebble-loaded river, La Rulles-Ardenne. *Catena*, 14: 453-468.
- Plafkin, J.L.; Barbour, M.T.; Porter, K.D.; Gross, S.K. & Hughes, R.M. 1989. Rapid bioassessment protocols for use in streams and rivers: benthonic macroinvertebrates and fish. EPA/440/4-89/001. Office of Water Regulations and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Pridmore, R.D. & Roper, D.S. 1985. Comparison of the macroinvertebrate faunas of runs and riffles in three New Zealand streams. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 19: 283-291.
- Richards, K.S. 1976. The morphology of riffle-pool sequences. *Earth Surface Processes*, 1: 71-88.
- Scullion, J.; Parish, C.A.; Morgan, N. & Edwards, R.W. 1982. Comparison of benthic macroinvertebrate fauna and substratum comparison in riffles and pools in the impounded River Elan and unregulated River Wye, Mid-Wales. *Freshwater Biol.*, 12: 579-595.
- Sear, D.A. 1996. Sediment transport processes in pool-riffle sequences. *Earth Surface and Landforms*, 21: 241-262.
- Statzner, B. 1981. A method to estimate the population size of benthic macroinvertebrates in streams. *Oecologia* 51: 157-161.
- Tisseyre, A.K. 1984. The river Bobr in the Blazkowa study reach (central Sudetes): a case study in fluvial processes and fluvial sedimentology. *Geological Sudetica*, 19: 7-71.
- Teleki, P.G. 1972. Areal sorting of bed-load material: the hypothesis of velocity reversal: discussion. *Geological Society of America Bulletin*, 83: 911-914.

Thompson, D.M.; Wohl, E.E. & Jarret, R.D. 1999. Velocity reversal and sediment sorting in pools and riffles controlled by channel constrictions. *Geomorphology* 27: 229-241.
Wolman, M.G. 1955. The natural channel of

Brandywine creek, Pennsylvania. *U.S. Geological Survey Professional Paper* N° 271.

Yang, T.C. 1971. Formation of riffles and pools. *Water Resources Research*, 7: 1567-1574.