

QUANTIFICAÇÃO DE ATRIBUTOS MICROMORFOLÓGICOS (MICROFÁBRICA) DE DEPÓSITO DE ENCOSTA POR MEIO DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM

Quantification of microfeatures in slope deposit based on classification image

Julio Cesar Paisani¹
Elvis Rabuske Hendges²

¹ **Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE**
Rua Maringá, 1200 – Vila Nova, Francisco Beltrão (PR), CEP 85.605-010
Coord.Lab.Microscopia Ótica
juliopaisani@hotmail.com

² **Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE**
Coord.Lab.Cartografia e Fotointerpretação
elvis_hendges@hotmail.com

RESUMO

Apresenta-se uma aplicação de classificação de imagens digitais capturadas em lâminas micromorfológicas na caracterização da frequência relativa dos constituintes e das microfeições identificadas em depósito de encosta. Ao todo foram capturadas 26 imagens em lâmina representativa da base de uma seqüência de três unidades coluvionares, no Planalto Basáltico – SW PR. Para classificar as imagens utilizou-se funções do *software* SPRING 5.0, com as quais se produziu três padrões de classificação por imagem capturada: i) distribuição relativa dos constituintes – DRC (*esqueleto, plasma e poros*); ii) distribuição relativa das microfeições – DRMF (*esqueleto, poros, hipocutãs de depleção de poros, microfeições de depleção, microfeições de impregnação, preenchimentos finos, preenchimentos densos e cutãs*; e iii) distribuição relativa das microfeições agrupadas por processos micromorfológicos – DRMP (*esqueleto, poros, microfeições de impregnação, microfeições de depleção e acumulações plásmicas intrusivas*). A quantificação do resultado dessa classificação de imagens se deu pelo cálculo de área por classe temática e da área total da imagem. Estabeleceu-se percentuais das classes temáticas com base no cálculo de área e se aplicou parâmetros de tendência central para os dados individuais (média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variância) e para os dados agrupados em classes (média aritmética e moda). Como resultado obteve-se em média 2% de esqueleto, 95% de plasma e 3% de poros. As microfeições plásmicas são em cerca de 5% de hipocutãs de depleção de poro, 32% de microfeições de depleção, 50% de microfeições de impregnação, 5% de preenchimento fino, 3% de preenchimento denso e menos de 1% de cutãs. Agrupadas por processos micromorfológicos registrou-se em média 34% de depleção, 53% de impregnação e 9,5% de acumulações plásmicas intrusivas. Enfim, os critérios de análise de imagem utilizados neste trabalho podem ser aplicados para análises similares em coberturas pedológicas.

Palavras chave: Micromorfologia. Depósito de encosta. Classificação de imagem.

ABSTRACT

It is presented the use of digital images classification process captured in micro- morphological blades in the characterization of relative frequency of the constituents and the microfeatures identified in slope deposit. In all were twenty-six captured images of blades representative in the base of a sequence of three colluvial unities in the Basaltic Plateau – SW PR. For the classification of image was used the SPRING 5.0 software and it was proceed three patterns of classification by captured image: i) relative contribution of the constituents - DRC (skeleton, plasma and void); ii) relative distribution of microfeatures - DRMF (skeleton, void, voids depletion hypocoating, depletion microfeatures, impregnation microfeatures, dense infillings and coating; and iii) relative distribution of microfeatures by micromorphological process – DRMP (skeleton, void, impregnation microfeatures, depletion microfeatures and intrusive plasmic accumulations). The quantification of images results classification was a result of calculation of area by theme

classes and the total area of image. Was established the percentages of theme classes based on the calculation of the area and application of parameters statistic for the individual data (arithmetical average, pattern deviation, coefficient of variance) and for data in class (arithmetical average and moda). As a result it was obtained an average of 2% of skeleton, 95% of plasma and 3% of voids. The plasmatic microfeatures are about 5% of void depletion hypocoating, 32% of depletion microfeatures, 50% of impregnation microfeatueres, 5% of dense infilling and less than 1% of coating. Joined by mycromorfological process it has been registered an average of 34% of depletion, 53% of impregnation and 9.5% of intrusive plasma accumulations. Finally, the used image analysis criteria in this essay can be applied for similar analysis in pedological cover.

Keywords: Micromorphology. Slope deposit. Image classification.

1. INTRODUÇÃO

A micromorfologia dos solos tem sido utilizada como critério e nomenclatura descritiva da microfábrica de depósitos de encosta gerados por movimentos de massa ou escoamento laminar (MÜCHER, 1974; KWAAD; MÜCHER, 1979; MÜCHER; MOROZOVA, 1983; BERTRAN; TEXIER, 1999; CAMARGO, 2005; CAMARGO FILHO, 2005; OLIVEIRA et al., 2001; FERREIRA; OLIVEIRA, 2006; SILVA; CORRÊA, 2009). Embora seja necessário estabelecer nomenclatura e critérios descritivos específicos para a microfábrica dos depósitos de encosta (MÜCHER, 1974), a terminologia e os critérios descritivos da micromorfologia dos solos têm se mostrado eficientes (MÜCHER; MOROZOVA, 1983; OLIVEIRA et al., 2001), sobretudo na caracterização de solos coluviais (CAMARGO, 2005; CAMARGO FILHO, 2005; ROCHA et al., 2006).

Um aspecto descritivo importante para a análise micromorfológica é a quantificação da frequência relativa dos constituintes e das microfedições identificadas nas lâminas. Geralmente a quantificação é feita visualmente, por estimativa, com base em quadros abundância/campo visual, como o de Fitzpatrick (1980). Esse método subordina a descrição à experiência do observador, que nem sempre é suficiente para identificar feições com dimensões reduzidas (5 a 30 μ m), e restringe a quantificação aos intervalos de classes de percentuais pré-estabelecidos nos quadros comparativos.

Uma melhor precisão para se quantificar da frequência relativa dos constituintes e das microfedições pode ser

obtida ao se classificar os elementos de uma imagem digital por um processo computacional assistido ou automático (PROTZ et al., 1992; STOOPS, 2003; ZANIEWSKI; VAN DER MEER, 2005). Essa classificação contribui para: i) reduzir a subjetividade na estimativa da frequência relativa dos constituintes e das microfedições observadas nas lâminas; ii) destacar a distribuição espacial das microfedições, sobretudo aquelas de dimensões reduzidas (ultramicroscópicas); e iii) quantificar, com maior precisão, a ocorrência das microfedições observadas na análise visual. Por fim, a qualidade da quantificação da frequência das microfedições é importante na caracterização de depósitos de encosta, pois permite verificar as propriedades deposicionais e pós-deposicionais. Embora a classificação de imagem seja apontada como método seguro de quantificação das microfedições (STOOPS, 2003), não se conhece procedimento de classificação que orientem esse tipo de classificação e quantificação, sobretudo em unidades coluviais. Neste sentido, este artigo apresenta experiência do uso da classificação de imagens digitais de capturadas em lâminas micromorfológicas na caracterização da frequência relativa dos constituintes e das microfedições identificadas em depósito de encosta.

2. MÉTODOS

2.1 Contexto da amostragem

A quantificação de atributos micromorfológicos/microfábrica de depósito de encosta se deu em lâmina representativa da base de uma seqüência de três unidades

coluvionares estabelecida entre alta e média encosta, fácies proximal. O depósito se encontra em uma encosta do médio vale do Rio Marrecas, sudoeste do Paraná, no Planalto Basáltico, e foi gerado por movimentos de massa, possivelmente durante o Holoceno, decorrente da instabilização de cobertura pedológica laterítica (PAISANI; GEREMIA, 2010).

A lâmina, onde se capturou as imagens, foi descrita utilizando-se nomenclatura de Stoops (2003). Esta apresenta ausência de pedalidade e uma microestrutura em fendas e rachaduras, com porosidade secundária em cavidades e raras vesículas e canais. No fundo matricial (matriz) foram reconhecidos hipocutãs, quasicutãs e nódulos mátricos com diferentes graus de impregnação com ferro. Em relação às feições externas ao fundo matricial (intrusivas), registrou-se: cutãs de crescimento, cutãs típicos, micropans, preenchimentos finos/densos e nódulos, tanto litomórficos quanto pedomórficos, herdados de solo laterítico. Além dos nódulos externos ao fundo matricial, registra-se minerais primários isotrópicos identificados como ilmenita e ou magnetita, e em menores proporções alterorelíquias do basalto e eventuais grãos de zeólita e quartzo.

A orientação plásmica (*b/fábric*) predominante é indiferenciada, registrando-se localmente estriada dos tipos: granoestriada, poroestriada, circular, semi-circular, crescente e reticulada.

2.2 Aquisição das Imagens

Os critérios usados na aquisição das imagens em lâmina de micromorfologia se basearam em Zaniewski e Van Der Meer (2005), e foi feita por meio do uso de um microscópio trinocular Leica DM 2500 P, com câmera Leica EC 3 acoplada, e do *software Leica Application Suite - LAS EZ* versão 1.4 disponíveis no Lab. de Microscopia Ótica da Unioeste, Campus Francisco Beltrão. Foi adquirido um total de 26 imagens para a determinação da frequência relativa da distribuição dos constituintes (*c/f*

fábric) e das microfeições identificadas (matriz e intrusivas). Em ambos os casos, essas imagens foram adquiridas sobre luz polarizada plana, com controle sobre a intensidade e sobre o campo de iluminação.

A captura das imagens foi feita no campo visual da objetiva de 10 x de aumento, representando um polígono retangular de 1,19 x 0,89 mm. Cada imagem tem 3,1 mega pixel arranjados em 2.048 colunas x 1.536 linhas, onde cada pixel apresenta 0,00058 mm. Elas foram gravadas no formato TIFF com 24 bit. Em seguida, fez-se a identificação dos constituintes e das microfeições, as quais foram registradas na imagem impressa para auxiliar na etapa de classificação supervisionada das imagens.

2.3 Classificação de Imagem

Para a classifica a imagem se utilizou funções disponíveis no *software* SPRING 5.0, disponível no site: www.inpe.br. As imagens capturadas foram convertidas para o formato nativo do SPRING (SPG), com o *software* IMPIMA 5.0, e registradas sem sistema de projeção pré-definido, onde cada coordenada de pixel adotou a coordenada de tela (colunas e linhas) referente à imagem.

Procederam-se três padrões de classificação por imagem capturada (Figura 1): i) distribuição relativa dos constituintes (DRC), onde se reconheceu *esqueleto* (ilmenita/magnetita e nódulos alteromórficos e pedomórficos de forte impregnação), *plasma* (pedoplasma mátrico, intrusivo e alteroplasma das litorrelíquias) e *poros* (vesiculares, cavitários, fissurais e câmaras); ii) distribuição relativa das microfeições (DRMf), dispostas em *esqueleto* (idem DRC), *poros* (idem DRC), *hipocutãs de depleção de poros*, *microfeições de depleção* (separações plásmicas mátricas), *microfeições de impregnação* (hipocutãs, quasicutãs, impregnações de ferro, nódulos pedomórficos de fraca a moderada impregnação), *preenchimentos finos* (contínuos ou descontínuos), *preenchimentos densos* (completos e incompletos) e *cutãs* (típico, de crescimento e micropans); e iii) distribuição

relativa das microfieções agrupadas por processos micromorfológicos (DRMP), constituída de *esqueleto* (idem DRC), *poros* (idem DRC), *microfieções de impregnação* (idem DRMf), *microfieções de depleção* (hipocutãs de depleção de poros e fieções de depleção mátricas) e *acumulações plásmicas intrusivas* (preenchimentos fino, denso e cutãs).

Gerou-se um total de 78 imagens classificadas. No caso da DRMf e DRMP, à apresentação e análise dos resultados se restringiu as microfieções que representam o plasma.

O procedimento de classificação digital usado foi o método supervisionado. Compreende a escolha visual das áreas de treinamento correspondentes a cada classe temática de constituinte e microfieção. O algoritmo classificador desse método é o da *máxima verossimilhança* que classifica os pixels de forma individual considerando a ponderação das distâncias, entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade. Apresentam-se duas classes (1 e 2) com distribuição de probabilidade distintas. Estas distribuições de probabilidade representam a chance de um pixel pertencer à uma ou outra classe, dependendo da posição do pixel em relação à esta distribuição. Tais incertezas residem, por exemplo, nos níveis de cinza inerentes aos pixels das imagens, porém levam em conta os níveis de cinza dos pixels adjacentes que por mais que estes se diferenciem, podem pertencer a uma mesma fieção imageada. Logo, o agrupamento de pixels adjacentes permite a determinação de parâmetros de forma e textura e permite relacionar os objetos às respectivas fieções (BAATZ; SCHÄPE, 2006).

O resultado da classificação supervisionada foi avaliado pelos resultados da matriz de confusão, estabelecida com base nas médias obtidas na correlação e diferenciação entre as diferentes áreas de treinamento e as médias de pixels da imagem (CONGALTON; GREEN, 1999). A matriz

demonstra a qualidade das amostras e dos dados contidos na imagem classificada, através do resultado de desempenho médio (%) da seleção das amostragens. Teoricamente, apenas o desempenho médio de 100% equivaleria a uma qualidade excelente de classificação da imagem, o que é raro de se observar. A qualidade da classificação foi avaliada de duas formas sucessivamente: i) comparando-se a distribuição das classes na imagem classificada com a distribuição dos constituintes e microfieções identificados nas imagens capturadas e ii) aplicando-se a análise do coeficiente de Kappa (Equação 1).

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ij} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \quad (1)$$

Onde: r = número de classes, X_{ij} = número de elementos classificados corretamente, X_{i+} = total de elementos classificados para uma categoria i, X_{+i} = total de elementos de referência amostrados para uma categoria i, e N = número total de amostras.

No primeiro caso, a análise é por comparação visual das imagens capturadas e classificadas arquivadas, na ferramenta *painel de controle* do SPRING. Já o coeficiente de Kappa varia de < 0 a 1,0 e tem por base a diferença entre concordância observada, diagonal principal da matriz de confusão com a concordância entre o resultado obtido pelo processo de classificação e o conjunto de referência, e a chance de concordância entre o conjunto de referência e uma classificação aleatória, que corresponde ao produto entre os totais marginais da matriz (CONGALTON; GREEN, 1999). Com os valores obtidos com dados extraídos da classificação da imagem gerados pela ferramenta *análise de amostras* do SPRING, aplicou-se a escala de qualidade: péssima (< 0), ruim (0 – 0,20[]), razoável (0,20 – 0,40[]), boa (0,40 – 0,60[]), muito boa (0,60 – 0,80[]) e excelente (0,80 – 1,00). Uma das vantagens para o uso desse índice é que ele incorpora a informação dos pixels mal classificados e não apenas dos pixels bem classificados.

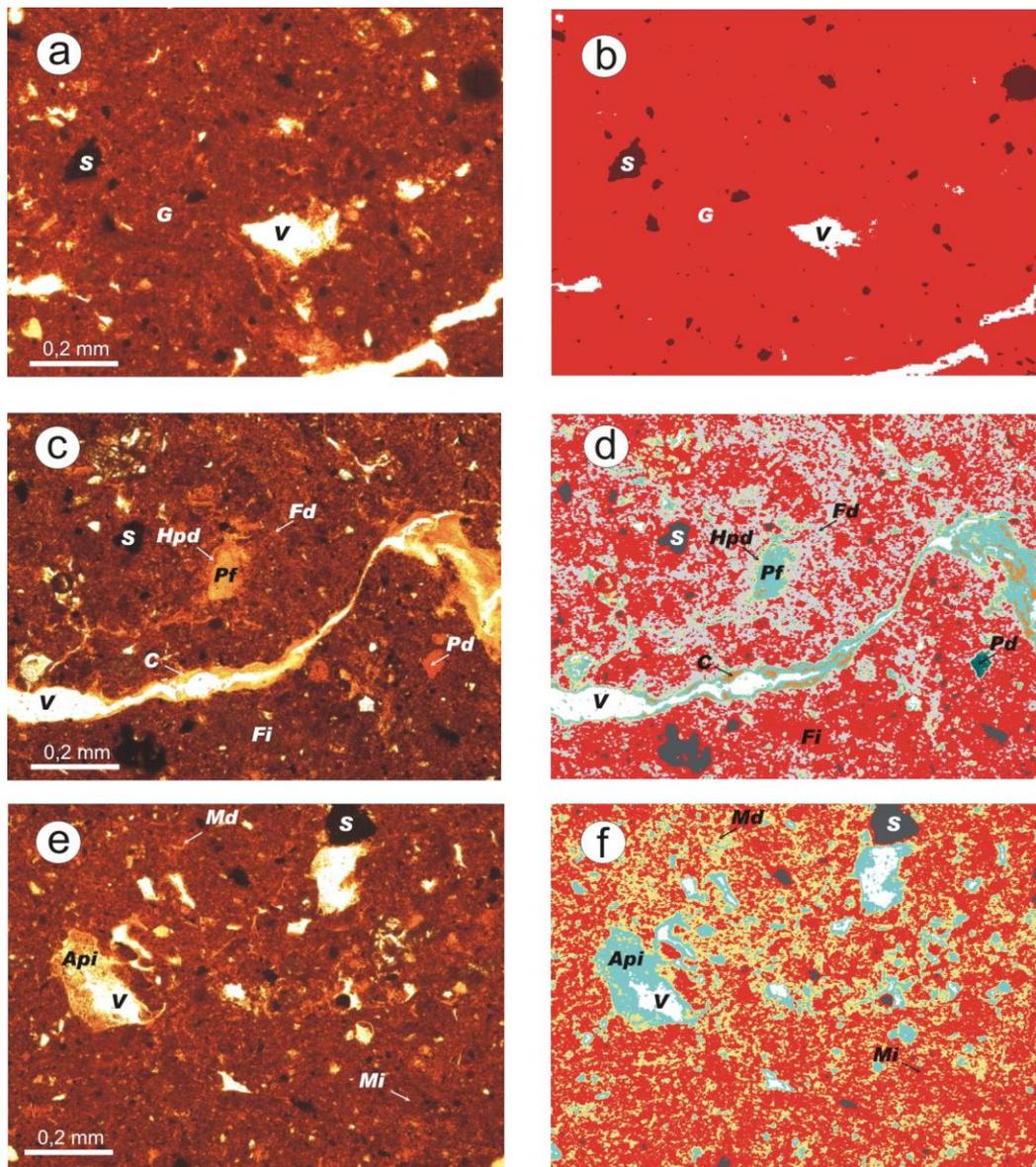


Figura 01: Imagens capturadas sobre luz polarizada plana (a, c, e) e classificadas como DRC (b), DRMf (d) e DRMP (f). S = esqueleto. G = fundo matricial (matriz) + acumulações plásmicas intrusivas. V = poro. Hpd = Hipocutã de depleção de poro. Fd = microfeição de depleção mátrica. Fi (DRMf) = Mi (DRMP) = microfeição de impregnação. Pf = preenchimento fino. Pd = preenchimento denso. C = cutã. Md = microfeição de depleção (hipocutãs de depleção de poros e feições de depleção mátricas). Api = acumulações plásmicas intrusivas.

2.4. Quantificação dos constituintes e das microfeições/microfábrica

A quantificação iniciou pela conversão dos dados das imagens *raster* classificadas nas categorias de DRC, DRMf e DRMP para o modelo temático, pelo uso da função *mapeamento de classes para imagem temática...* do SPRING. Em seguida, utilizou-se a função *medidas de classes...*, para estabelecer medidas de área (m²). Os

resultados do cálculo de área, por classe temática e da área total da imagem, foram convertidos em percentuais pela clássica “regra de três”.

Diante dos percentuais dos constituintes e das microfeições, estabeleceu-se para cada categoria de classificação parâmetros de tendência central para os dados individuais: média aritmética, desvio padrão, coeficiente de variância (%); e para os dados agrupados em classes: média aritmética e

moda. As classes foram definidas aplicando-se a equação de Sturges, enquanto que o intervalo foi definido pela divisão entre a diferença do máximo e mínimo percentual pelo número de classes (GERARDI; SILVA, 1981).

3. RESULTADOS

3.1. Distribuição Relativa dos Constituintes (DRC)

A DRC expressa a distribuição relativa entre as frações grossa (> areia), fina (silte e argila) e os poros. A classificação mais utilizada é a de Stoops e Jongerius (1975 apud STOOPS, 2003). O critério de classificação é qualitativo e se baseia em cinco tipos básicos representados em uma bipirâmide trigonal. Aplicando essa classificação à lâmina estudada percebe-se o predomínio do padrão de DRC na categoria de porfírica aberta, a qual indica que a fração grossa, menos freqüente, se distribui com grãos uns distantes dos outros, em matriz de material fino (Figura 1a,c,e). Os percentuais dessa distribuição foram quantificados na classificação de imagem em três componentes básicos: esqueleto, plasma e poros (Figura 1b).

O esqueleto, fração grossa, expressa os minerais ilmenita/magnetita, nódulos litomórficos e nódulos pedomórficos com forte impregnação, todos herdados da cobertura laterítica que forneceu material ao depósito de colúvio. Os componentes raros do esqueleto, alterorelíquias de basalto, zeólita e quartzo, não puderam ser classificados como indivíduos. Em relação as alterorelíquias, o processo de classificação incluiu o alteroplasma na categoria de plasma e os espaços porosos gerados pela alteração na categoria poros, decompondo as alterorelíquias nessas duas classes. Já os grãos de zeólita e quartzo exibiram níveis de cinza e vizinhança semelhantes aos dos espaços poros, não sendo possível individualizá-los no processo de classificação automática das imagens.

A classificação automática das imagens para a DRC revelou desempenho médio de 94,75 a 100% que, segundo os valores do índice de Kappa, se encontraram na categoria de excelente classificação.

Os percentuais de esqueleto variaram entre 0,41 a 4,67. Geralmente, ele se mostra constituído por ilmenita/magnetita, porém quatro imagens (2, 8, 21, 22) registraram a presença de nódulos pedomórficos e alteromórficos, o que implicou em aumento dos percentuais do esqueleto para valores acima de 4% (Figura 2a). Esse fato refletiu-se nos parâmetros estatísticos do esqueleto elevando os valores da média, do desvio padrão e do coeficiente de variância (Tabela 1). Percebe-se que há uma variabilidade nos percentuais de esqueleto registrados pelas classificações das imagens, permitindo verificar que o esqueleto corresponde em média cerca de 2 %.

Cotejando os percentuais dos alteromorfos, grãos de zeólita e quartzo com os percentuais de esqueleto, verifica-se que a raridade desses constituintes alteraria as médias em menos de 0,31%, sendo irrisório no computo geral da DRC para a lâmina analisada.

Em relação ao plasma, seus percentuais variaram de 88,41 a 97,32%, registrando os menores valores nas imagens 15 e 19 devido ao aumento da porosidade (Figura 2b). A variabilidade nos percentuais é baixa, como demonstra o coeficiente de variância, implicando em percentual médio de cerca de 95% de plasma (Tabela 1).

Já os poros apresentaram percentuais de entre 0,27 a 10,31% (Figura 2c), registrando os maiores valores justamente nas imagens 15 e 19, onde ocorrem macroporos biogênicos associados à flora e à fauna que cobria atualmente as paredes da seção estratigráfica, e no caso da imagem 19 devido a poros fissuras gerados pela contração e expansão da matriz da amostra durante a fase de preparo para a sua impregnação, como verificado em análise qualitativa. Observando as áreas ocupadas pelos poros nas imagens capturadas e comparando com as respectivas áreas nas classificações das imagens, notou-se uma aparente redução da porosidade (Figura 1a,b). Isso se deve ao fato da classificação da imagem individualizar géis/argilãs muito finos preenchendo os poros, que eram pouco nítidos

na imagem capturada, face ao excesso de luminosidade. Em geral, registra-se expressiva variabilidade nos percentuais de poros das

imagens, como mostra o coeficiente de variância, obtendo-se em média um total de 3% de poros (Tabela 1).

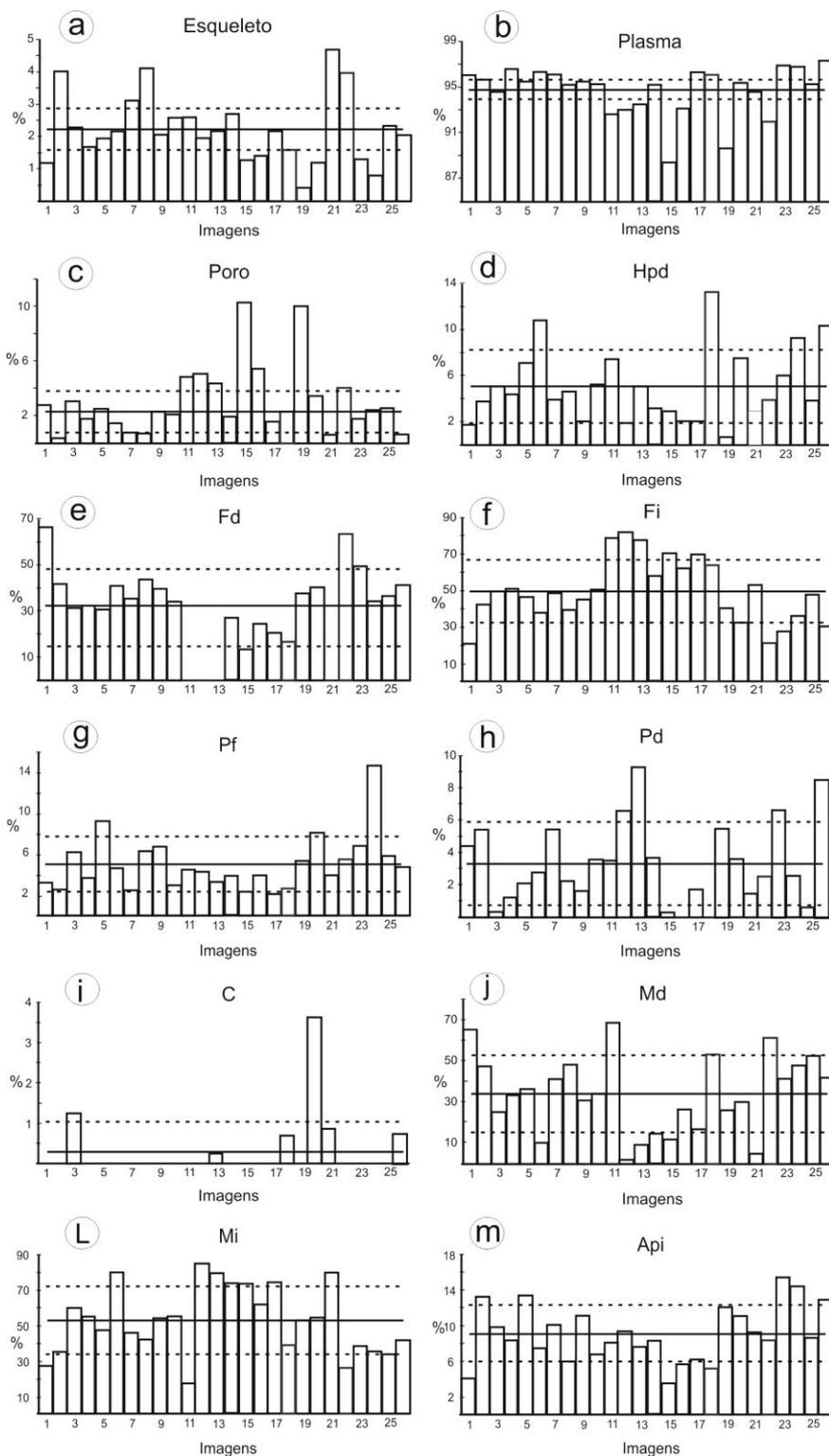


Figura 02: Polígonos de freqüência contendo os percentuais da DRC (a,b,c), DRMf (d,e,f,g,h,i) e DRMP (j,l,m). Hpd = Hipocutã de depleção de poro. Fd = microfieções de depleção mátrica. Fi (DRMf) = Mi (DRMP) = microfieções de impregnação. Pf = preenchimento fino. Pd = preenchimento denso. C = cutã. Md = microfieções de depleção (hipocutãs de depleção de poros e fieções de depleção mátricas). Api = acumulações plásmicas intrusivas.

Tabela 01: Parâmetros estatísticos da DRC

Dados	Par.	Esq.	Plas.	P.
Individual	χ	2,22	94,76	3,02
	Dp	0,64	0,89	1,53
	Cv	28,22	0,93	50,66
Classes	K	6	6	6
	Δ	0,71	1,49	1,67
	χ	2,33	94,84	3,56
	Mo	2,54	95,86	3,61

Par. = parâmetros. Esq. = esqueleto. Plas. = plasma. P. = Poro. χ = média (%). Dp = desvio padrão. Cv = coeficiente de variância (%). K = n° classes. Δ = intervalos de classes (%). Mo = moda (%).

Embora não se tenha priorizado analisar a frequência dos tipos de poros, a descrição qualitativa demonstra a ocorrência de vesículas, câmaras, fissuras e cavidades. As vesículas estão associadas ao processo deposicional e representam bolhas de ar presas na matriz do depósito de colúvio (BERTRAN; TEXIER, 1999). As câmaras, responsáveis pelos maiores percentuais de poros nas áreas imagiadas, estão associadas à flora e fauna que cobria atualmente as paredes da seção estratigráfica. As fissuras, mais frequentes e responsáveis pela microestrutura em fendas e rachaduras, decorrem do processo de contração e expansão da matriz após a deposição do material e, por vezes, do tratamento da amostra para impregnação. Enfim, as cavidades, resultam das separações plásmicas que ocorreram na matriz após a deposição do colúvio.

3.2. Distribuição Relativa das Microfeições (DRMf)

O padrão de classificação das imagens capturadas pela DRMf buscou subdividir o plasma em categorias de feições mátricas e intrusivas. As microfeições de depleção foram divididas em de poros (hipocutãs de depleção de poros) e separações plásmicas mátricas dissociadas dos poros (microfeições de depleção). Microfeições de impregnação de Fe, tanto herdadas da cobertura laterítica que originou o depósito de colúvio quanto geradas durante ou após a deposição da unidade coluvial, tais como: hipocutãs, quasicutãs, impregnações de ferro, nódulos pedomórficos de fraca a moderada impregnação, exibiram

propriedades muito próximas, o que dificultou individualizá-las no processo de classificação das imagens. Tais feições foram agrupadas na categoria *microfeições de impregnação*, como mencionado no item 2.3. As microfeições intrusivas, referentes a acumulações plásmicas absolutas foram classificadas em três categorias: *preenchimentos finos* (contínuos ou descontínuos), *preenchimentos densos* (completos e incompletos) e *cutãs* (típico, de crescimento e micropans).

A classificação automática das imagens para a DRMf revelou um desempenho médio de 80,94 a 99,75% que, segundo os valores do índice de Kappa, se encontraram na categoria de excelente classificação. Exceções foram registradas nas classificações das imagens 26 e 21, respectivamente com boa e muito boa classificação. Nesses casos a comparação entre a distribuição das microfeições na classificação da DRMf e a distribuição das mesmas nas imagens capturadas mostrou que, aumentar o desempenho médio para percentual > 90% implicava em classificar áreas de cutãs típicos na categoria de preenchimento fino e de hipocutã de depleção de poro na categoria de feições de depleção.

Em geral a classificação das imagens capturadas segundo a DRMf trouxe resultados importantes em relação a organização do plasma, revelando cerca de: 5% de hipocutãs de depleção de poro, 32% de microfeições de depleção, 50% de microfeições de impregnação, 5% de preenchimento fino, 3% de preenchimento denso e menos de 1% de cutãs (Tabela 2). Verifica-se que em média os hipocutãs de depleção de poros são em quantidade seis vezes inferior ao das

Tabela 02: Parâmetros estatísticos da DRMf

Dados	Par.	Hpd	Fd	Fi	Pf	Pd	C
Individual	χ	5,04	32,22	49,52	5,07	3,27	0,28
	Dp	3,16	16,74	17,09	2,69	2,57	0,76
	Cv	62,70	51,86	34,51	53,06	78,60	2,92
	K	6	6	6	6	6	6
Classes	Δ	2,09	11,12	10,16	2,10	1,55	0,60
	χ	5,22	32,08	49,16	5,10	3,40	0,53
	Mo	4,89	44,51	51,51	4,29	3,10	0,60

Hpd = Hipocutãs de depleção de poros; Fd = microfexões de depleção; Fi = microfexões de impregnação; Pf = preenchimento fino; Pd = preenchimento denso; C = cutãs; χ = média (%); Dp = desvio padrão; Cv = coeficiente de variância (%); K = n° classes; Δ = intervalos de classes (%); Mo = moda (%).

microfexões de depleção mátricas, o que não era plenamente perceptível observando a imagem capturada (Tabela 2, Figura 1c,d). Isso sugere que separações plásmicas estiveram presentes na matriz da unidade colúvial durante e ou logo após sua deposição.

Analisando os percentuais das microfexões de depleção nas imagens classificadas percebe-se significativa variabilidade (Figura 2e), indicando que as separações plásmicas estão em estágio pouco avançado de evolução, concentrando-se em determinadas áreas da lâmina. Esse fenômeno pode estar associado tanto ao processo de impregnação, gerando microfexões impregnativas (hipocutãs, quasicutãs e nódulos mátricos), quanto a acumulações plásmicas intrusivas (preenchimentos e cutãs). Enfim, comparando a frequência relativa de cutãs em relação aos preenchimentos percebe-se que os últimos são predominantes (Figura 2g,h,i; Tabela 2). Geralmente os preenchimentos ocupam poros cavitários (Figura 1d). Esse fato é pertinente e indica que a depleção é intensa a ponto de gerar e preencher os poros cavitários.

3.3. Distribuição Relativa das Microfexões por Processos Micromorfológicos (DRMP)

Pelas microfexões plásmicas identificadas nas imagens capturadas, reconheceu-se três grupos de processos micromorfológicos: depleção, impregnação e acumulação. As duas primeiras relacionadas a matriz e a última referente a intrusões plásmicas. Assim, as microfexões foram agrupadas em microfexões de depleção

(hipocutãs de depleção de poros e feixões de depleção mátricas), microfexões de impregnação (idem DRMf) e acumulações plásmicas intrusivas (preenchimentos fino, denso e cutãs) (Figura 1e,f).

A classificação automática das imagens para a DRMP revelou um desempenho médio de 88,29 a 99,42% que, segundo os valores do índice de Kappa, se encontraram na categoria de excelente classificação. Em geral, a classificação segundo a DRMP mostrou em média 34% de depleção (Md), 53% de impregnação e 9,5% de acumulações plásmicas intrusivas (Tabela 3). Esses percentuais médios estão muito próximos daqueles obtidos pela DRMf (Tabela 2).

Os percentuais de microfexões de depleção exibem significativa variabilidade, igualmente ao verificado na DRMf (Figura 2h,j; Tabela 3). Em relação à distribuição espacial das microfexões que indicam processos de depleção, impregnação (Mi) e acumulação plásmica intrusiva (Api), mostrou-se similar a distribuição espacial das microfexões na classificação pela DRMf, concentrando-se preferencialmente na matriz, podendo ser utilizada como categoria de classificação em substituição a esta última. Em geral, analisando a distribuição espacial e os percentuais de ocorrência das microfexões agrupadas por processos, verifica-se que predominam microfexões de impregnação. Essas microfexões são responsáveis pela coloração marrom escura do plasma e representam o somatório de acumulações mátricas de dois momentos distintos. No primeiro momento refere-se a forte

impregnação com ferro herdado do material de origem da unidade coluvial; e no segundo momento estão relacionadas com as acumulações relativas de ferro durante o processo de depleção, gerando hipocutãs, quasicutãs e nódulos mátricos de impregnação.

Assim, os processos de depleção, impregnação e acumulação plásmica intrusiva devem ser, futuramente, analisados conjuntamente para se inferir se estão relacionados a fenômenos deposicionais ou pós-deposicionais.

Tabela 03: Parâmetros estatísticos da DRMP

Dados	Par.	Md	Mi	Api
Individual	χ	33,51	52,91	9,09
	Dp	18,84	18,91	3,17
	Cv	56,22	35,74	34,87
Classes	K	06	06	06
	Δ	11,14	11,25	1,98
	χ	33,87	52,59	9,74
	Mo	34,73	62,54	11,51

Md = microfissões de depleção; Mi = microfissões de impregnação; Api = acumulações plásmicas intrusivas; χ = média (%); Dp = desvio padrão; Cv = coeficiente de variância (%); K = n^o classes; Δ = intervalos de classes (%); Mo = moda (%).

4. CONCLUSÕES

A classificação de imagem segundo o padrão de DRC possibilitou caracterizar quantitativamente o padrão qualitativo de distribuição relativa porfírico aberta, cujo adjetivo do padrão refere-se à distância entre os constituintes do esqueleto. Essa categoria de classificação da imagem permitiu individualizar grãos de esqueleto em tamanho reduzido que normalmente não seriam identificados na descrição da imagem capturada devido a impregnação da matriz por ferro. Igualmente, mostrou baixos percentuais de poros, que por vez indicam pouca ação da pedogênese após a deposição do material coluvial, fato que reforça a ausência de pedalidade observada nas descrições qualitativas. Enfim, demonstrou que esqueleto e plasma correspondem, juntos, em média a cerca de 97 % dos constituintes da unidade colúvial.

Em relação as microfissões, a classificação de imagem segundo o padrão DRMF revelou repetição ao longo das áreas imagiadas da lâmina, porém com diferentes frequências. Se por um lado mostra homogeneidade de categorias de microfissões na unidade coluvial, por outro demonstra significativa variabilidade de processos

micromorfológicos ao longo da mesma lâmina. Esse fato é exemplificado pelos hipocutãs de depleção de poros, microfissões de depleção, preenchimentos densos e cutãs que em determinadas áreas imagiadas estiveram ausentes e em outras áreas exibiram significativos percentuais.

O agrupamento das microfissões por processos micromorfológicos, através do padrão de classificação segundo a DRMP, permitiu verificar os percentuais de ocorrência dos processos de depleção, impregnação e acumulação plásmica intrusiva, bem como sua distribuição espacial nas imagens. A DRMP relevou que as microfissões de impregnação, herdadas do material de origem e geradas durante ou após a deposição da unidade coluvial, são as mais frequentes e estão associadas a formação de microfissões de depleção. Por sua vez, as microfissões de depleção apontam para a separação plásmica como processo importante tanto na dissociação da matriz, gerando poros cavitários, quanto no fornecimento de ferriargilãs para microfissões plásmicas de acumulação intrusiva.

Enfim, a classificada digitalmente de imagem mostra-se eficiente na quantificação da frequência relativa dos constituintes e das microfissões identificadas em lâmina micromorfológica (microfábrica) de unidade

coluvial. Os critérios de análise de imagem utilizados neste trabalho podem ser aplicados para análises similares em coberturas pedológicas.

AGRADECIMENTOS

Ao INPE por disponibilizar o *software* SPRING 5.0. À UGF/SETI/Gov.Paraná pelo apoio financeiro através do Termo de Cooperação Técnica-Finaceira n.13/2007. À profa. Marga Eliz Pontelli pela revisão e sugestões no manuscrito.

REFERÊNCIAS

- BAATZ, M.; SCHÄPE, A. **Mutiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multiscale image segmentation.** München. Disponível em: <www.definiens.com>. Acesso em: 15 mar. 2006.
- BERTRAN, P.; TEXIER, J. P. Facies ad microfacies of slope deposits. **Catena**, Amsterdam, v. 35, p. 99-121, 1999.
- CAMARGO FILHO, M. **O significado paleoambiental de sequencia pedossedimentar em baixa encosta: o caso dos paleossolos Monjolo – Lapa – PR.** 2005. 318 f. Tese (Doutorado em Geografia)– Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- CAMARGO, G. **O significado paleoambiental de depósitos de encosta e preenchimento de canal no município da Lapa (PR) no sul do Segundo Planalto Paranaense.** 2005. 297 f. Tese (Doutorado em Geografia)–Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices.** New York: Lewis Publishers, 1999.
- FERREIRA, G. M. S. S.; OLIVEIRA, M. A. T. Aplicação da Micromorfologia de solos ao estudo de sedimentos alúvio-coluviais em cabeceiras de vale. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 33, p. 3-18, 2006.
- FITZPATRICK, E. A. **The micromorphology of soils.** Scotland: University of Aberden, 1980.
- GERARDI, L. H. O.; SILVA, B. C. N. **Quantificação em Geografia.** São Paulo: DIFEL, 1981.
- KWAAD, F. J. P. M.; MÜCHER, H. J. The formation and evolution of colluvium on Arable land in northern Luxembourg. **Geoderma**, Amsterdam, v. 22, p. 173-192, 1979.
- MÜCHER, H. J. Micromorphology of slope deposits: the necessity of a classification. In: RUTHERFORD, G. K. (Ed.). **Soil microscopy.** Ontario: Limestone Press, Ontario, 1974. p. 553-566.
- MÜCHER, H. J.; MOROZOVA, T. D. The application of soil micromorphology in quaternary geology and geomorphology. In: BULLOCK, P.; MURPHY, C. P. (Ed.). **Soil micromorphology: techniques and applications.** Rothamsted: A B Academic, 1983. p. 151-194.
- OLIVEIRA, M. A. T. et al. Caracterização paleohidrológica de estruturas sedimentares quaternárias através de análises macroscópicas e microscópicas: do registro sedimentar local aos indícios de mudanças globais. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 28, p. 183-195, 2001.
- PAISANI, J. C.; GEREMIA, F. Evolução de encostas no Planalto Basáltico com base na análise de depósitos de colúvio – médio vale do rio Marrecas, SW do Paraná. **Geociências**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 321-334, 2010.

PROTZ, R.; SWEENEY, S.J.; FOX, C.A. An application of spectral image analysis to soil micromorphology, 1. Method of analysis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 53, p. 275-287, 1992.

ROCHA, L. C.; CARVALHO, V. L. M.; CRUZ, L. O. M. Índices micromorfológicos de processos de coluvionamento na bacia do do Córrego do Quebra, Gouveia/MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 7., 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia, [s.n.], 2006, p. 10. 1 CD-ROM.

SILVA, D. G.; CORRÊA, A. C. B. Aplicação da micromorfologia de solos aos estudos de

sedimentos quaternários: uma ferramenta para a reconstrução paleoambiental. **Mercator: Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, ano 8, n. 15, p. 110-138, 2009.

STOOPS, G. **Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections**. Madison: Soil Science Society of America, 2003.

ZANIEWSKI, K.; VAN DER MEER, J. J. M. Quantification of plasmic fabric through image analysis. **Catena**, Amsterdam, v. 63, p. 109-127, 2005.

Data de recebimento: 13.08.2010

Data de aceite: 28.09.2010