



APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE CONCENTRAÇÃO DA RUGOSIDADE À IDENTIFICAÇÃO DE CLASSES DE DISSECAÇÃO DO RELEVO: UMA PROPOSTA DE QUANTIFICAÇÃO E AUTOMATIZAÇÃO EM AMBIENTE SIG

Lázaro Filipe de Souza – Bacharel em Geografia – UFPR – lazaro.filipe@hotmail.com

Tony Vinicius Moreira Sampaio - Docente do Departamento de Geografia da UFPR

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo colaborar com as técnicas de mapeamento geomorfológico, a partir da identificação de um padrão numérico para uso no mapeamento de classes de dissecação do relevo (ROSS, 1992), adotando como referência o Índice de Concentração de Rugosidade – ICR (SAMPAIO, 2008) e o Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná (OKA FIORI *et al*, 2006). O Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) foi aplicado para todo o Estado e a partir de ajustes sistemáticos, adequado às classes de dissecação empregadas no referido mapeamento. Os resultados demonstram o potencial de uso do ICR, fornecem classes de valores similares às do mapeamento geomorfológico realizado por técnicas convencionais e apresentam diretrizes gerais para o emprego do mesmo em outros trabalhos de mapeamento.

PALAVRAS-CHAVE: mapeamento geomorfológico; SIG; dissecação, ICR.

ABSTRACT: This study aimed to collaborate with the techniques of geomorphological mapping based on the identification of default numeric value for use in mapping of dissection relief class (Ross, 1992), having as reference the Roughness Concentration Index (RCI) (SAMPAIO, 2008) and Geomorphological Map of the Paraná State (OKA FIORI *et al*, 2006). The Roughness Concentration Index - RCI was applied in the Paraná state and from systematic adjustments as appropriate to the classes of dissection used in that mapping. The results show the potential use of ICR, provide classes of values similar as to geomorphological mapping done by conventional techniques and showing general guidelines for the use of it in other mapping.

KEY WORDS; geomorphological mapping, GIS, dissection, RCI.

1 - INTRODUÇÃO

Influenciada pela revolução e popularização da informática e pelo aumento da resolução e faixas de trabalho de novos sensores remotos, a Cartografia Geomorfologia agregou em seus estudos novas técnicas computacionais.

Tal evolução, com equipamentos mais potentes e softwares mais amigáveis e completos, possibilita atualmente a associação entre a interpretação geomorfológica tradicional às técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, que permitem a elaboração mais ágil de um mapa geomorfológico. (RODRIGUES E BRITO, 2000).

A Cartografia Geomorfológica possui, dentre seus objetivos, representar as formas de relevo e estabelecer o grau de detalhamento ou de generalização associado à gênese e possíveis datações (FUSHIMI, 2008).

A morfometria é a área de pesquisa dentro da Geomorfologia responsável pela mensuração e análise matemática da configuração física da paisagem terrestre. No cálculo de variáveis ou índices morfométricos, manuais ou automatizados, existem dificuldades relacionadas com a definição de número de classes, intervalos das classes, critérios e unidades de amostragem, por exemplo.

As vantagens dos métodos automatizados referem-se à economia de tempo, ao armazenamento e à capacidade de manipular uma grande quantidade de dados, a integração de dados e a geração de cartas morfométricas. (FLORENZANO, 2008).

Autores como Ross (1992), Hobson (1972), Lobão e Vale (2007) contribuíram para o aprimoramento de técnicas e discussões em torno dos índices que mensuram o grau de dissecação ou rugosidade do relevo.

Sampaio (2008), propôs e empregou o Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) na identificação e associação de unidades de relevo a ocorrência e distribuição espacial de nascentes, tendo o mesmo sido empregado com êxito também no estudo sobre a espacialização das cavernas em ambiente carste (NASCIMENTO, 2009).

Com o objetivo de avaliar o potencial de aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade o mesmo foi comparado as classes de dissecação empregadas no Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná (OKA FIORI, 2006).

2 - MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho consistiu na aplicação da proposta metodológica de Sampaio (2008) em sua tese de doutorado, na qual o autor desenvolveu o Índice de Concentração de Rugosidade (ICR), que teve como objetivo “identificar parâmetros que possibilitassem incrementar a acurácia do mapeamento da rede de drenagem.” (SAMPAIO, 2008).

O ICR adota como referencial de análise a distribuição espacial da declividade, utilizando-se dos valores indiretos da rugosidade (HOBSON, 1972), a partir da análise da repetição dos valores de declividade por unidade de área. Para tanto é utilizado o estimador de densidade Kernel, que é uma ferramenta geoestatística que permite a análise da dispersão ou concentração de um fenômeno espacial com ocorrência pontual.

A área escolhida para aplicação e calibração do ICR foi o estado do Paraná, possibilitando a comparação dos resultados obtidos com o Mapeamento Geomorfológico do Paraná. Os dados planialtimétricos utilizados são do projeto *Shuttle Radar Topograph Mission* (SRTM), e foram obtidos com resolução espacial de 90m (pixel com área de 8100 m²), pois segundo Sampaio (2009) a utilização de pixels com maior resolução espacial para o arquivo de entrada não resultam em um detalhamento mais significativo do ICR, senão em um aumento no tempo de processamento dos arquivos gerados.

Segundo Souza (2007) as cartas de grande escala permitem mapear formas de relevo em nível local, bem como processos atuais, enquanto os mapas de pequena escala permitem mapear, principalmente, unidades morfoestruturais e unidades morfoesculturais. Como a intenção do trabalho foi a de mapear as unidades em nível regional, a escala utilizada foi de 1:250000, acompanhando a utilizada no mapeamento paranaense.

A aquisição e manipulação dos dados se deu pela construção do mosaico das cartas empregadas no mapeamento paranaense, o qual segue a divisão oficial do IBGE, resultando num total de 22 cartas. Para tanto, foi utilizado o *software ArcMap*, sendo as coordenadas limites de cada carta inseridas na forma de linha limítrofes, obtendo-se os extremos das cartas (Fig. 1) e, seguindo os procedimentos adotados no Mapeamento Geomorfológico do Paraná foi criada uma nova codificação para as mesmas.



Fig. 1 – Mosaico das cartas utilizadas com a nova codificação

Desse modo, as linhas foram numeradas de 1 a 5, enquanto as colunas receberam letras de A a E, facilitando a identificação dos nomes de cada carta em relação aos códigos oficiais utilizado pelo IBGE.

O *software Global Mapper* foi empregado na aquisição do modelo digital de elevação do Paraná (Fig. 2) para cada carta, sendo as imagens exportadas em arquivo de extensão “TIFF”, armazenando as cotas altimétricas pixel a pixel.

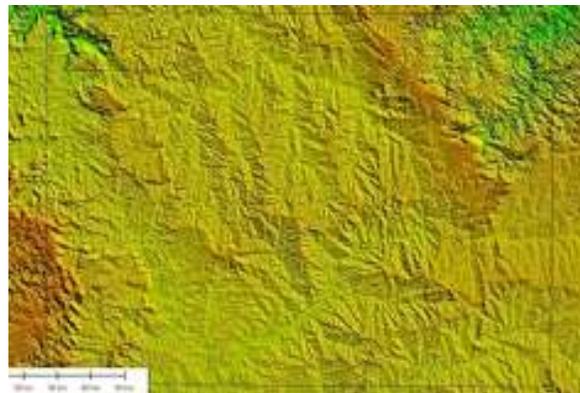


Fig. 2 – Imagem do modelo SRTM no *Global Mapper*

Utilizando o *software ArcGis* e os arquivos do modelo altimétrico foram geradas os arquivos de declividade, através da função *Slope* (Fig. 3).

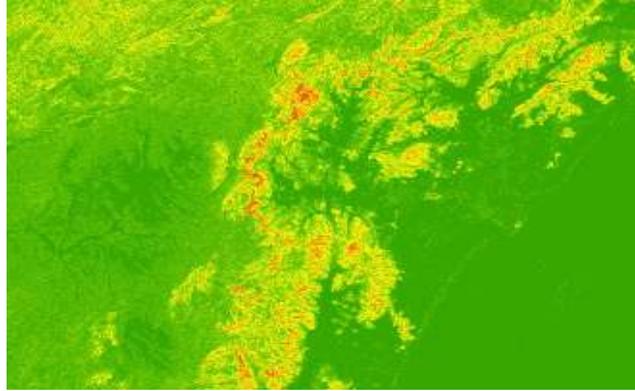


Fig. 3 – Declividade gerada a partir dos valores altimétricos de cada pixel

O processo de geração do ICR se dá pela aplicação do estimador de Kernel, sobre os valores de declividade expressos em porcentagem e disponibilizados em formato de arquivo de pontos (SAMPAIO, 2009), sendo, portanto, necessário a transformação da matriz de declividade em um arquivo de pontos, no qual cada ponto detém o valor que o pixel da respectiva matriz de declividade.

A aplicação do Kernel demanda a definição de um raio de abrangência (largura de banda), para área sobre a qual o estimador geoestatístico deve proceder a contagem de pontos (Fig. 4).

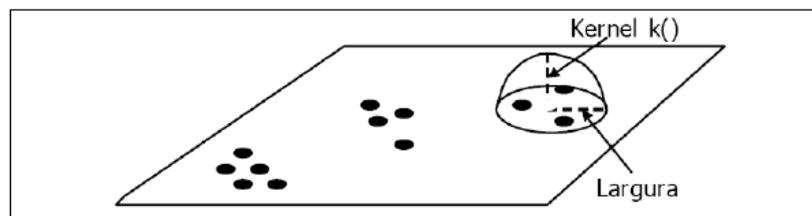


Fig. 4 - Estimador de intensidade de Kernel. Câmara e Carvalho (2001)

A última etapa necessária para obtenção do Índice de Concentração da Rugosidade corresponde ao fatiamento da matriz resultante da aplicação do Kernel (SAMPAIO, 2009), o que neste trabalho consiste em estabelecer o número de classes e respectivos intervalos, a fim de encontrar valores numéricos que aproximem das classes de dissecação empregadas no Mapeamento Geomorfológico do Paraná.

A operação de ajuste e comparação (Fig. 5), foi repetida diferentes vezes até a obtenção de valores que resultassem em classes similares.

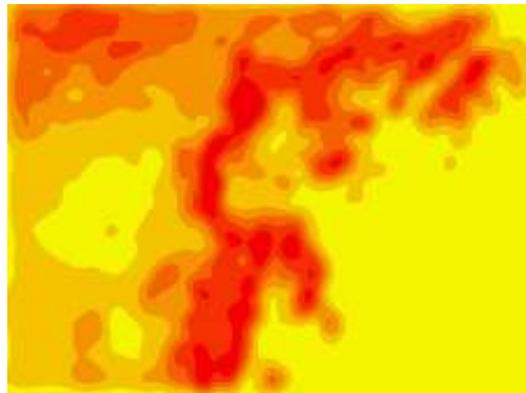


Fig. 5 – Imagem resultante da aplicação do ICR

O fluxograma da Fig. 6 apresenta os passos empregados na pesquisa. Destaca-se que a ida e volta entre a “definição do intervalo e do número de classes” e a “comparação com o mapeamento geomorfológico do Paraná” deve-se a comparação dinâmica que é parte principal do trabalho, onde o objetivo foi aproximar ao máximo os resultados, respeitando as diferenças metodológicas dos mapeamentos. A seta que mostra a volta para “aplicação do Kernel” refere-se à redefinição do tamanho do raio, para comparação entre os resultados.

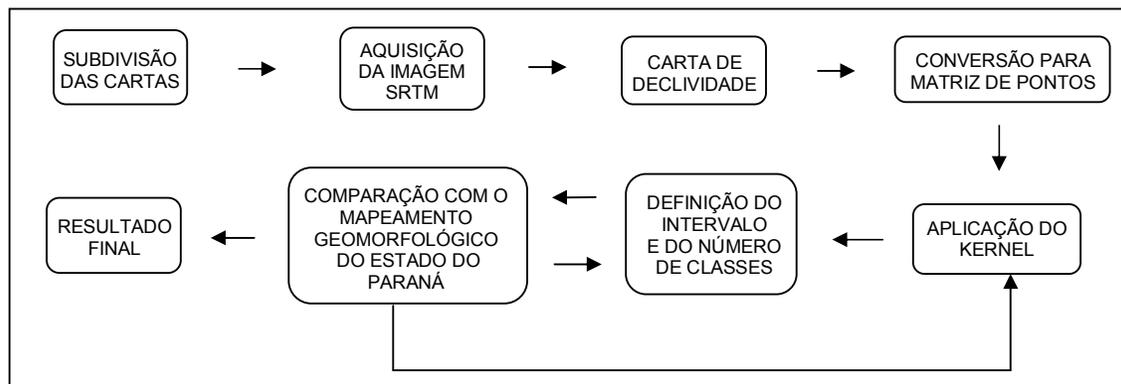


Fig. 6 – Fluxograma dos passos de execução do trabalho

Os dados do SRTM apresentam uma série de erros que podem afetar o resultado do trabalho visto que alguns pixels do modelo não possuem valor de altimetria, ou ainda, possuem valores fora do padrão da região de análise, demandando o ajuste dos mesmos.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com vistas a possibilitar a comparação direta com o Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná (Figura 7), foram geradas quatro classes de dissecação para o ICR (Figura 8), sendo: baixa (1), média (2), alta (3) e muito alta (4).



Fig. 7 – Classes de dissecação no Mapeamento Geomorfológico do Paraná para a carta 4E



Fig. 8 – Classes de Dissecação

Para encontrar o raio de abrangência adequado para o estimador de Kernel, foram utilizados diferentes valores, sendo encontrado como o mais adequado 1128m, o que corresponde a área de aproximadamente 4km², valor este também empregado na compartimentação das unidades de relevo por Sampaio (2008).

O valor de raio de 1128m permitiu que as classes de dissecação da carta 4E geradas pelo ICR ficassem da forma que aparece na Fig. 9.

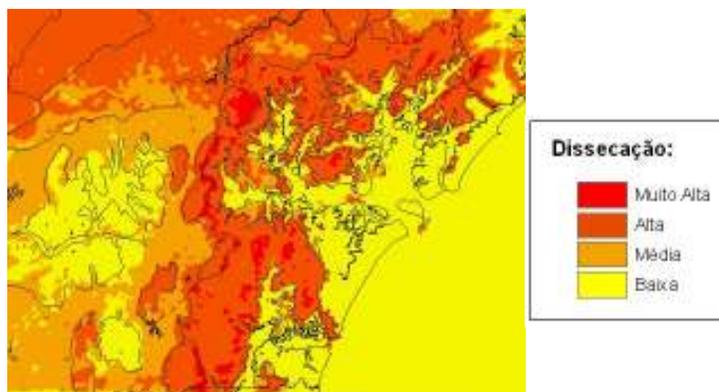


Fig. 9 – Produto da aplicação do ICR com raio 1128m na carta 4E com sobreposição das unidades de dissecação do mapeamento geomorfológico do Paraná.

Na primeira comparação (carta 4E), observou-se a existência de semelhanças visuais entre o resultado obtido e o mapeamento já existente. Nas classes, baixa, média e alta, a aplicação do ICR resultou na localização quase idêntica dos níveis de dissecação, enquanto na classe muito alta, a localização foi aproximada.

Os valores limites das classes de ICR encontrados que possibilitaram a correspondência das classes de dissecação utilizadas no Mapeamento Geomorfológico do Paraná foram:

Tab. 1 – Valores numéricos dos limites das classes de ICR

Classe	Intervalo de Classe (valores de ICR)
Baixa	0 – 580
Média	580 – 1350
Alta	1350 – 4500
Muito Alta	> 4500

A área abrangida pela carta 4E possui transições abruptas no relevo que facilitam a delimitação de subunidades através da fotointerpretação, uma vez que as mesmas ficam destacadas na imagem. Nesse caso, o ICR teve uma porcentagem maior de coincidência nas classes encontradas em relação ao Mapeamento Geomorfológico do Paraná.

A Fig. 10 apresenta o gráfico com a representação da porcentagem de pixels por classe que o ICR encontrou dentro daquilo que no mapeamento paranaense está classificado como dissecação Baixa. O nível de coincidência do ICR foi de 77,81%.

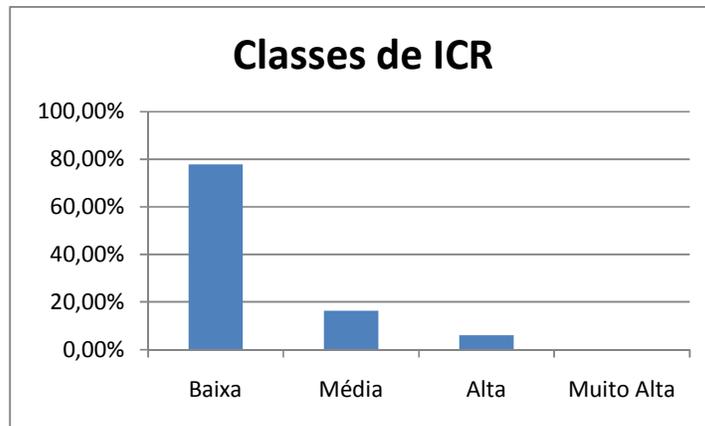


Fig. 10 – Concordância entre a Classe de ICR Baixa e a áreas de dissecação Baixa para carta 4E

Na comparação da classe de dissecação média do mapeamento geomorfológico do Paraná com o ICR de classe média (valores entre 580 e 1350) observou-se uma concordância de 72,44% entre os pixels classificados (Fig. 11), obtendo-se um nível de acerto semelhante ao anterior e também ao da classe alta, onde o referido índice encontrou 75,56% (Fig. 12) de pixels dentro da classe alta.

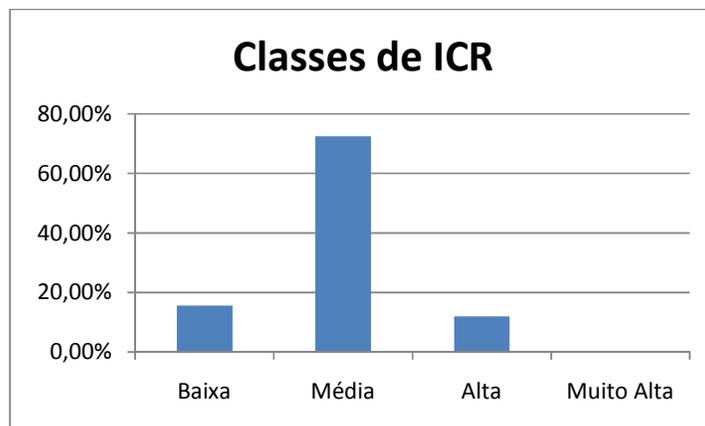


Fig. 11 – Classes de ICR nas áreas de dissecação Média para carta 4E

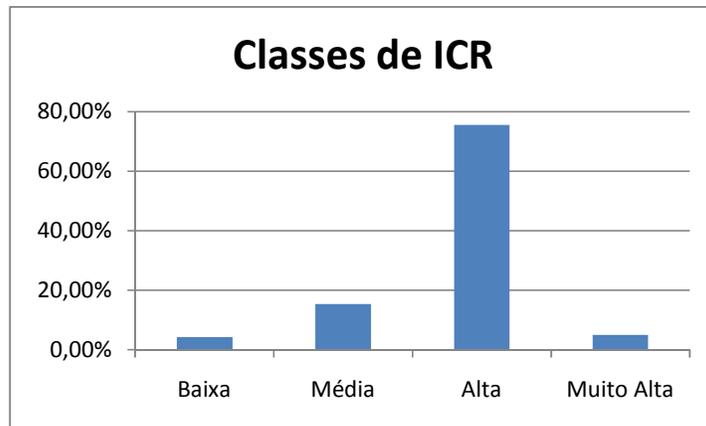


Fig. 12 - Classes de ICR nas áreas de dissecação Alta para carta 4E

As áreas identificadas como de dissecação “Muito Alta” pelo mapeamento paranaense foram as que apresentaram maior discrepância com a classe equivalente de ICR, já que apenas 14,54% dos pixels classificados (Fig. 13) foram coincidentes, observando-se maior relação da classe de ICR muito alta com a classe de dissecação alta no mapeamento do Paraná (75,97%).

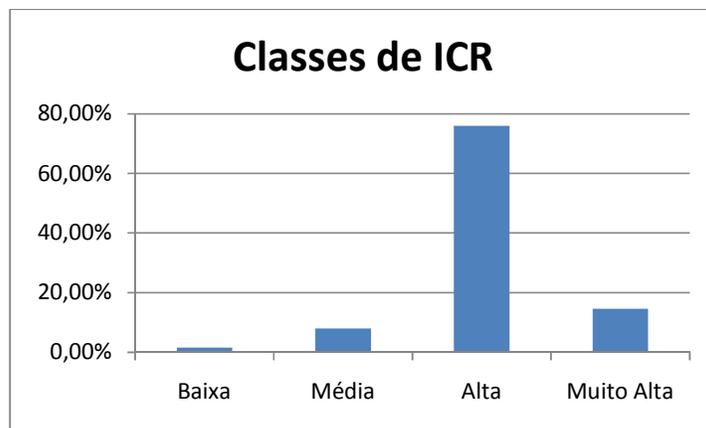


Fig. 13 - Classes de ICR nas áreas de dissecação Muito Alta para carta 4E

A carta 3D (Fig. 14) foi a que apresentou maior diferença entre os valores de ICR e o mapeamento pré-existente (Fig. 15).

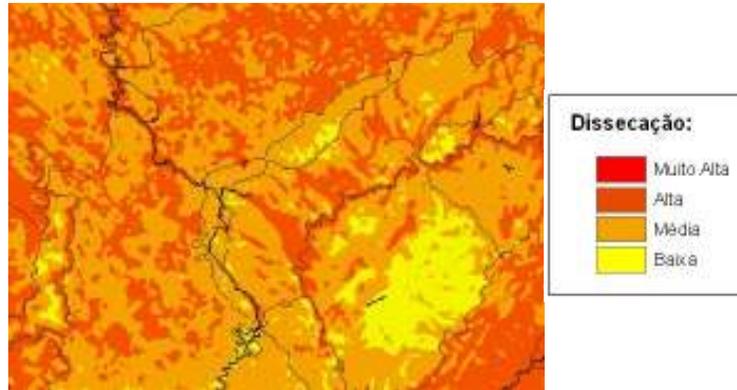


Fig. 14 - Produto da aplicação do ICR com raio 1128m na carta 3D com sobreposição das classes de dissecção do mapeamento paranaense.



Fig. 15 - Classificação da dissecção no Mapeamento Geomorfológico do Paraná para a carta 3D

Analisando a carta 3D, é possível observar que o ICR resultou em um mapeamento de um número maior de pequenas unidades de relevo, as quais não foram consideradas no mapeamento anterior, observando-se uma generalização dos dados.

A generalização em tela pode estar atrelada a diferença metodológica empregada nos dois mapeamentos, uma vez que, enquanto o ICR utiliza-se de padrões repetitivos de declividade, o mapeamento do Paraná utiliza-se de análise de perfis e recorrência da drenagem (entalhamento e dimensão interfluvial – ROSS, 1992).

A Fig. 16 mostra que na carta 3D apenas 13,93% dos pixels classificados como baixa pelo mapeamento tradicional correspondem a classe de ICR equivalente, sendo esta última mais similar a classe média, com concordância de 63,63% dos pixels.

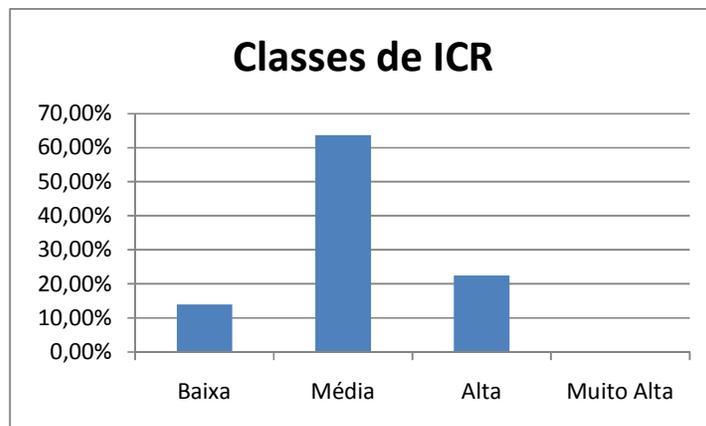


Fig. 16 - Classes de ICR nas áreas de dissecação Baixa para carta 3D

Para a classe média, o ICR atingiu um nível de 55,59% de concordância (Fig. 17), aumentando o valor em relação a classe anterior, sendo que, os outros 12,38% de classe baixa e 32,03% de classe alta encontradas pelo ICR foram agrupadas pelo mapeador dentro da classe média.

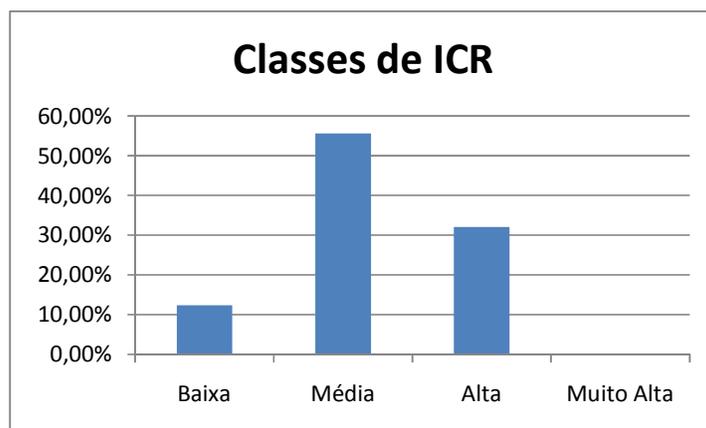


Fig. 17 - Classes de ICR nas áreas de dissecação Média para carta 3D

Na classe Alta, novamente a predominância de pixels encontrada pelo ICR foi o da classe média, com 56,62%, enquanto a classe alta obteve 39,87% de concordância, indicando que nesse caso além da generalização foi feita a inversão na classificação das classes.

Considerando que o raio e valor de classe são os mesmos dos utilizados na carta 4E, pode-se dizer que o Mapeamento Geomorfológico do Paraná não seguiu o mesmo padrão para classificação do relevo em toda a área do Estado do Paraná, apresentando discrepâncias significativas em relação ao ICR, o qual é baseado em valores numéricos fixos.

Em relação ao número de classes observa-se que a quantidade de classes utilizada pela metodologia empregada no Mapeamento Geomorfológico do Paraná mostra-se reduzida não considerando áreas de transições no padrão de dissecação, o que faz com que áreas distintas sejam englobadas em classes mais abrangentes.

O trabalho encontrou as classes e intervalos gerais de ICR não sendo possível encontrar valores plenamente equivalentes para todas as áreas do Mapeamento Geomorfológico do Paraná, uma vez que o mesmo utiliza metodologia distinta e não segue um padrão único de classificação.

A metodologia, proposta por Ross (1992), empregada para a classificação da dissecação do relevo utilizada no mapeamento supracitado possui incongruências, pois segundo Sampaio e Augustin (2008), as classes utilizadas apresentam faixas de sombreamentos, ou seja, um mesmo valor (índice numérico de dissecação) pode ser enquadrado em até três classes distintas, o que foi observado para o mapeamento do Paraná e conflita conceitualmente, com a proposta de índice, uma vez que os valores obtidos permitem diferentes enquadramentos e, conseqüentemente, leituras do fenômeno.

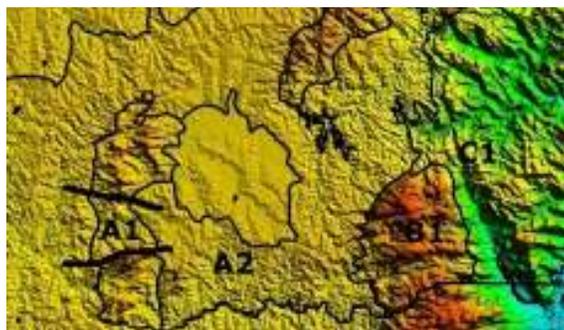


Fig. 18 – Comparação entre duas áreas de geomorfologia semelhante e distintas no mapeamento paranaense

Como exemplo, sita-se no mapeamento geomorfológico do Paraná, as áreas A1 (delimitada) e A2 (Fig. 18) que foram classificadas em classes de dissecação distintas (muito alta e baixa) apesar de apresentar morfologias e valores de ICR similares. Ainda, as áreas A1 e B1 que foram classificadas na mesma classe de dissecação (muito alta), apesar de apresentar morfologia e valores de ICR distintos.

Outro fenômeno observado refere-se ao enquadramento de áreas com maiores valores de entalhamento e dissecação fluvial, ou seja, com maior dissecação (conforme metodologia proposta por ROSS, 1992) em classes inferiores como a exemplo a área C1 (Fig. 18),

classificada como de dissecação alta, enquanto que as áreas A1 e B1 (Fig. 18) foram classificadas como de dissecação muito alta.

Nesse sentido, o Índice de Concentração da Rugosidade mostrou-se metodologicamente viável para auxiliar no mapeamento geomorfológico, adotando padrões numéricos fixos para os diferentes níveis de dissecação do relevo.

Observou-se, ainda, que os processos de generalização empregados durante o mapeamento geomorfológico do Paraná, demandam parâmetros de padronização que possibilitem uma adequação maior do ICR.

4 - CONCLUSÕES

A partir desses resultados conclui-se que o ICR possibilita a identificação de unidades geomorfológicas com valores similares de classes de dissecação daqueles obtidos via emprego da metodologia proposta por Ross (1992), tendo possibilitado a localização de unidades similares às do mapeamento geomorfológico do Paraná, dentro de um espaço curto de tempo e com custo reduzido.

Inferre-se que a partir da definição da largura do raio de abrangência e dos intervalos de classe de ICR definidos nesta pesquisa é possível mapear outras unidades geomorfológicas com similares valores de dissecação do relevo em outras áreas de estudo. Finalmente, conclui-se que o ICR constitui ferramenta interessante na construção de um padrão cartográfico e geomorfológico de representação do relevo.

5 - REFERÊNCIAS

CASSETI, Valter. Geomorfologia. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 22 de março de 2010

FLORENZANO, T. G (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FUSHIMI, M.; NUNES, J. O. R. **Mapeamento Geomorfológico no Município de Presidente Prudente – SP, Brasil..IX** Semana de Geografia. Unesp, Presidente Prudente, 2008. Disponível em: <http://www4.fct.unesp.br/cursos/geografia/CDROM_IXSG/Anais%20-%20PDF/Melina%20Fushimi.pdf> Acesso em: 12 outubro de 2009

HORTON, R.E. (1945) **Erosional development of streams and their drainage basins: hyfrophysical approach to quantitative morphology**. Bulletin of the Geological Society of America 56, 2 75-3 70

INPE - **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais** – Página visitada: <www.inpe.br> - Acesso em: 27 de julho de 2009

LOBÃO, J. S. B. & VALE, R. M. C. **Micro bacias na Região do Parque Estadual de Morro do Chapéu (PEMC): Um Modelo em SIG para Análise Ambiental.** In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, INPE, 2007

NASCIMENTO, E, R. **Padrões de Relevo Como Indicadores de Feições Cársticas na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) - Proposição de Critérios Exploratórios.** Dissertação de Mestrado. UFPR/LAMIR. Curitiba, 2009.

OKA-FIORI C.; SANTOS L. J. C.; CANALI N, E.; FIORI A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA J. M. F.; ROSS J. L. S. 2006. **Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná:** escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:500.000. Curitiba, MINEROPAR, 59p.

RODRIGUES, S. C.; BRITO, J. L. S. **Mapeamento Geomorfológico de Detalhe:** Uma proposta de associação entre o mapeamento tradicional e as novas técnicas em Geoprocessamento. Caminhos de Geografia 1(1)1-6, set/ 2000, Uberlândia-MG. Disponível em: <<http://www.ig.ufu.br/revista/volume01/artigo01>> vol01.pdf Acesso em: 12 de outubro de 2009

ROSS, J. **Geomorfologia ambiente e planejamento.** S. Paulo:Contexto, 1990, 85p.

ROSS, J. L. S. **O registro cartográfico dos Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo,** Rev. do Depto. Geografia, FFLCH-USP, São Paulo, n.6, p.17-29, 1992.

SAMPAIO, T.V.M. **Parâmetros morfométricos para melhoria da acurácia do mapeamento da rede de drenagem –** uma proposta baseada na análise da Bacia Hidrográfica do Rio Benevente – ES. Tese de Doutorado. IGC/UFMG. Belo Horizonte, 2008.

_____. **Índice de Concentração de Rugosidade (ICR):** uma proposta para o mapeamento morfométrico via emprego de Geotecnologias. Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Viçosa-MG, 2009. Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo1/094.pdf> Acesso em 07 abril de 2009

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. **Análise das incongruências dos índices de dissecação e rugosidade.** Anais do VII Encontro Nacional de Geomorfologia. Belo Horizonte, 2008.

SOUZA, Luiz Humberto de Freitas. **Identificação de matacões por meio de sondagem a percussão de simples reconhecimento do subsolo da cidade de Uberlândia (MG).** Caminhos da Geografia (UFU), v. 8, p. 86-95, 2007.

TRICART, J. **Principes et méthodes de l geomorphologie.** Paris:Masson Ed., 1965, 201p.