Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

ANÁLISE DIGITAL DO RELEVO EMPREGADA NO MAPEAMENTO DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS

RICARDO MICHAEL PINHEIRO SILVEIRA[1]
CLAUDINEI TABORDA DA SILVEIRA[2]
CHISATO OKA-FIORI[3]

RESUMO

O reconhecimento, compreensão e delineação das múltiplas variáveis que compõe o meio físico-natural são de grande importância para alicerçar ações de planejamento e gestão ambiental e territorial, sendo o mapeamento geomorfológico um importante instrumento de apoio. A demanda de cartografia geomorfológica é crescente, no entanto o método convencional é um processo oneroso e caro, pois envolve extensos trabalhos de campo. Face essa questão é necessário o avanço de técnicas de inferência espacial, apoiada no avanço das geotecnologias e informática. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo identificar unidades de relevo apoiando-se em técnicas de parametrização do relevo sobre um Modelo Digital de Elevação SRTM90. A identificação e delimitação das unidades geomorfológicas foram obtidas por meio do Índice de Concentração da Rugosidade (ICR) do relevo, pela aplicação do estimador de densidade por Kernel sobre valores de declividade. Foram empregados os atributos topográficos: declividade, hipsometria, orientação de vertentes, plano e perfil de curvatura, na caracterização das unidades mapeadas. A validação do mapa obtido foi realizada pela comparação com as unidades do Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. Obteve-se o índice de concordância entre os mapeamentos de 80%, constatando o grande potencial de aplicação do MDE SRTM e seus subprodutos, aliado às técnicas de SIG e geoprocessamento, aos trabalhos de mapeamento geomorfológico em escala regional.

Palavras-chave: *mapeamento geomorfológico, geomorfometria, SRTM.*

[1] Graduando em Geografia pela Universidade Federal do Paraná. E-mail: ricardomichael@ufpr.br
[2] Professor Adjunto do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Paraná. E-mail: claudineits@ufpr.br
[3] Professora Associada do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Paraná. E-mail: chisato@ufpr.br

DIGITAL TERRAIN ANALYSIS APPLIED TO THE MAPPING OF GEOMORPHOLOGICAL FEATURES

ABSTRACT

The recognition, comprehension and delineation of the multiple variables that composes the physical and natural environment are of great importance to underpin planning actions and environmental and territorial management, being the geomorphological mapping an important means of support. The demand of cartography geomorphological is increasing, however the conventional method is very costly and expensive because it involves extensive work in the field. In view of this question is necessary to advance techniques for spatial inference, supported the advancement of computers and geotechnology. Accordingly, this study aims to identify terrain features based on techniques of parameterization of terrain on a Digital Elevation Model SRTM90. The identification and delineation of geomorphological features were obtained by the Roughness Concentration Index (RCI) of terrain, by applying the Kernel density estimator for values of slope. Were used topographic attributes: slope, hypsometry, aspect, plan and profile curvature, for the characterization of the features mapped. The validity of the map obtained was performed by comparison with the units of Geomorfological Mapping of the state of Paraná. Obtained the level of agreement between the maps of 80%, noting the great potential of the SRTM DEM and its subproducts, associate with GIS techniques and geoprocessing, for geomorphological mapping works on a regional scale.

Keywords: *geomorphological mapping, geomorphometry, SRTM.*

1 INTRODUÇÃO

O mapeamento geomorfológico se constitui em importante instrumento na espacialização dos fatos geomorfológicos, permitindo representar a gênese das formas do relevo e suas relações com a estrutura e processos, bem como com a própria dinâmica dos processos, considerando suas particularidades (CASSETI, 2001).

Para Tricart (1965), o mapa geomorfológico refere-se à base da pesquisa e não à concretização gráfica da pesquisa realizada, o que demonstra seu significado para melhor compreensão das relações espaciais, sintetizadas através dos compartimentos, permitindo abordagens de interesse geográfico como a vulnerabilidade e a potencialidade dos recursos do relevo.

Entretanto, o relevo apresenta uma diversidade de formas e de processos que associados principalmente às características geológicas e climáticas predominantes, torna complexa a tarefa de representá-lo em um único documento. Pode-se associar a estas dificuldades, os diferentes procedimentos técnicos, a escala de trabalho e o objetivo do pesquisador (Cunha *et al*, 2003).

Além disso, como lembra Florenzano (2008), devido a essa complexidade e variedade dos objetos estudados pela Geomorfologia, não há um método unificado internacional de mapeamento geomorfológico como ocorre com as cartas geológicas. Para a autora o mapa geomorfológico é, ao mesmo tempo, fonte de informação e um instrumento dela. É, portanto, um instrumento de análise e síntese.

No entanto, são várias as limitações na aquisição dessas informações, dada a complexidade que norteia à elaboração de um mapeamento geomorfológico, somado no Brasil a grande extensão de áreas a serem mapeadas e a dificuldade de acesso em alguns lugares, elevado custo dos levantamentos, carência de base cartográfica de qualidade e em escala adequada, ausência de levantamentos aerofotogramétricos, etc.

Devido ao desenvolvimento das geotecnologias nas últimas décadas, faz-se necessário buscar novas alternativas que dêem suporte à identificação e caracterização de unidades homogêneas do relevo apoiadas em técnicas de inferência espacial.

Os atuais avanços e desenvolvimento no campo da informática potencializam o emprego de técnicas digitais em trabalho de mapeamento, modelagem de dados espaciais em sistemas de informações geográficas (SIG). Aliado a essa questão, recentes coletas de dados topográficos obtidos por sensores orbitais favorece a obtenção de Modelos Digitais de Elevação (MDE) em escala mundial. Segundo Vidal-Torrado *et al*. (2005) os MDEs possibilitam a análise topográfica de uma zona de interesse, assim como o cálculo automatizado de uma série de variáveis relacionadas.

Nesse âmbito surge a geomorfometria, também conhecida como análise digital do terreno, geomorfologia quantitativa ou modelagem digital do terreno, que segundo Mark (1975) e Pike (2000) é uma sub-disciplina da geomorfologia que tenta

descrever quantitativamente as formas da superfície da Terra pelo uso conjunto de matemáticas, engenharia, ciências da Terra e da computação.

Para Evans (1972), a geomorfometria pode ser dividida em: (i) geomorfometria específica, que se ocupa das geoformas com características particulares, como canais de córregos ou colinas, que podem ser separadas das geoformas adjacentes e estão estreitamente vinculadas a processos específicos; e (ii) geomorfometria geral, que trata da medição e análise das geoformas comuns a qualquer superfície rugosa contínua, em que todas suas variáveis podem ser definidas a partir da altitude. Esta última abordagem proporciona as bases para comparação quantitativa entre ambientes qualitativamente diferentes, caso do presente trabalho.

De acordo com Franklin e Peddle (1987), cinco parâmetros básicos pertencem à parametrização do relevo: i) elevação, cujo gradiente topográfico representa a taxa de mudança da altitude com relação aos eixos X (linhas) e Y (colunas), ii) declividade, sendo um ponto do terreno definido através do ângulo entre o vetor normal a uma superfície e um na vertical no mesmo ponto, iii) orientação, formada por um ângulo existente entre o vetor direcionado ao norte e outro projetado horizontalmente na superfície do mesmo ponto, iv) curvatura, define-se como a taxa de mudança de declividade num determinado ponto derivada da altitude, ou seja, é a mudança de declividade entorno de um ponto, representada pela concavidade/convexidade do relevo, v) rugosidade, distinguindo áreas uniformes de terrenos rugosos, há diversos métodos para obter medidas de rugosidade, sendo aconselhável obter-se de forma independente dos outros parâmetros, assim reduz-se informação redundante.

Frente ao exposto, o objetivo deste trabalho é delimitar unidades geomorfológicas a partir da análise digital do relevo, com o apoio de atributos topográficos obtidos de um Modelo Digital do Terreno (MDT), visando desenvolver técnicas que ofereçam suporte aos trabalhos de mapeamento geomorfológico com maior rapidez e reduzam os custos dos levantamentos.

Sua justificativa é de que oferece valioso apoio para trabalhos de cartografia geomorfológica, oferecendo limites preliminares nas etapas de mapeamento geomorfológico, uma demanda que é crescente no Brasil dada a relevância de seu emprego no planejamento ambiental, mas atualmente apresenta lacuna.

www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

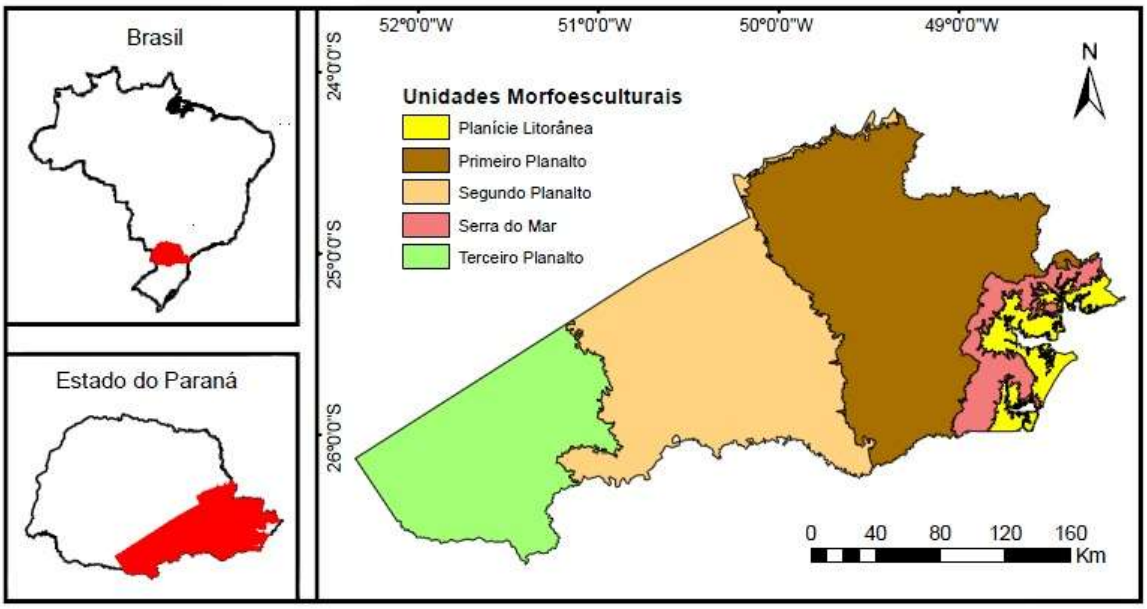
Dessa forma, a proposta apresentada tem o intuito de identificar unidades homogêneas do relevo de forma automatizada a partir de técnicas de geomorfometria para uma área representativa do estado do Paraná e faz a validação das unidades mapeadas comparando-as com o Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná de Oka-Fiori et al. (2006) e Santos et al. (2006).

2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende os compartimentos geomorfológicos Planície Litorânea, Serra do Mar, Primeiro Planalto e parte do Segundo e Terceiro Planaltos Paranaenses (figura 1).

O limite de recorte da área de estudo foi definido por contemplar todos os grandes compartimentos geomorfológicos do Paraná e por conter a zona de influência do conjunto de falhas de idade Proterozóica em território paranaense, objeto de estudo do Projeto Falhas (UFPR/Petrobras).

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.



3 METODOLOGIA

Inicialmente foi feita a aquisição do Modelo Digital de Elevação (MDE), optando-se pelas imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 90 metros.

A partir do MDE foram gerados os atributos topográficos do relevo, sendo: declividade, plano e perfil de curvatura e orientação das vertentes. A declividade foi considerada atributo topográfico elementar, e as demais variáveis (plano e perfil de curvatura, orientação das vertentes e a própria hipsometria), a fim de melhor caracterizar as unidades geomorfológicas delimitadas, como atributos topográficos auxiliares.

Os intervalos selecionados para a declividade seguem a proposta de EMBRAPA (2006), sendo: a) valores inferiores a 3% - relevo plano; b) entre 3 a 8% - relevo suave ondulado; c) 8 a 20% - relevo ondulado; d) 20 a 45% - relevo forte ondulado; e) 45 a 75% - relevo montanhoso; f) superior a 75% - relevo escarpado.

A declividade, portanto, foi o atributo topográfico utilizado para identificar as unidades homogêneas do relevo. A matriz resultante da declividade foi convertida para uma malha de pontos, seguida da aplicação do estimador geoestatístico de densidade por Kernel (*Kernel Estamation*) de acordo com proposta desenvolvida por Sampaio (2008). O estimador por Kernel é uma ferramenta de análise espacial para processos espaciais de primeira ordem, ou seja, permite a análise da dispersão ou concentração de um dado fenômeno no espaço, sendo neste caso analisado a declividade.

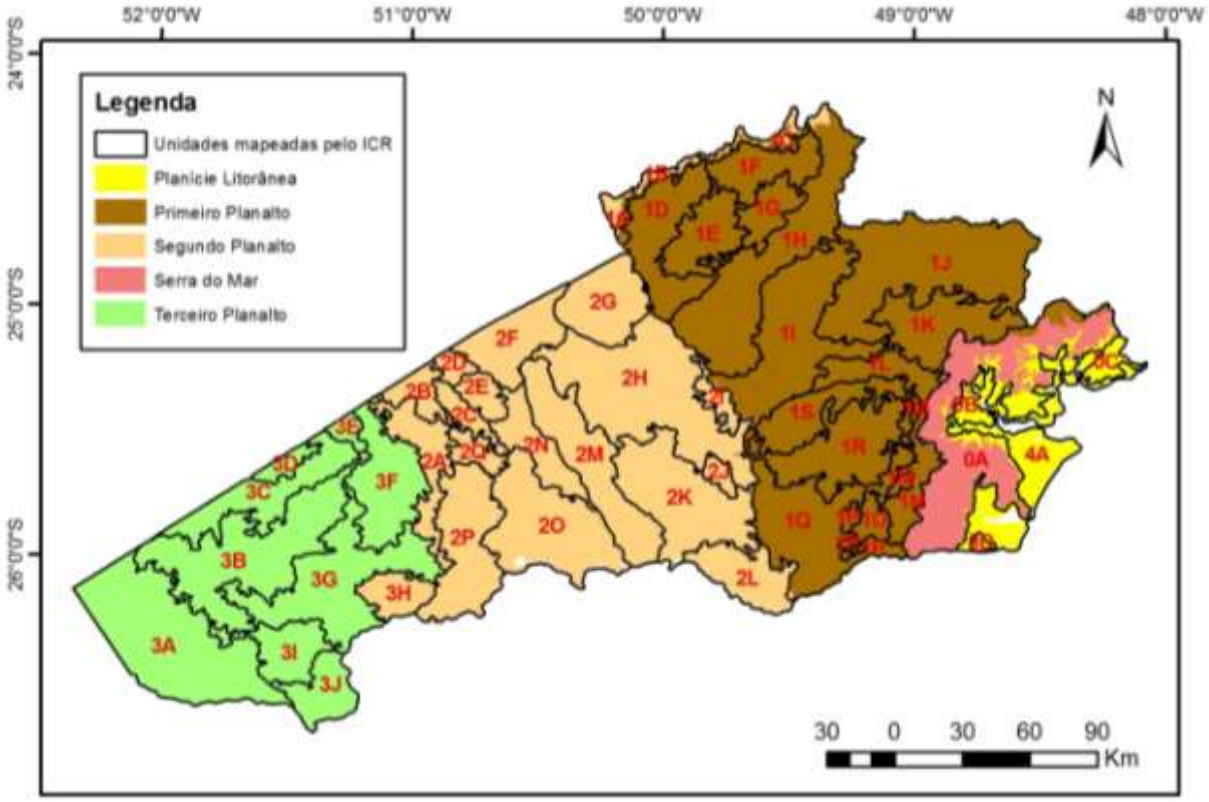
Para a aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) do relevo, proposta elaborada por Sampaio (2008), é necessário definir o raio de abrangência do estimador Kernel, que define a área centrada no ponto de estimação e que indica quantos eventos contribuem para a estimativa da função intensidade. A definição do raio, portanto, está diretamente relacionada com a área e a escala de trabalho. Nesse sentido, após vários testes com diferentes valores e experiências encontradas na literatura, como em Souza (2009) e em Sampaio (2008), a partir de estudos de Horton (1945) sobre medida indireta da sinuosidade do relevo, optou-se pela adoção do raio de 1128 metros.

www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

A matriz resultante da aplicação do ICR foi discretizada em cinco classes distribuídas em quantis e recebeu as denominações de Muito Baixa, Baixa, Média, Forte e Muito Forte, conforme Sampaio (2008) e analogamente às classes de dissecação do relevo propostas pelo IBGE (1995) e por Ross (1992), para as quais também são utilizadas cinco classes. A partir dessa organização da matriz, as unidades geomorfológicas foram delimitadas.

A classificação das unidades mapeadas se limitou a codificá-las, não atribuindo nomenclatura específica como no Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. Dessa forma, para cada unidade morfoescultural foi atribuído um número (Serra do Mar: 0; Primeiro Planalto: 1; Segundo Planalto: 2; Terceiro Planalto: 3; e Planície Litorânea: 4) seguido de uma letra para cada subunidade morfoescultural, em sentido horário (figura 2).

FIGURA 2 – NOMENCLATURA DAS NOVAS UNIDADES MAPEADAS



A validação das unidades mapeadas de forma automatizada pelo ICR foi realizada pela comparação com as unidades do Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná de OKA-FIORI *et al*. (2006) e SANTOS *et al*. (2006), por meio de uma Matriz de Confusão, também conhecida como Matriz de Erros.

A Matriz de Confusão permitiu o cálculo do percentual de concordância entre os dois mapeamentos realizados pelo valor da exatidão global. Também foi possível avaliar quanto determinada unidade foi subestimada ou superestimada, pois os erros de omissão descrevem a acurácia que determinada classe de um mapa foi definida, enquanto a taxa de erros de inclusão indica quanto uma classe foi superestimada.

Os erros de inclusão correspondem aos pixels que mesmo pertencendo à outra classe foram incluídos na classe mapeada, conforme a equação 1:

$$Ein(i) = \frac{SC(i) - M(i,i)}{SC(i)} \qquad \text{equação 1}$$

Onde:

Ein(i) significa o erro de inclusão;

SC(i) é a soma parcial da coluna *i* da matriz de erros;

M(i,i) são os elementos da diagonal da linha *i* da matriz de erros.

Os erros de omissão, por sua vez, são pixels que pertencem a classe que se deseja mapear, mas que foram erroneamente classificados como sendo de outra, ou seja, foram omitidos da classe, como mostra a equação 2:

$$Eom(i) = \frac{SL(i) - M(i,i)}{SL(i)} \qquad \text{equação 2}$$

Onde:

Eom(i) significa o erro de omissão;

SL(i) é a soma parcial da linha *i* da matriz de erros;

M(i,i) são os elementos da diagonal da linha *i* da matriz de erros.

Já a exatidão global, valor que definirá a concordância entre os mapeamentos, é definida computando o número de pixels corretamente classificados, conforme equação 3:

$$EG = \frac{nc}{nt}$$ equação 3

Onde:

nc corresponde ao número de pixels corretamente classificados;

nt ao número de pixels total da matriz.

Para estipular os valores da matriz, os arquivos vetoriais contendo os polígonos das unidades delimitadas por ambos os mapeamentos foram transformados em arquivos matriciais para, a partir do número de *pixels*, ser feita a comparação direta entre eles.

Porém, devido ao número divergente de unidades delimitadas em ambos os mapeamentos para a área em questão (50 polígonos pelo ICR e 24 polígonos pelo Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná) uma nova classificação foi feita, de modo que houvesse equivalência entre todas as unidades para empregar a matriz de confusão, ou seja, para cada polígono do Mapeamento Geomorfológico do Paraná há um polígono do ICR correspondente. Dessa forma, muitas unidades mapeadas pelo ICR foram agrupadas e receberam uma nova nomenclatura, segundo apresentado no quadro 1.

www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

QUADRO 1 – RECLASSIFICAÇÃO DAS UNIDADES MAPEADAS

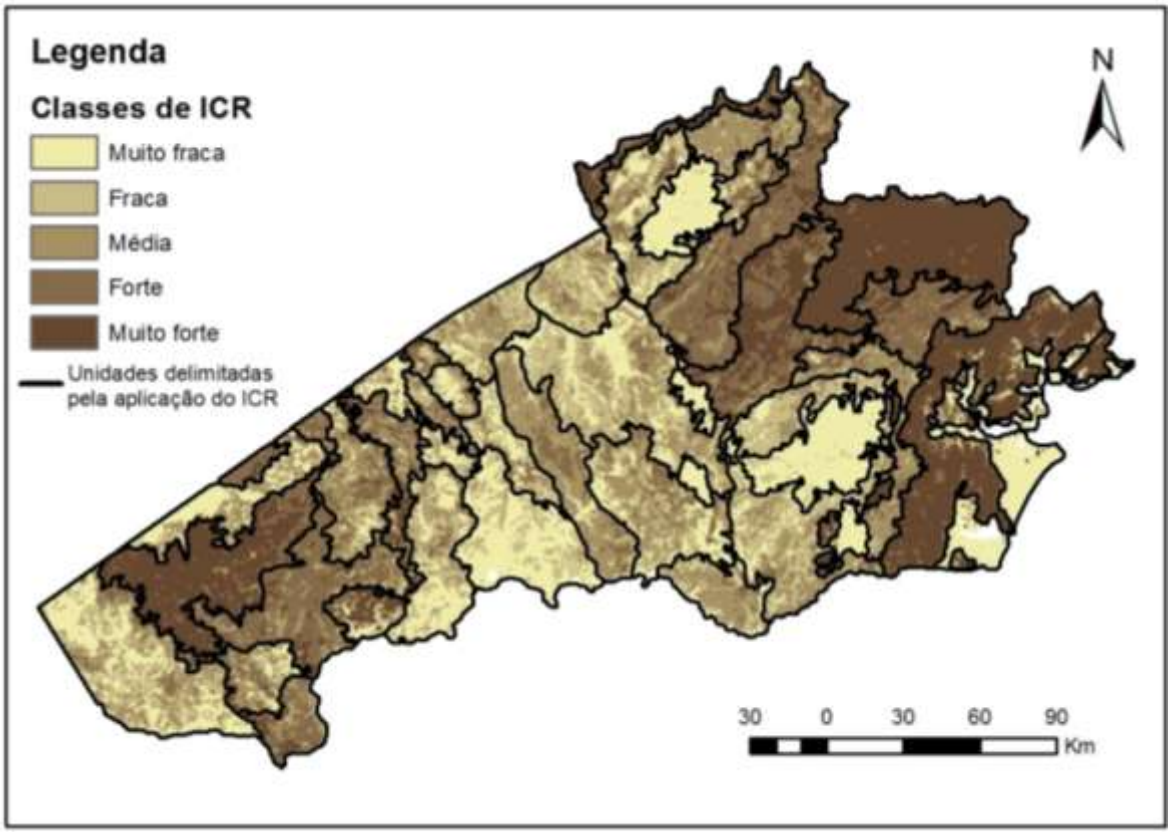
UNIDADES MORFOESCULTURAIS	SUB-UNIDADES MORFOESCULTURAIS		NOVA NOMENCLATURA
	Mapeamento Geomorfológico do Paraná	ICR	
Serra do Mar (0)	Serra do Mar Paranaense	0A	0A
	Rampas de Pré-Serra e Serras Isoladas	0B	0B
	Morros Isolados Costeiros	0C	0C
		0D	
Primeiro Planalto Paranaense (1)	Planalto de Castro	1A	1A
		1B	
		1D	
		1E	
	Planalto de Alto Jaguariaiva	1C	1B
		1F	
		1G	
	Planalto Dissecado do Alto Ribeira	1H	1C
		1I	
	Planalto Dissecado de Adrianópolis	1J	1D
	Planalto Dissecado de Tunas do Paraná	1L	1E
		1K	
	Planalto de Curitiba	1N	1F
		1Q	
		1S	
	Planalto do Alto Iguaçu	1O	1G
		1R	
	Blocos Soerguidos do Primeiro Planalto Paranaense	1M	1H
		1P	
Segundo Planalto Paranaense(2)	Planaltos Residuais da Formação Serra Geral	2A	2A
		3H	
	Planalto de Prudentópolis	2B	2B
		2P	
		2Q	
	Planalto de Irati	2C	2C
	Planaltos Residuais da Formação Teresina	2D	2D
		2E	
	Planalto de São Mateus do Sul	2O	2E
	Planalto de Guatá	2L	2F
		2M	
	Planalto de Ponta Grossa	2F	2G
		2G	
		2H	
		2J	
		2K	
		2N	
	Planalto de São Luiz do Purunã	2I	2H
Terceiro Planalto Paranaense (3)	Planalto de Palmas / Guarapuava	3A	3A
		3C	
	Planalto de Clevelândia	3I	3B
	Planalto do Foz do Areia	3B	3C
		3D	
		3E	
		3G	
		3J	
	Planalto Pitanga / Ivaiporã	3F	3D
Planícies (4)	Planície Litorânea e Planícies Fluvio-Marinhas	4A	4A

www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a aplicação do ICR foram identificadas 50 unidades geomorfológicas para a área de estudo (figura 3), que contempla 27,2% da área total do Estado do Paraná. No Mapeamento Geomorfológico de OKA-FIORI *et al*. (2006) e SANTOS *et al*. (2006), também foram delimitadas 50 unidades geomorfológicas, designadas como subunidades morfoesculturais, mas para todo o território paranaense. Isso demonstra, inicialmente, que a metodologia empregada tende a detalhar algumas feições do relevo generalizadas nos mapeamentos geomorfológicos convencionais.

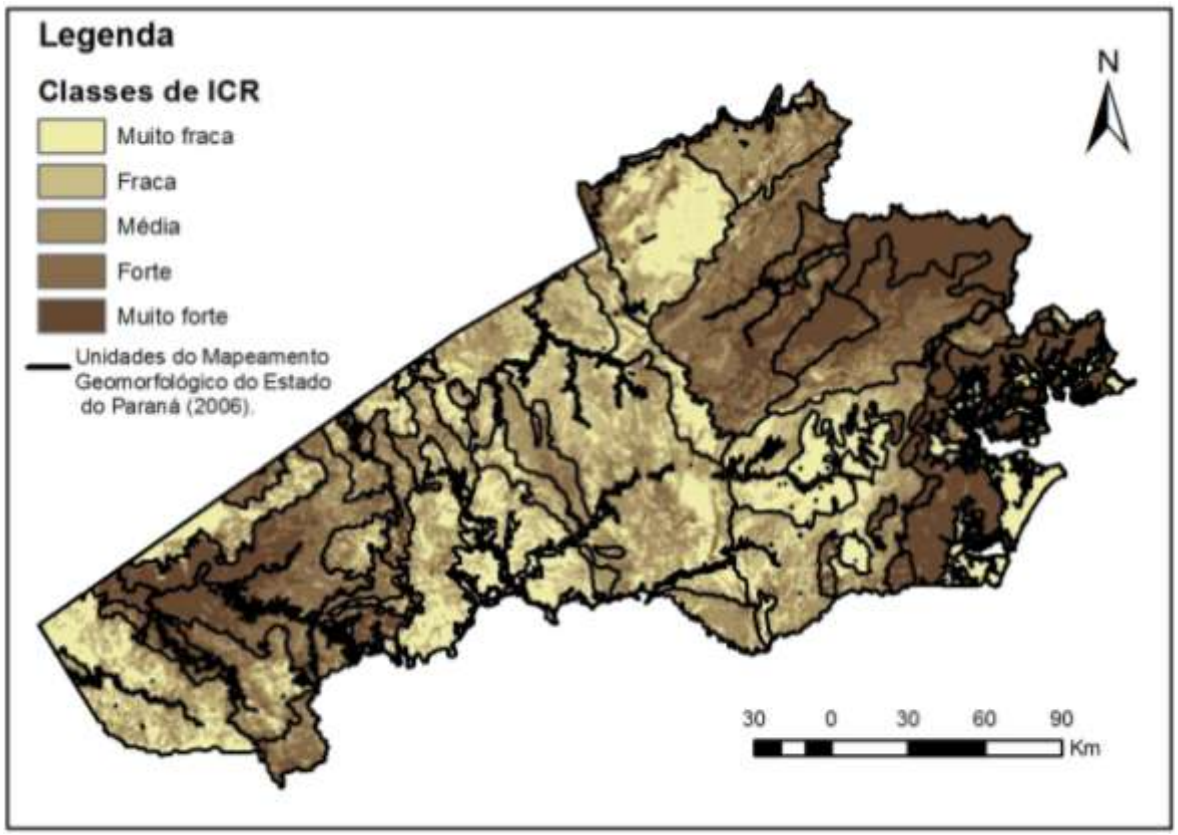
FIGURA 3 – MAPA DA MATRIZ RESULTANTE DA APLICAÇÃO ICR E NOVAS UNIDADES DELIMITADAS



Para efeitos de análise visual e comparação preliminar, a figura 4 representa a matriz resultante do estimador Kernel, de acordo com a metodologia do ICR, e os polígonos das subunidades morfoesculturais do Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná de OKA-FIORI *et al*. (2006) e SANTOS *et al*. (2006), sobrepostos.

www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

FIGURA 4 – MAPA DA MATRIZ RESULTANTE DA APLICAÇÃO ICR E UNIDADES DELIMITADAS PELO MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DO PARANÁ (OKA-FIORI *ET AL.,* 2006)



Para a validação dessas unidades mapeadas de forma automatizada foi criada uma tabela contendo todas as variáveis topográficas utilizadas (declividade, plano e perfil de curvatura, orientação das vertentes e hipsometria) a fim de caracterizar a homogeneidade do relevo por parâmetros quantitativos, destacando a predominância de determinadas classes, representadas em porcentagem, sob determinada unidade geomorfológica, como demonstram os quadros 2, 3 e 4.

www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

QUADRO 2 - ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS DERIVADOS: DECLIVIDADE

UNIDADE MORFOESTRUTURAL	UNIDADE MORFOESCULTURAL	SUB-UNIDADE MORFOESCULTURAL	DECLIVIDADE (%)					
			<3	3-8	8-20	20-45	45-75	>75
Cinturão Orogênico do Atlântico Sul	Serra do Mar (0)	0A	3,97	8,26	23	48,34	14,69	1,74
		0B	16,13	23,75	31,25	27,68	1,19	-
		0C	8,63	11,58	18,93	44,87	15,23	0,76
		0D	9	20,88	31,25	36,02	2,88	-
	Primeiro Planalto Paranaense (1)	1A	2,65	12,46	38	39,78	7,13	0,04
		1B	4,19	19,61	43,25	28,51	4,33	0,1
		1C	3,44	16,43	40,1	32,92	6,36	0,75
		1D	8,55	34,5	50,42	6,45	0,08	-
		1E	31,78	49,58	18,43	0,21	-	-
		1F	4,63	21,64	59,62	14,06	0,05	-
		1G	4,82	22,77	49,82	20,49	2	-
		1H	1,95	10,4	42,72	43,23	1,7	-
		1I	1,34	7,27	32,35	53,05	5,93	0,06
		1J	0,66	3,27	16,24	56,6	22,5	0,73
		1K	2,05	9,32	38,65	47,65	2,32	-
		1L	4,43	19,69	54,45	21,25	0,18	-
		1M	0,58	3,92	24,12	60,37	10,68	0,33
		1N	3,64	18,29	56,33	21,57	0,17	-
		1O	35,16	45,12	19,37	0,35	-	-
		1P	3,07	14,62	44,83	35	2,48	-
		1Q	7,36	31,85	53,32	7,42	0,05	-
		1R	29,28	49,7	20,74	0,28	-	-
		1S	8,64	35,69	52,09	3,55	-	-
Bacia Sedimentar do Paraná	Segundo Planalto Paranaense(2)	2A	3,1	16,24	50	28,42	2,2	0,04
		2B	12,37	44,35	40,04	3,21	0,03	-
		2C	4,58	24,13	55,14	16,09	0,06	-
		2D	5,27	26	49,9	18,1	0,73	-
		2E	9	37,79	47,5	5,63	0,08	-
		2F	8,85	36,07	51,2	3,87	0,004	-
		2G	9,05	40,39	46,27	4,24	0,05	-
		2H	12,09	41,14	43,27	3,42	0,07	0,01
		2I	23,58	55	18,55	2,49	0,38	-
		2J	23,7	65,86	10,42	0,02	-	-
		2K	10,48	34,98	47,09	7,39	0,06	-
		2L	7,17	32,4	52,2	8,11	0,12	-
		2M	7,18	25,02	57,86	10	0,03	-
		2N	9,68	41	45,34	3,96	0,01	-
		2O	21,34	47,97	29,72	0,9	-	-
		2P	12,71	40,52	42,77	4	-	-
		2Q	12,9	40,58	43,2	3,32	-	-
	Terceiro Planalto Paranaense (3)	3A	11,51	41,43	40,72	2,27	0,07	-
		3B	2,35	7,8	27,4	51,67	10,56	0,22
		3C	14,19	42,72	34,79	8,25	0,05	-
		3D	3,51	16,56	43,02	36,1	0,9	-
		3E	4,96	19,65	48,43	26,67	0,28	-
		3F	7,19	26,6	47,67	17,36	1,15	0,03
		3G	4,56	17,09	46,22	31,11	1	0,02
		3H	11,49	20,35	36,51	27,07	4,5	0,08
		3I	8,26	28,75	45,07	17,52	0,4	-
		3J	4,68	18,1	46,94	29,47	0,9	-
	Planícies (4)	4A	56,04	36,39	5,49	1,96	0,12	-

www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

QUADRO 3 - PLANO DE CURVATURA, PERFIL DE CURVATURA E HIPSOMETRIA

SUB-UNIDADE MORFOESCULTURAL	PLANO			PERFIL			HIPSOMETRIA		
	CONV.	DIV.	PLANAR	CÔNC.	CONV.	RETIL.	ALT. MÍN.	ALT. MÁX.	△
0A	42,53	47,34	10,13	40,14	51,37	8,49	0	1833	1833
0B	34,71	44,21	21,08	34,91	51,04	14,05	0	384	384
0C	40,92	46,1	12,98	38,88	51,56	9,56	0	1051	1051
0D	38,24	46,64	15,12	37,69	51,32	10,99	0	483	483
1A	42,69	46,6	10,71	46,12	45,42	8,46	808	1282	474
1B	41,53	44,73	13,74	44,91	44,32	10,77	990	1293	303
1C	42,1	45,17	12,3	44,01	45,76	10,23	740	1350	610
1D	38,69	41,65	19,66	41,2	43,58	15,22	881	1357	476
1E	30,83	32,77	36,4	36,45	38,7	24,85	969	1078	109
1F	40,81	45,1	14,08	43,06	46,14	10,8	859	1240	381
1G	40,99	45,12	13,89	42,53	46,56	10,91	738	1320	582
1H	43,39	47,89	8,71	45,01	48,07	6,92	448	1214	766
1I	43,65	49,15	7,2	44,78	49,37	5,85	267	1234	967
1J	44,62	50,01	5,37	45,31	49,8	4,89	79	1306	1227
1K	42,69	49,22	8,09	44,21	49,62	6,17	466	1498	1032
1L	41,32	45,82	12,86	42,55	47,95	9,5	778	1220	442
1M	43,65	49,52	6,83	42,66	5,11	6,23	822	1416	594
1N	41,38	46,98	11,64	42,83	48,39	8,78	685	1100	415
1O	29,57	32,71	37,72	35,81	39,28	24,91	879	993	114
1P	41,15	46,72	12,12	41,75	48,38	9,87	824	1242	418
1Q	39,19	43,15	17,66	41,45	45,13	13,42	785	1109	324
1R	31,46	34,09	34,45	36,71	39,75	23,54	853	1009	156
1S	38,8	41,6	19,6	41,41	43,59	15	839	1118	279
2A	41,91	45,3	12,79	42,89	46,96	10,15	750	1269	519
2B	36,44	39,29	24,26	38,82	42,64	18,54	742	931	189
2C	41,12	43,37	15,51	41,69	46,01	12,3	752	1019	267
2D	39,7	43,48	16,82	41,41	44,94	13,65	745	1087	342
2E	37,59	40,37	22,03	40,15	42,58	17,27	794	1012	218
2F	37,58	39,72	22,7	40,46	41,39	18,15	755	1010	255
2G	37,31	39,03	23,66	4,58	40,07	19,35	768	1196	428
2H	36,4	38,26	25,34	39,77	40,31	19,92	769	1187	418
2I	32,88	34,01	33,11	38,73	36,97	24,3	914	1200	286
2J	31,74	32,95	35,31	36,04	37,26	26,7	854	957	103
2K	37,58	39,99	22,43	40,54	42,26	17,2	763	1025	262
2L	38,8	41,48	19,72	41,43	43,28	15,29	767	1010	243
2M	38,93	41,58	19,49	42,09	15,12	42,79	761	1022	261
2N	37,45	39,29	23,26	39,66	41,74	18,6	766	1019	253
2O	33,79	36,14	30,07	37,81	40,51	21,68	739	976	237
2P	37,07	23,82	39,11	39,4	42,66	17,94	725	1052	327
2Q	37	39,73	23,27	38,86	43,81	17,33	766	903	137
3A	36,37	40,27	23,36	39,26	42,81	17,93	610	1366	756
3B	42,17	46,75	11,08	42,91	48,87	8,22	574	1357	783
3C	36,25	39,36	24,39	40,18	41,84	17,98	602	1365	763
3D	40,92	44,83	14,25	43,29	46,2	10,51	884	1308	424
3E	39,48	44,35	16,17	40,96	46,78	12,26	1011	1349	338
3F	39,24	43,26	17,5	42,3	44,69	13,01	822	1321	499
3G	40,89	44,59	14,52	42,51	46,73	10,76	670	1273	603
3H	38,37	43,02	18,61	40,12	46,82	13,06	722	1142	420
3I	38,38	43,82	17,8	40,81	46,09	13,1	913	1313	400
3J	39,9	45,45	15,65	42,03	47,13	10,84	864	1374	510
4A	25,47	27,92	46,61	34,56	38,12	27,32	0	203	203

www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

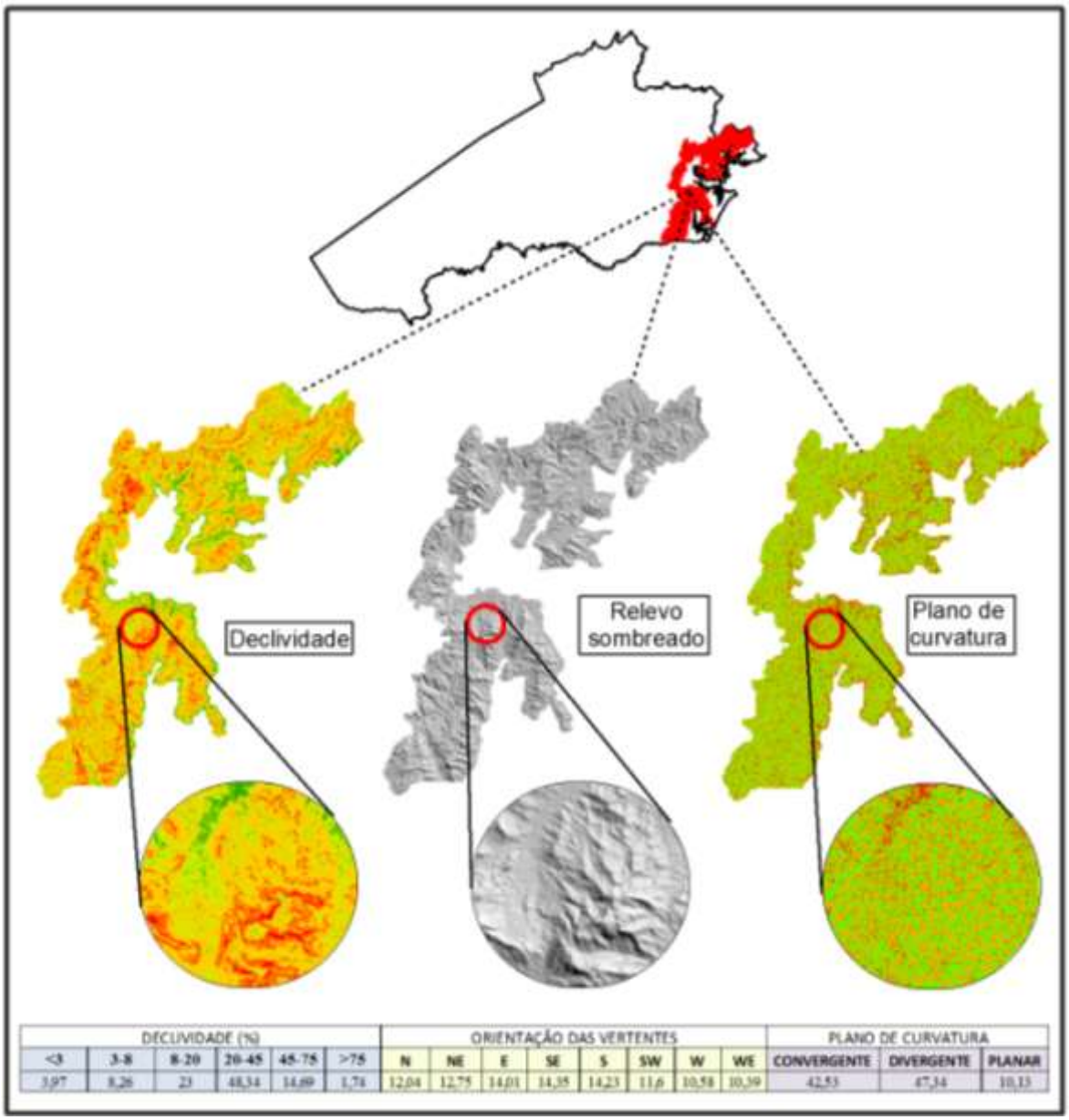
QUADRO 4 - ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES

SUB-UNIDADE MORFOESCULTURAL	ORIENTAÇÃO								ÁREA (Km²) Total: 54.511
	N	NE	E	SE	S	SW	W	WE	
0A	12,04	12,75	14,01	14,35	14,23	11,6	10,58	10,39	3459
0B	12,82	14,72	13,64	12,72	14,06	13,05	10,24	8,71	194
0C	1,55	8,06	8,56	13,43	14,2	12,58	13,93	16,36	209
0D									50
1A	12,16	20,87	13,93	9,13	12,36	15,79	9,14	6,59	174
1B	9,22	16,33	17,49	7,55	14,27	18,81	9,63	6,67	136
1C	10,32	12,16	15,86	12,97	12,56	13,19	12,12	10,79	256
1D	12,23	13,38	13,3	11,36	11,88	13,27	13,15	11,38	1349
1E	15,82	14,97	11,77	10,2	10,81	11,98	11,75	12,66	822
1F	12,12	12,56	13,37	11,39	11,03	12,19	14,15	13,15	792
1G	10,64	12,08	14,49	13	12,12	12,2	13,32	12,1	484
1H	12,48	13,41	13,85	13,03	12,49	11,78	11,46	11,46	2522
1I	14,39	13,35	11,79	11,36	12,01	11,9	12,19	12,98	2233
1J	14,59	13,62	12,55	11,38	11,12	11,13	12,28	13,3	2990
1K	12,97	12,8	13,41	12,41	12,13	11,62	12,32	12,3	1199
1L	13,85	12,74	12,19	11,84	13,55	12,03	11,38	12,39	582
1M	11,47	13,66	15,02	13,05	12,03	11,14	12,07	11,52	98
1N	12,68	13,72	14,43	12,36	11,31	11,84	12,26	11,34	507
1O	15,06	14,16	13,19	9,56	8,69	12,18	14,48	12,63	214
1P	14,19	11,42	11,5	14,83	13,8	10,67	10,46	13,09	117
1Q	11,45	11,4	13,38	12,14	11,38	12,44	14,91	12,87	2032
1R	13,92	13,25	13,3	11,35	10,27	11,79	13,55	12,53	1456
1S	11,27	11,53	13,47	13,09	12,56	12,97	13,5	11,58	885
2A	13,78	14,67	15,96	11,38	9,07	9,75	12,72	12,63	834
2B	12,12	13,02	15,26	10,73	9,22	11,34	15,02	13,25	338
2C	13,2	12,04	10,72	9,65	12,3	14,51	14,76	12,78	294
2D	8,29	12,72	10,03	9,13	12,62	14,5	13,48	12,76	174
2E	13,06	11,85	11,85	12,7	10,91	10,86	13,48	12,91	296
2F	13,21	12,41	13,81	11,91	10,36	11,13	13,59	13,54	960
2G	12,32	11,55	10,93	9,82	11,92	14,77	15,12	13,53	1033
2H	12,99	11,46	11,76	10,61	11,15	13,23	15,1	13,65	2989
2I	10,97	8,27	7,71	10,48	14,61	18,58	16,82	12,52	245
2J	12,95	12,15	15,55	11,88	6,96	9,42	15,71	15,33	146
2K	11,75	11,64	13,8	11,55	10,79	12,95	14,82	12,66	1866
2L	11,39	10,97	12,48	11,11	10,49	13,08	16,9	13,54	810
2M	13,65	11,8	12,2	11,48	11,82	12,17	13,44	13,4	1594
2N	12,42	12,28	14,13	11,29	9,18	11,4	15,55	13,72	691
2O	13,2	11,08	11,35	11,67	12,36	13,37	13,97	12,95	1871
2P	12,31	11,94	14,49	12,1	11,01	11,48	13,67	12,96	1474
2Q	12,96	12,76	13,37	10,52	10,58	11,89	14,53	13,85	305
3A	14,41	12,86	11,58	10,23	10,83	12,27	13,77	14	2789
3B	13,44	12,64	11,85	12,13	13,93	12,41	11,64	11,9	2458
3C	14,9	12,2	9,89	9,84	11,66	12,53	14,16	14,78	1099
3D	16,68	12,96	9,31	8,08	10,44	14,01	13,95	14,54	195
3E	14,3	15,45	14,6	9,71	9,06	11,54	13,73	11,8	149
3F	13,62	12,37	11,71	11,38	12,23	12,61	13,08	12,96	1254
3G	12,61	10,75	11,22	13,1	13,65	13,32	13,11	12,2	2088
3H	15,24	13,2	11,88	11,08	11,1	10,83	12,55	14,09	458
3I	15,24	13,2	11,88	11,08	11,1	10,83	12,55	14,09	722
3J	15,01	14,87	13,61	12,32	12,25	9,6	10,54	11,76	613
4A	15,64	11,99	12,51	13,02	11,16	11,65	11,79	12,2	1720

www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

De acordo com a tabela das variáveis topográficas, as unidades geomorfológicas delimitadas na Serra do Mar, por exemplo, possuem classes de declividades predominantes variando de 20% a 75%, plano de curvatura divergente, perfil de curvatura convexo, vertentes com leve predominância no sentido leste, elevado gradiente hipsométrico e as maiores altitudes entre todas as unidades mapeadas (figura 6).

FIGURA 6 – VARIÁVEIS TOPOGRÁFICAS DA UNIDADE 0A (SERRA DO MAR)



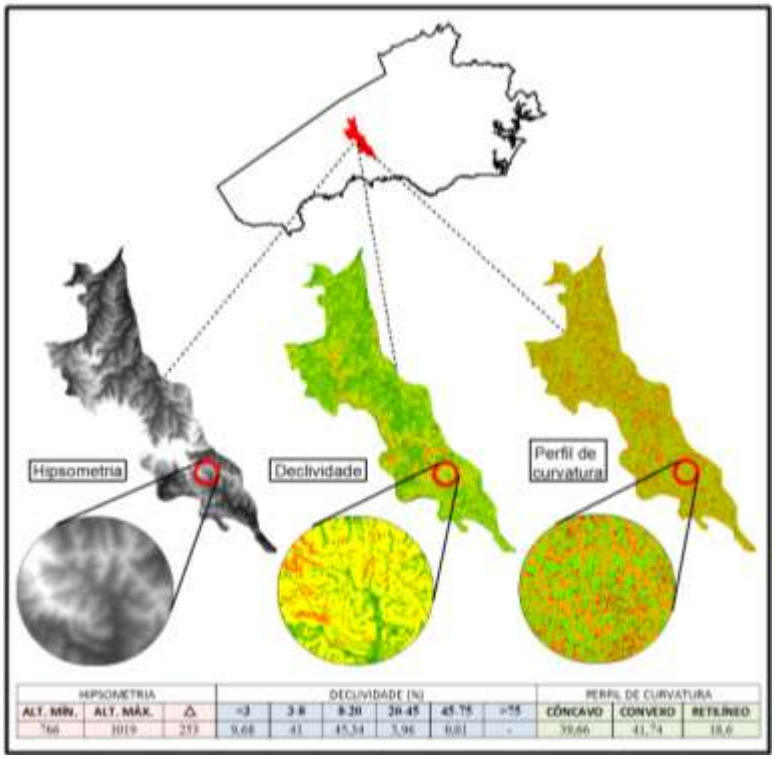
DECLIVIDADE (%)						ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES								PLANO DE CURVATURA		
<3	3-8	8-20	20-45	45-75	>75	N	NE	E	SE	S	SW	W	WE	CONVERGENTE	DIVERGENTE	PLANAR
3,97	8,26	23	48,34	14,69	1,74	12,04	12,75	14,01	14,35	14,23	11,6	10,58	10,39	42,53	47,34	10,13

Já na Planície Litorânea, predominam as classes de declividade até 8%, plano de curvatura planar, perfil de curvatura retilíneo, orientação das vertentes bem distribuída e as menores cotas altimétricas de toda a área de estudo. Comparativamente, segue a definição para a mesma unidade de acordo com o Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná (OKA-FIORI *et al.*, 2006):

> Apresenta dissecação baixa e ocupa uma área de 2038,70 km² (...) A classe de declividade predominante é menor que 6% em uma área de 1868,64 km². Em relação ao relevo, apresenta um gradiente de 200 metros com altitudes variando entre 0 (mínima) e 200 (máxima) m. s. n. m. (metros sobre o nível do mar). As formas predominantes são as planícies de restinga e flúvio-marinhas, terraços arenosos, dunas e praias, modeladas em sedimentos marinhos e flúvio-marinhos.

Outro exemplo que pode ser citado, a unidade 2N (equivalente ao Planalto de Ponta Grossa), localizada no segundo planalto paranaense (figura 7), apresenta declividade que se concentra sobretudo no intervalo entre 3% e 20%, sendo orientação das vertentes predominantemente a oeste, com formas convexas-divergentes e altitude variando de 766m a 1089m.

FIGURA 7 – VARIÁVEIS TOPOGRÁFICAS DA UNIDADE 2N
(PLANALTO DE PONTA GROSSA)



www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

Segundo o Atlas Geomorfológico, o Planalto de Ponta Grossa apresenta dissecação média, a classe de declividade predominante é menor que 12% e em relação ao relevo, apresenta um gradiente de 520 metros com altitudes variando entre 560 (mínima) e 1.080 (máxima). As formas predominantes são topos alongados, vertentes retilíneas e côncavas e vales em "U". A direção geral de morfologia é NW-SE, modelada em rochas do Grupo Itararé (OKA-FIORI *et al*., 2006).

Assim, foi possível fazer a análise e caracterização com os atributos topográficos para toda a área de estudo, identificando as peculiaridades e características geomorfométricas de cada unidade delimitada.

A matriz de confusão utilizada para validação foi construída com base nas unidades geomorfológicas de ambos os mapeamentos (quadros 5, 6 e 7). Nas tabelas, os campos preenchidos pela cor verde representam o número de *pixels* concordantes, ou seja, são as áreas que coincidem nos dois mapas. Já os valores das colunas indicam quanto uma unidade foi superestimada, enquanto as linhas indicam quanto ela foi subestimada pelo novo mapeamento, por inferência espacial.

QUADRO 5 – MATRIZ DE CONFUSÃO – PARTE 1

SUBUNIDADES MORFOESCULTURAIS		Unidades mapeadas pela aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) do relevo (erros de inclusão)							
		0A	0B	0C	1A	1B	1C	1D	1E
Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná (erros de omissão)	Serra do Mar Paranaense	250029	2202	0	0	0	0	0	1293
	Rampas de Pré-Serra e Serras Isoladas	28953	13055	3143	0	0	0	0	0
	Morros Isolados Costeiros	12392	1193	18916	0	0	0	0	0
	Planalto de Castro	0	0	0	281697	14784	5463	0	0
	Planalto de Alto Jaguariaíva	0	0	0	20	126675	33970	0	0
	Planalto Dissecado do Alto Ribeira	0	0	0	979	32381	428037	9439	0
	Planalto Dissecado de Adrianópolis	7174	0	0	0	0	53390	199357	55
	Planalto Dissecado de Tunas do Paraná	0	0	0	0	0	24924	94693	134774
	Planalto de Curitiba	5876	0	0	0	0	1087	0	41496
	Planalto do Alto Iguaçu	0	0	0	0	0	0	0	0
	Blocos Soerguidos do Primeiro Planalto Paranaense	0	0	0	0	0	0	0	123
	Planaltos Residuais da Formação Serra Geral	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Prudentópolis	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Irati	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planaltos Residuais da Formação Teresina	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto de São Mateus do Sul	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Guatá	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Ponta Grossa	0	0	0	0	0	158	0	0
	Planalto de São Luiz do Purunã	0	0	0	983	11154	9165	0	0
	Planalto de Palmas / Guarapuava	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Clevelândia	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto do Foz do Areia	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto Pitanga / Ivaiporã	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planície Litorânea e Planícies Fluvio-Marinhas	46557	7322	7950	0	0	0	0	0

www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

QUADRO 6 – MATRIZ DE CONFUSÃO – PARTE 2

SUBUNIDADES MORFOESCULTURAIS		Unidades mapeadas pela aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) do relevo (erros de inclusão)							
		1F	1G	1H	2A	2B	2C	2D	2E
Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná (erros de omissão)	Serra do Mar Paranaense	1190	0	0	0	0	0	0	0
	Rampas de Pré-Serra e Serras Isoladas	0	0	0	0	0	0	0	0
	Morros Isolados Costeiros	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Castro	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Alto Jaguariaíva	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto Dissecado do Alto Ribeira	1085	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto Dissecado de Adrianópolis	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto Dissecado de Tunas do Paraná	4534	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Curitiba	366678	36931	3369	0	0	0	0	0
	Planalto do Alto Iguaçu	28614	133596	215	0	0	0	0	0
	Blocos Soerguidos do Primeiro Planalto Paranaense	9681	299	22940	0	0	0	0	0
	Planaltos Residuais da Formação Serra Geral	0	0	0	107643	5943	0	0	0
	Planalto de Prudentópolis	0	0	0	22558	213135	2596	4098	204
	Planalto de Irati	0	0	0	15886	15370	31686	11195	100
	Planaltos Residuais da Formação Teresina	0	0	0	0	0	0	16130	0
	Planalto de São Mateus do Sul	0	0	0	0	13557	368	0	180484
	Planalto de Guatá	0	0	0	0	0	0	0	1199
	Planalto de Ponta Grossa	1976	55	0	0	0	1660	25841	444
	Planalto de São Luiz do Purunã	257	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Palmas / Guarapuava	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Clevelândia	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto do Foz do Areia	0	0	0	164	0	0	0	0
	Planalto Pitanga / Ivaiporã	0	0	0	1270	60	0	0	0
	Planície Litorânea e Planícies Fluvio-Marinhas	0	0	0	0	0	0	0	0

QUADRO 7 – MATRIZ DE CONFUSÃO – PARTE 3

SUBUNIDADES MORFOESCULTURAIS		Unidades mapeadas pela aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) do relevo (erros de inclusão)							
		2F	2G	2H	3A	3B	3C	3D	4A
Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná (erros de omissão)	Serra do Mar Paranaense	0	0	0	0	0	0	0	89
	Rampas de Pré-Serra e Serras Isoladas	0	0	0	0	0	0	0	8635
	Morros Isolados Costeiros	0	0	0	0	0	0	0	174
	Planalto de Castro	0	397	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Alto Jaguariaíva	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto Dissecado do Alto Ribeira	0	319	122	0	0	0	0	0
	Planalto Dissecado de Adrianópolis	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto Dissecado de Tunas do Paraná	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Curitiba	294	289	0	0	0	0	0	0
	Planalto do Alto Iguaçu	0	85	0	0	0	0	0	0
	Blocos Soerguidos do Primeiro Planalto Paranaense	0	0	0	0	0	0	0	0
	Planaltos Residuais da Formação Serra Geral	0	0	0	0	0	480	1268	0
	Planalto de Prudentópolis	0	1377	0	0	0	0	37	0
	Planalto de Irati	149	22447	0	0	0	0	0	0
	Planaltos Residuais da Formação Teresina	0	468	0	0	0	0	0	0
	Planalto de São Mateus do Sul	1617	16694	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Guatá	157749	6695	0	0	0	0	0	0
	Planalto de Ponta Grossa	125684	758548	9	0	0	0	0	0
	Planalto de São Luiz do Purunã	0	97734	29076	0	0	0	0	0
	Planalto de Palmas / Guarapuava	0	0	0	419589	11584	9540	0	0
	Planalto de Clevelândia	0	0	0	16428	76776	86658	0	0
	Planalto do Foz do Areia	0	0	0	20211	36	530180	59887	0
	Planalto Pitanga / Ivaiporã	0	0	0	0	0	24419	92685	0
	Planície Litorânea e Planícies Fluvio-Marinhas	0	0	0	0	0	0	0	143738

www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

Dessa forma, a partir dos valores obtidos, o índice de concordância entre as unidades geomorfológicas mapeadas foi de 80% para toda a área de estudo. Para um maior detalhamento dos resultados obtidos pela Matriz de Confusão, a quadro 8 apresenta os valores de concordância (exatidão global), áreas subestimadas (erros de omissão) e áreas superestimadas (erros de inclusão) para cada uma das unidades comparadas. As unidades 1B / Planalto de Castro tiveram a melhor correlação, com 92,6%, enquanto as unidades 2H / São Luiz do Purunã a menor, com 19,6%.

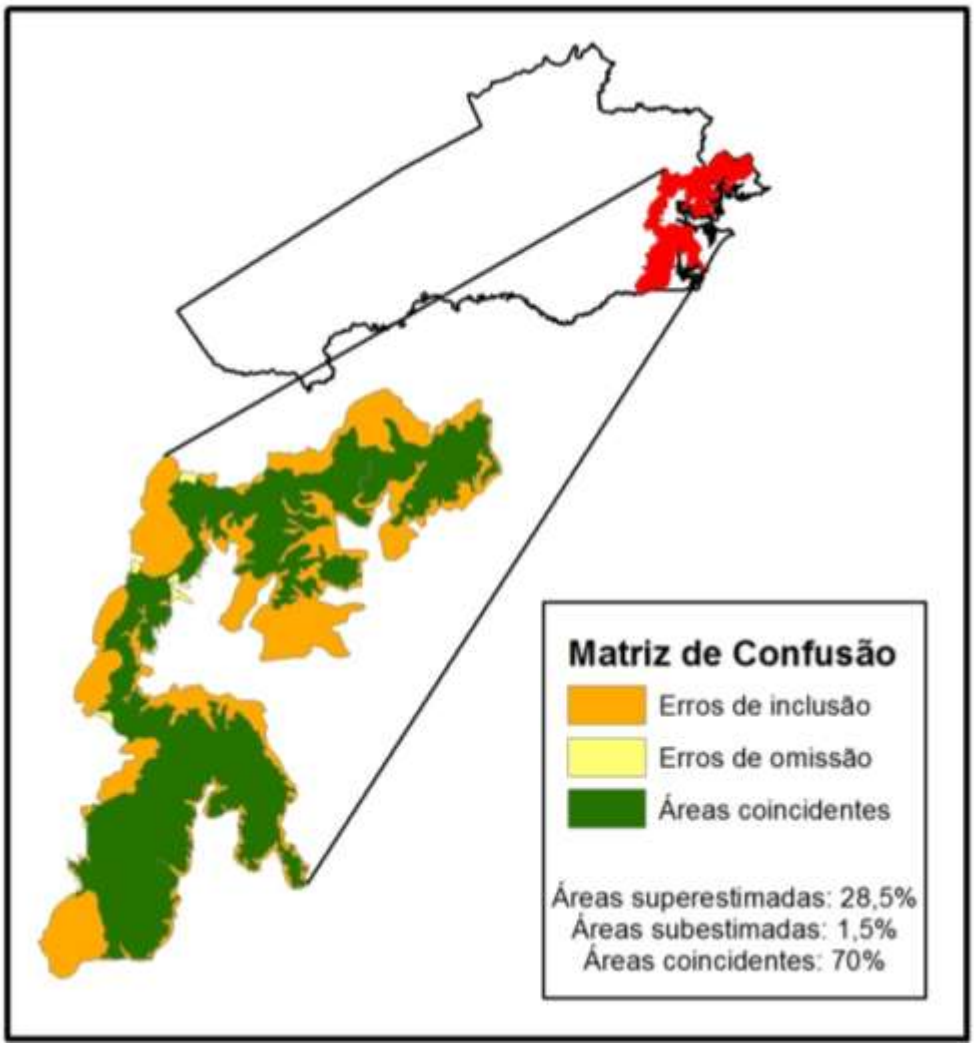
QUADRO 8 – RESULTADOS OBTIDOS PELA MATRIZ DE CONFUSÃO

	ÁREAS CONCORDANTES (%)	ÁREAS SUBESTIMADAS (%)	ÁREAS SUPERESTIMADAS (%)
0A (Serra do Mar Paranaense)	70,3	1,3	28,4
0B (Rampas de Pré-Serra e Serras Isoladas)	20,2	63,1	16,6
0C (Morros Isolados Costeiros)	43,2	31,4	25,3
1A (Planalto de Castro)	92,6	6,8	0,7
1B (Planalto de Alto Jaguariaíva)	57,8	15,5	26,6
1C (Planalto Dissecado do Alto Ribeira)	71,3	7,4	21,3
1D (Planalto Dissecado de Adrianópolis)	54,8	16,6	28,6
1E (Planalto Dissecado de Tunas do Paraná)	44,6	41,1	14,2
1F (Planalto de Curitiba)	72,8	17,7	9,4
1G (Planalto do Alto Iguaçu)	66,9	14,5	18,7
1H (Blocos Soerguidos do Primeiro Planalto Paranaense)	62,6	27,6	9,8
2A (Planaltos Residuais da Formação Serra Geral)	69,4	5,0	25,7
2B (Planalto de Prudentópolis)	76,4	11,1	12,5
2C (Planalto de Irati)	31,2	64,2	4,6
2D (Planaltos Residuais da Formação Teresina)	27,9	0,8	71,2
2E (Planalto de São Mateus do Sul)	84,1	15,0	0,9
2F (Planalto de Guatá)	53,8	2,7	43,5
2G (Planalto de Ponta Grossa)	71,5	14,7	13,8
2H (Planalto de São Luiz do Purunã)	19,6	80,3	0,1
3A (Planalto de Palmas / Guarapuava)	87,9	4,4	7,7
3B (Planalto de Clevelândia)	40,1	53,8	6,1
3C (Planalto do Foz do Areia)	72,5	11,0	16,6
3D (Planalto Pitanga / Ivaiporã)	51,6	14,3	34,1
4A (Planície Litorânea e Planícies Fluvio-Marinhas)	67,0	28,8	4,1

A unidade 0A, equivalente a Serra do Mar paranaense, apresentou uma correlação satisfatória com 70%, onde a imensa maioria dos erros foi de inclusão (figura 8). Isso se deve, sobretudo, ao valor do raio de abrangência do estimador

Kernel adotado ainda na fase de aplicação do ICR. Conforme mencionado anteriormente, o raio está diretamente relacionado à área e à escala de trabalho. Quanto menor for seu valor, maior será o detalhamento e, portanto, mais individualizados ficarão os compartimentos. Assim como em outras unidades, a expansão dos limites, quando comparado ao mapeamento tradicional, é atribuída ao valor do raio.

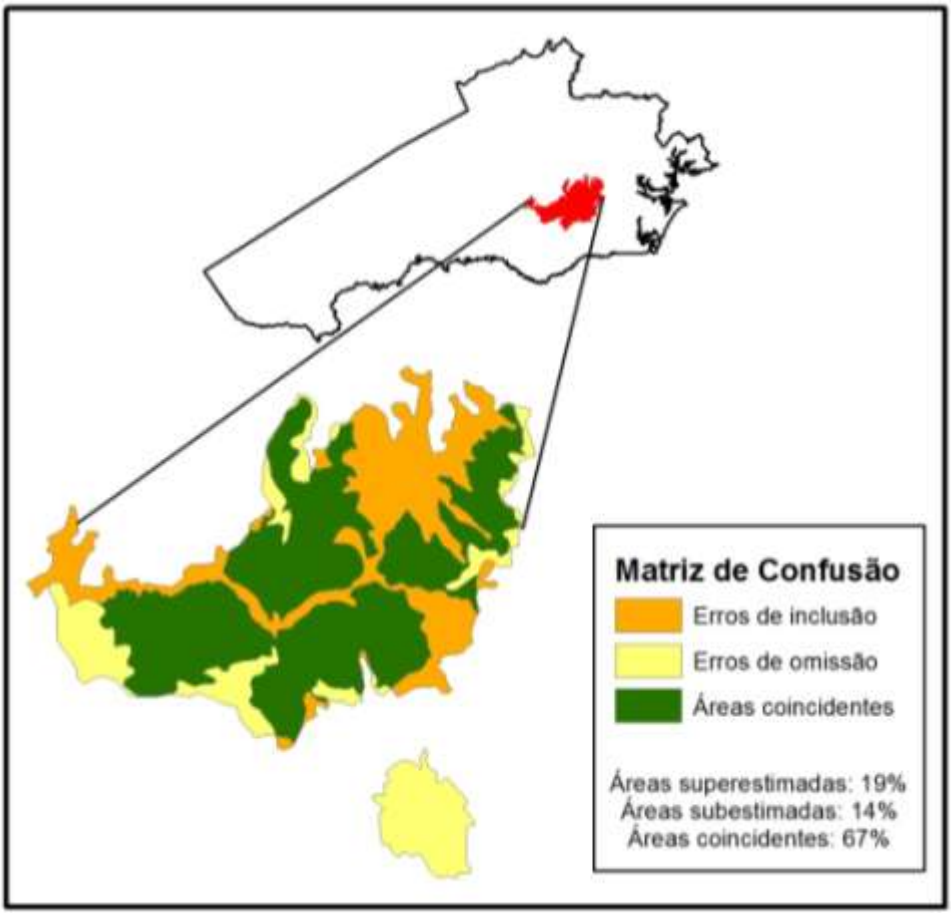
FIGURA 8 – COMPARAÇÃO ENTRE MAPEAMENTOS: UNIDADE SERRA DO MAR



Essa expansão ocasionada pelo valor inferido do raio não altera somente as bordas e os contornos. A unidade 1R, equivalente ao Planalto do Alto Iguaçu (figura 9), exemplifica a limitação do modelo em distinguir os canais de drenagem.

www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

FIGURA 9 – COMPARAÇÃO ENTRE MAPEAMENTOS: UNIDADE PLANALTO DE CURITIBA



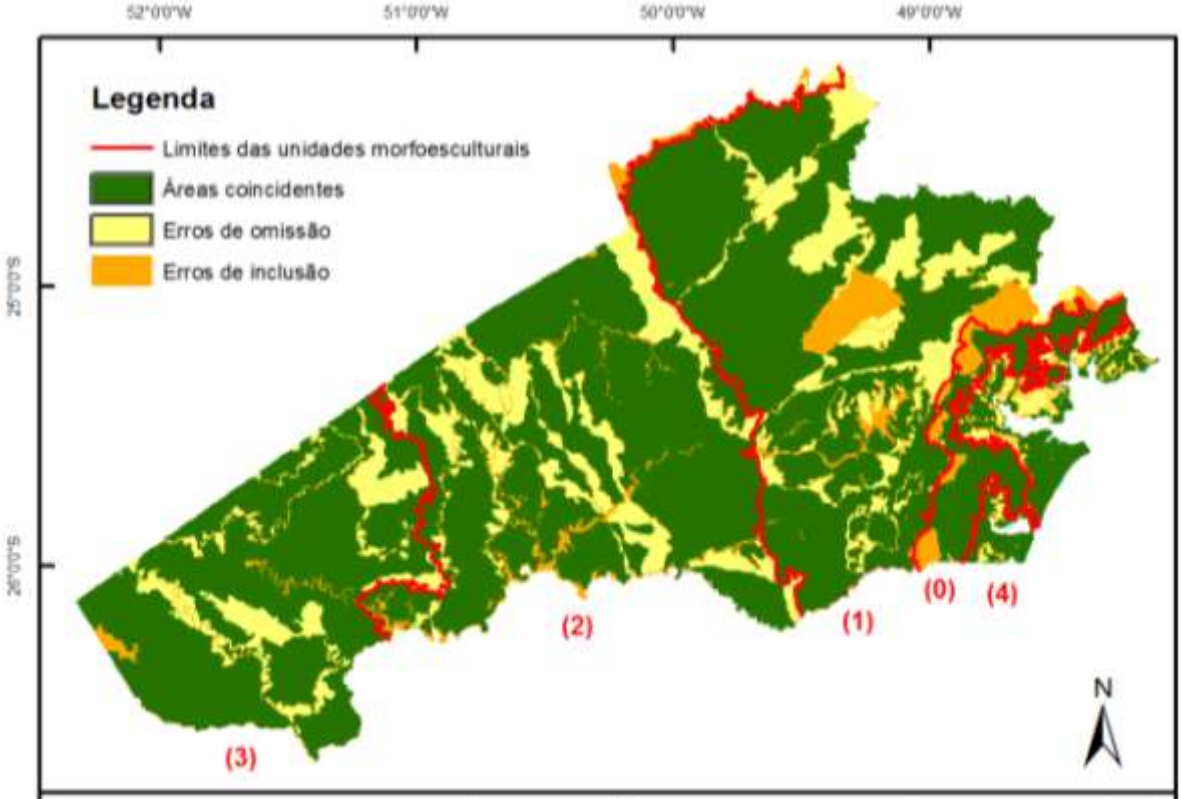
Como se observa, os erros de inclusão se concentram majoritariamente na planície fluvial do rio Iguaçu. Quanto aos erros de omissão, essa mesma unidade fornece outro exemplo interessante. No Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná, muitas unidades apresentaram áreas não contíguas, pois muitos outros aspectos além das variáveis morfométricas foram considerados. Nesse caso, o modelo não tem parâmetros para classificar unidades não contíguas como uma única, o que resulta em unidades com características semelhantes porém classificadas de forma distinta. A isso se deve a discrepância no número de unidades dos dois mapeamentos para a mesma área e, por sua vez, justifica o agrupamento feito para a Matriz de Confusão.

A espacialização dos resultados da matriz de confusão para toda a área de estudo (figura 10) permite que essa mesma análise seja feita também para os compartimentos morfoesculturais. Comparativamente, os Planaltos obtiveram

www.ser.ufpr.br/geografar
ISSN: 1981-089X

concordância próxima a 80% e a Planície Litorânea 67%, ambos com predominância nos erros de omissão. Já a Serra do Mar, com 67% das áreas coincidentes, o oposto, predominância nos erros de inclusão.

FIGURA 10 - COMPARAÇÃO ENTRE MAPEAMENTOS: UNIDADES MORFOESCULTURAIS PARANAENSES



UNIDADE MORFOESCULTURAL	EXATIDÃO GLOBAL (%)	ERROS DE INCLUSÃO (%)	ERROS DE OMISSÃO (%)
(0) Serra do Mar	69,6	28,2	4
(1) Primeiro Planalto	79,9	14,7	5,8
(2) Segundo Planalto	79,1	16,8	5,1
(3) Terceiro Planalto	82,9	4,6	12,5
(4) Planície Litorânea	94,1	4,1	28,8
MÉDIA	75	13,7	11,2

Esses valores demonstram que determinadas características do relevo interferem diretamente nos resultados obtidos pela aplicação do ICR, dada as particularidades de cada unidade morfoescultural. Dois pontos merecem destaque: a) Serra do Mar e Planície Litorânea obtiveram o mesmo valor de coincidência enquanto o valor dos erros, conforme observa-se na tabela apresentada na figura 10, é inversamente proporcional. O principal fator responsável por essa semelhança

é o grau de dissecação da Serra do Mar, pois a oeste, no contato com o Planalto, o relevo é mais escarpado, com abrupta transição, enquanto a leste, no contato com a Planície, a dissecação é mais baixa; b) nos Planaltos, as áreas superestimadas pelo mapeamento automático se justificam pela pequena variação da declividade, enquanto as áreas subestimadas são, em sua maioria, canais de drenagem.

É importante salientar que a média dos valores de exatidão global para as grandes unidades morfoesculturais é de 75%, enquanto a média para as subunidades morfoesculturais, como já apresentado, é de 80%. Essa diferença de 5% se refere ainda à fase de agrupamento dos compartimentos geomorfológicos identificados pelo ICR para a construção da Matriz de Confusão, pois as unidades que não apresentaram correlação consequentemente não foram contabilizadas.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho constatou o potencial de aplicação dos dados SRTM90 e seus subprodutos, aliado às técnicas de SIG e geoprocessamento, aos trabalhos de mapeamento geomorfológico em escala regional. A proposta se mostrou eficaz, exequível e com grande aplicabilidade, além de ser uma alternativa viável e barata para dar subsídios aos trabalhos de mapeamento geomorfológico.

A tentativa de estabelecer critérios com parâmetros fixos para mapeamentos geomorfológicos é importante para avançar na questão da subjetividade, uma vez que a identificação e delimitação das feições geomorfológicas é tradicionalmente feita por julgamentos de ordem qualitativa.

Embora a coincidência entre as unidades mapeadas pela proposta do ICR e pelo Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná tenha chegado a 80% e seja um valor satisfatório, conforme discutido, ainda carece de maior aprofundamento por meio de estudos posteriores mais detalhados.

Agradecimentos

Ao Núcleo de Geoprocessamento/UFPR pelo apoio e suporte durante a realização da pesquisa e a Julio Cesar Bassi Pregolini pela gentil colaboração de revisão deste trabalho.

REFERÊNCIAS

CASSETI, V. **Geomorfologia**. Fundação de Apoio a Pesquisa – FUNAPE/UFG, 2001. Disponível em: <HTTP://www.funape.org.br/geomorfol>. Acessado em: 10 dez. 2011.

CUNHA, C. M. L.; MENDES, I. A. & SANCHEZ, M. C. **A Cartografia do Relevo: Uma analise comparativa de técnicas para a Gestão Ambiental**. Revista Brasileira de Geomorfologia, 4: 1-9. 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2 ed. 306p, 2006.

EVANS, I. S. **General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics**. In: CHORLEY, R. J. (Ed.). Spatial analysis in geomorphology. London: Harper & Row, Publishers, 1972.

FLORENZANO, T. G. (Org.) **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FRANKLIN, S.;PEDDLE, D. **Texture analysis of digital image data using spatial co-occurrence**. Computers & Geosciences, 13(3): 293-311p., 1987.

HORTON, R. E. **Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology**. Bulletin of the Geological Society of America 56, 2 75-3 70. New York: Oxford University, 1945.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. Coordenadores: Nunes, B. de A; Ribeiro, M.I. de C.; Almeida, V.J. de; Natali Filho, T. Série Manuais Técnicos em Geomorfologia n. 5. Fundação IBGE, R. de Janeiro, 1995.

MARK, D. M. **Geomorphometric parameters: a review and evaluation**. Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography, v. 57, n. 3-4, p.165-177, 1975.

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, 2006.

PIKE, R. J. **Geomorphometry diversity in quantitative surfase analysis**. Progress in Physical Geography, v. 24, n. 1, p. 1-20, 2000.

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.

SANTOS, L.J.C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N.E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F. & ROSS, J.L.S. **Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná.** Revista Brasileira de geomorfologia – Ano 7, n°2, 2006.

SILVEIRA, C. T. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais.** Tese de doutorado. UFPR. Curitiba, 2010.

SOUZA, L. F. **Aplicação do indice de concentração da rugosidade à Identificação de classes de dissecação do relevo: uma proposta de quantificação e automatização em ambiente SIG**. Monografia de Graduação. UFPR. Curitiba, 2009.

ROSS, J. S. **Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo**. Rev. Geografia. São Paulo, IG-USP, 1992.

TRICART, J.; CAILLEUX, A. **Introduction a la géomorphologie climatique**. Paris: SEDES, 1965.

VALERIANO, M.M. **Modelo digital de variáveis morfo-métricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA**. Simp. Bras. de Sens. Remoto, 12. São José dos Campos, INPE, p. 3595-3602. 2005.

VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. **Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas**. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P. da; CARDOSO, E. J. (Ed.) Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.4, p.145-192, 2005.

(Recebido em: 26/04/2012. Aceito em 13/09/2012).