

Modelagem

1. Base Primária

Para desenvolvimento e elaboração dos produtos obtidos, foram necessários o uso de softwares que possibilitaram a integração de dados geográficos e a compilação de bases de dados que permitiram a análise e interpretação dos elementos necessários para a representação fisionômica do Distrito Federal, assim, a base e os softwares usados foram:

- Curvas de nível com equidistância de 5 metros (Fonte: TERRACAP);
- Base Hidrológica em escala 1:10.000 (Fonte: TERRACAP);
- Pontos cotados em escala 1:10.000 (Fonte: TERRACAP);
- Limites das Unidades Hidrológicas do Distrito Federal em escala 1:10.000 (Fonte:TERRACAP);
- Imagem aerotransportada e ortoretificada com precisão de 1 metro (Ano de aquisição 2009/TERRACAP);
- Plataforma ArcGis desenvolvida pela ESRI.
- Software HydroFlow desenvolvido pela Universidade Estadual do Rio De Janeiro.

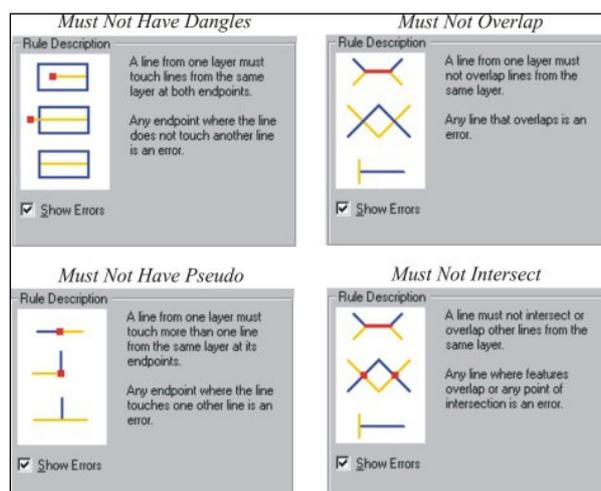
2. Topologia: identificação e correção

Topologia define o relacionamento espacial das feições geográficas, de pontos, linhas e polígonos. Essas representações vetoriais são utilizadas normalmente para representar fenômenos geográficos ou feições geográficas em mapas. Relacionamentos espaciais (conectividade e contiguidade) entre estes fenômenos geográficos são obtidos através da análise e observação dos mapas.

A topologia facilita o processamento de funções analíticas como a modelagem digital de elevação (MDE) através da interpolação de linhas conectadas de uma rede, combinação de polígonos adjacentes com características similares, identificação de feições adjacentes e sobreposição de feições geográficas. Este fato otimiza o processamento e propicia uma análise mais adequada da superfície, pois permite uma relação coerente entre a geometria e os elementos geográficos que eles representam.

As correções topológicas mais recorrentes no projeto foram em linhas de curvas de nível e hidrografia. A figura 3 ilustra as regras para identificação de erros na topologia. Os principais erros identificados e corrigidos foram:

- *Must Not Have Dangles*: Os pontos finais de uma linha não tocam em linhas da mesma camada.
- *Must Not Intersect*: A linha intersecta ou sobrepõe outras linhas da mesma camada.
- *Must Not Overlap*: A linha sobrepõe à linha da mesma camada.
- *Must Not Have Pseudo*: A linha de uma camada toca mais que uma linha da mesma camada até os pontos finais.



Principais correções topológicas, extraído dos comandos do software. Fonte: ArcGis

Devido a escala de análise escolhida, isso acarretou em um vultoso nível de dados e informação, acarretando em um número muito grande de incoerências topológicas a que foram corrigidas.

Outro padrão de erro topológico identificado, que foi necessário sua correção para manutenção das relações dados analisados, foi o sentido de drenagem, que é definido durante o processo de vetorização dos arquivos raster e assume um papel fundamental na geração do modelo digital de elevação. Um erro na definição do sentido tem como consequência a geração de informações erradas no modelo digital de elevação. Para conferir o sentido foi utilizado o arquivo de curvas de nível como suporte para averiguar se a drenagem está seguindo um fluxo descendente, levando-se em consideração o valor das cotas das curvas de nível.

A correção do sentido da drenagem foi possível a partir do uso da ferramenta *Flip* (ArcGis), que permite a mudança do fluxo da drenagem e do uso software Hydroflow que infere nos fluxos e ordens de hierarquia de drenagem pelos métodos de classificação Strahler e Shreve.

3. Geração de Dados Geomorfométricos

Para representação dos dados geomorfométricos, foi necessário a elaboração do modelo digital de elevação (MDE), que possibilitou a extração de dados morfométricos que são derivados do mesmo. Para Valeriano (2008), modelos digitais de elevação são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel, assim, percebe-se que embora os MDE's sejam um elemento fundamental para o conhecimento e caracterização do relevo, muito de sua utilização numérica recai sobre as variáveis que ele pode determinar (declividade, amplitude, curvatura, direção e outros).

A geração do MDE foi realizada a partir da integração de dados geográficos feitos com o auxílio da plataforma ArcGis através do *Topogrid* (Topo to Raster) que é um método de interpolação especificamente projetado para a criação de modelos digitais de elevação hidrológicamente consistentes (MDE). Sua criação é baseada na metodologia de Michael Hutchinson (1988, 1989).

O processo de interpolação foi projetado para tirar vantagem dos tipos de dados de entrada normalmente disponíveis e as características conhecidas de superfícies de

elevação. Este método utiliza é uma técnica de interpolação de diferenças finitas iterativas. Ele é otimizado para ter a eficiência computacional dos métodos de interpolação local, tais como a distância inversa ponderada (IDW), sem perder a continuidade da superfície de métodos de interpolação global, como a Krigagem e Spline. É essencialmente uma discretização fina da técnica “spline” (Wahba, 1990), em que as superfícies rugosas sejam modificadas para permitir que o MDE montado siga as mudanças abruptas no terreno, tais como rios e serras.

A água é uma das principais forças erosivas que determina a forma geral da maioria das paisagens. Por esta razão, a maioria das paisagens tem cumes (máximos locais) e alguns sumidouros (mínimos locais), resultando em um padrão de drenagem ligado. Neste processamento usa-se o conhecimento de superfícies e impõem-se restrições sobre o processo de interpolação que resulta em uma estrutura de drenagem ligada e na representação correta dos cumes e córregos.

A utilização de modelo digitais de elevação recai principalmente sobre a obtenção da altimetria e das suas variáveis (declividade, orientação, curvatura e outros), sendo que a obtenção dessas variáveis é feita principalmente com operação de vizinhança.

4. Amplitude altimétrica

Para Christofolletti (1980), amplitude altimétrica corresponde à diferença altimétrica entre o ponto mais alto da bacia, situado no divisor topográfico, e a altitude da desembocadura.

A amplitude é obtida a partir dos valores de altitude, encontrados em uma determinada bacia, quando se subtrai o menor valor (que determina o nível de base da bacia) de todos valores altimétricos, levando a zerar o menor valor e fazendo com que represente a maior altura local.

Para melhor adequação do método, deve-se levar em consideração o ponto de maior altitude da bacia, localizado ou não no divisor topográfico da bacia. Embora pareça destoar do conceito original, faz-se fundamental a identificação de elevações que se destoem e que acabam representando nuances importantes a serem caracterizadas dentro do mapeamento geomorfológico. Desconsiderar cotas altimétricas no interior da

bacia e superiores aos divisores d'água é homogeneizar rugosidades que denotam padrões distintos do relevo na unidade de análise.

Cabe ressaltar a importância do uso da amplitude altimétrica para definição de unidades de relevo em detrimento ao emprego da altitude. O uso desses dados, acabam por ocultar ou homogeneizar irregularidade topográficas que se definiriam como feições geomorfológicas diferentes. O perfil topográfico descrito a seguir (**Figura 1**), esclarece a importância do uso da amplitude altimétrica na representação do relevo, haja vista, a identificação de amplitudes altimétricas distintas com os mesmos padrões de altitudes ou feições com altitudes semelhantes com amplitudes distintas. Assim, fica fundamentado a importância desse dado geomorfométrico na delimitação e caracterização de feições geomorfológicas contrastivas.

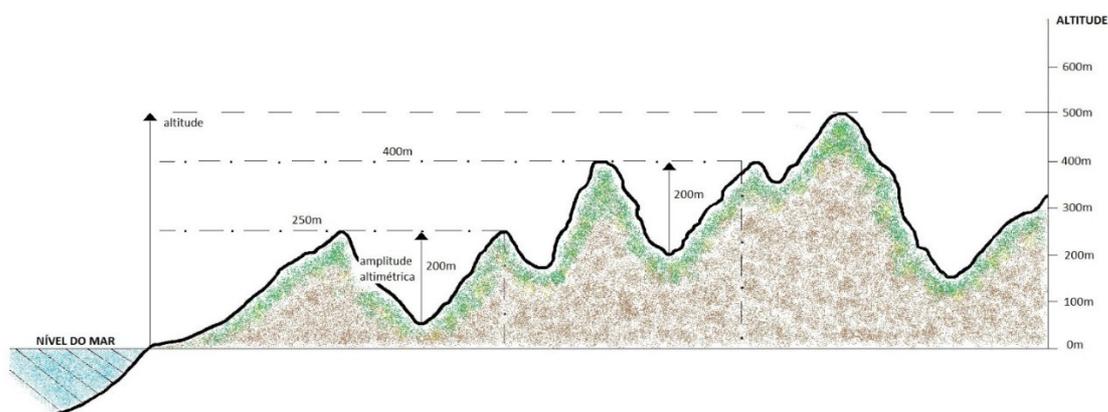


Figura 1 – Perfil topográfico hipotético.

Dentro de uma perspectiva tridimensional de uma bacia hidrográfica de relevo diversificado (**Figura 2**) é possível notar o pronunciamento feições distintas quando levado em conta amplitude altimétrica. Ao centro da bacia destaca-se a ocorrência de feições de amplitudes semelhantes ao divisor topográfico, confirmando a importância de levar-se em consideração o ponto de maior altitude da bacia, localizado ou não no divisor topográfico da bacia, possibilitando o uso desse dado geomorfométrico para delimitação de feições geomorfologicas singulares em áreas em que seriam homogeneizadas se considerado apenas o ponto mais alto do divisor topográfico ou a altitude altimétrica.

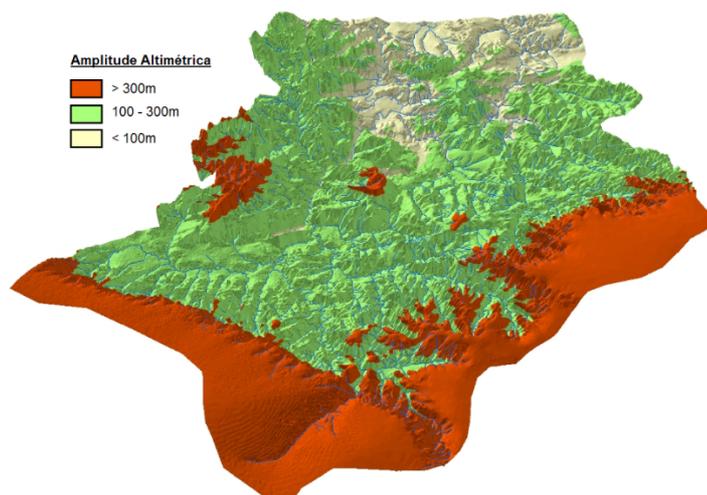


Figura 2 – Modelo tridimensional de uma bacia hidrográfica representada por sua amplitude altimétrica.

5. Declividade

A declividade representa uma derivada de 1ª ordem da altimetria e é de suma importância na análise ambiental, pois possui uma estrita associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento e outros), além de se tratar de uma variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial.

Valeriano (2008) define como declividade o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal (**Figura 3**). Seus valores podem variar de 0° a 90°, embora seja mais comumente expressa em porcentagem, de zero a infinito.

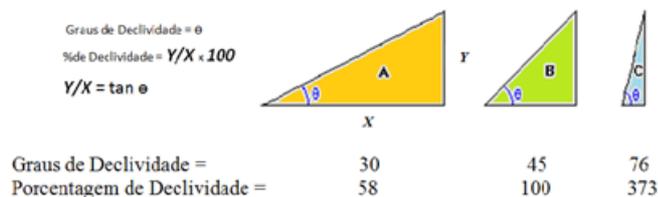


Figura 3 - Representação matemática da declividade.

Em mapas topográficos, a declividade é estimada pela distância entre as curvas de nível. Em MDE, sua estimativa se baseia na análise dos desníveis entre pixels vizinhos e seu cálculo deve ser sempre considerado uma estimativa, uma vez que tal cálculo depende do intervalo de derivação. Em outras palavras, o cálculo de declividade será sempre o resultado de um diferencial altimétrico entre vizinhos e, portanto, dependente da distância considerada. Reduzindo-se esta distância a um limite impraticável (centímetros, por exemplo), teremos estimativas de micro-relevo, mais associadas à rugosidade do solo do que à topografia em si (Valeriano, 2008).

Para o cálculo da declividade, calcula-se a taxa de mudança máxima no valor de cada célula (pixel) comparando aos seus vizinhos. Basicamente, a mudança máxima na elevação sobre a distância entre a célula e seus oito vizinhos identifica a descida em declive a mais íngreme da célula (Burrough, 1998).

A taxa de mudança da superfície nos sentidos horizontais (dz/dy) e verticais (dz/dx) da célula central determina a inclinação. O algoritmo básico usado para calcular a inclinação é:

$$\text{Declividade em radianos} - \text{ATAN} (\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2})$$

$$\text{Declividade em graus} - \text{ATAN} (\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2}) * 57.29578$$

Os valores da célula central e de seus oito vizinhos determinam os resultados horizontais e verticais. Os vizinhos são identificados como letras de 'a' a 'i', com 'e' representando a célula cuja declividade está sendo calculada (**Figura 4**).

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Figura 4 - Representação de dado raster com identificação por célula.

A taxa de mudança no sentido de x para a célula 'e' é calculada com o algoritmo:

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * \text{tamanho da célula})$$

A taxa de mudança no sentido de y para a célula 'e' é calculada com o algoritmo:

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * \text{tamanho da célula})$$

Para um melhor entendimento do cálculo da declividade, iremos usar o exemplo abaixo, que considera o valor do pixel central como sendo de 5 unidade (**Figura 5**).

50	45	50
30	30	30
8	10	10

Figura 5 - Exemplo esquemático de um arquivo raster para cálculo de declividade.

A taxa de mudança no sentido de x para o pixel central 'e' é:

$$\begin{aligned}
 [dz/dx] &= ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * \text{tamanho da célula}) \\
 &= ((50 + 60 + 10) - (50 + 60 + 8)) / (8 * 5) \\
 &= (120 - 118) / 40 \\
 &= 0.05
 \end{aligned}$$

A taxa de mudança no sentido de y para o pixel 'e' é:

$$\begin{aligned}
 [dz/dy] &= ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * \text{tamanho da célula}) \\
 &= ((8 + 20 + 10) - (50 + 90 + 50)) / (8 * 5) \\
 &= (38 - 190) / 40 \\
 &= -3.8
 \end{aligned}$$

Tomando a taxa de mudança no sentido de x e de y, a inclinação para a célula central 'e' é utilizado o cálculo:

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{([dz/dx]^2 + [dz/dy]^2)} \\
 &= \sqrt{(0.05)^2 + (-3.8)^2}
 \end{aligned}$$

$$= \sqrt{[0.0025 + 14.44]}$$

$$= 3.80032$$

$$\text{Declividade em graus} = \text{ATAN (resultado)} * 57.29578$$

$$= \text{ATAN (3.80032)} * 57.29578$$

$$= 1.31349 * 57.29578$$

$$= 75.25762$$

O valor da inclinação do inteiro para a pilha 'e' são 75° (Figura 6).

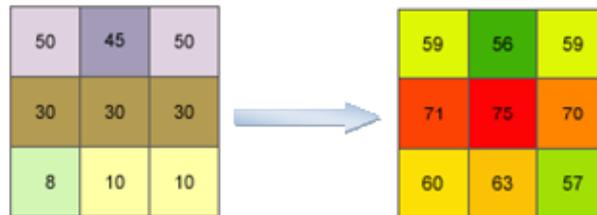


Figura 6 - Resultado do arquivo raster para o cálculo de declividade.

6. Orientação de Vertente

Representando uma derivada de 1ª ordem da altimetria, a orientação da vertente, segundo Florenzano (2008), é uma medida de ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial, geralmente expressa em azimute, isto é, em relação ao norte geográfico, onde o valor é 0° (ou 360°), crescendo dessa direção, no sentido horário. Na carta topográfica, é dada pela direção transversal da isolinha local no sentido descendente.

A declividade e a orientação de vertente guardam entre si uma relação de analogia e complementaridade na descrição tridimensional do terreno, podendo ser notada quando observamos a ação do relevo em projeção horizontal. A respeito dos deslocamentos oriundos de processos de transporte gravitacional, podemos dizer que a orientação de vertentes é a direção do vetor cujo módulo corresponde à declividade. Em

relevos planos sua determinação é difícil e mesmo sem significado, uma vez que nessa situação o módulo da declividade é nulo ou quase nulo. Assim, deve-se ponderar a orientação de vertentes pela declividade local em todo mecanismo que se traduza em um vetor no plano horizontal (Valeriano, 2008).

Para o cálculo de orientação de vertente em um dado matricial, identifica-se a direção da curva descendente da taxa máxima de variação do valor de cada célula de seus vizinhos (Burrough, 1998). A orientação pode ser interpretada como a direção da inclinação e seu resultado é o valor angular formado entre a direção Norte-Sul e a direção considerada, contado a partir do Pólo Norte, no sentido horário (**Figura 7**).

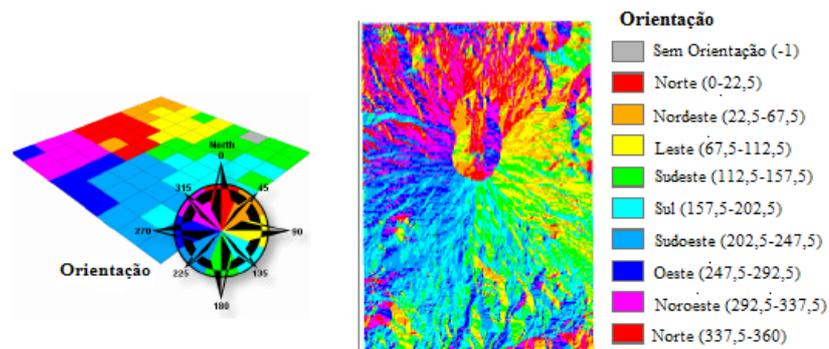


Figura 7 - Representação matricial da orientação e os intervalos em graus determinado.

Conceitualmente, a função que determina a orientação é representado pelo valor do eixo Z da vertente associado aos valores de uma vizinhança 3 x 3 células circundantes a uma célula central, considerando que as células que representam áreas planas será atribuído o valor -1. As células são identificadas com as letras 'a' a 'i', com 'e' representando a célula para a qual a orientação será calculada (**Figura 8**).

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Figura 8 - Representação de dado raster com identificação por célula.

A taxa de mudança na direção x para celular 'e' é calculado com o algoritmo seguinte:

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8$$

A taxa de mudança na direção y para celular 'e' é calculado com o algoritmo seguinte:

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8$$

Tomando a taxa de variação em ambas as direções X e Y para a célula 'e', a orientação é calculada usando:

$$\text{orientação} = 57.29578 * \text{atan2} ([dz/dy], -[dz/dx])$$

E por fim converte-se o valor da orientação para o azimute (0-360°), fazendo uso da seguinte regra:

- ☛ Orientação < 0 o valor da célula será determinada por: 90 - **orientação**
- ☛ Orientação > 90 o valor da célula será determinada por: 360 - **orientação** + 90

Para melhor compreensão do cálculo de orientação de vertente, tomemos como base o exemplo descrito abaixo (**Figura 9**):

101	92	85
101	92	85
101	91	84

Figura 9 - Exemplo esquemático de um arquivo raster para cálculo de orientação de vertente.

A taxa de mudança na direção x para a célula 'e' é:

$$\begin{aligned}
 [dz/dx] &= ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8 \\
 &= ((85 + 170 + 84)) - (101 + 202 + 101)) / 8 \\
 &= -8.125
 \end{aligned}$$

A taxa de mudança na direção y para célula 'e' é:

$$\begin{aligned}
 [dz/dy] &= ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8 \\
 &= ((101 + 182 + 84) - (101 + 184 + 85)) / 8 \\
 &= -0.375
 \end{aligned}$$

A orientação é calculada como:

$$\begin{aligned}
 \text{orientação} &= 57.29578 * \text{atan2} ([dz/dy], -[dz/dx]) \\
 &= 57.29578 * \text{atan2} (-0.375, 8.125) \\
 &= -2.64
 \end{aligned}$$

Como o valor calculado é menor que zero, a regra final para determinar o azimute da vertente é:

$$\begin{aligned}
 \text{Valor da célula} &= 90.0 - \text{orientação} \\
 &= 90 - (-2.64) \\
 &= 90 + 2.64
 \end{aligned}$$

$$= 92.64$$

O valor de 92,64 para a célula centra "e" indica que sua orientação está na direção leste (**Figura 10**).

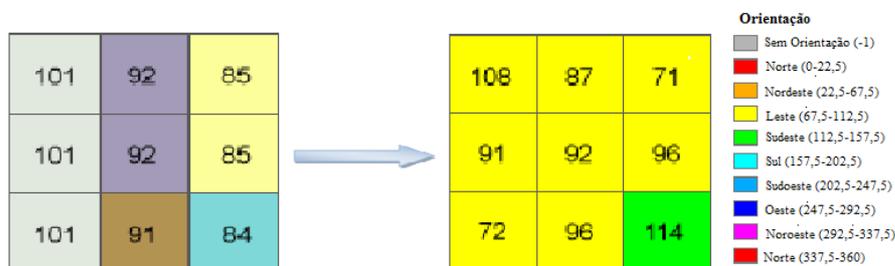


Figura 1 - Representação de dado raster no cálculo de orientação.

7. Curvatura (Forma das Vertentes)

As vertentes, que para a geomorfologia são unidades básicas do relevo e fundamentais para explicar o desenvolvimento das paisagens, são descritas por Veloso (2002) como um elemento da superfície terrestre inclinado em relação ao plano horizontal.

Vertente em seu sentido amplo significa superfície inclinada, independentemente de apresentar qualquer conotação genética ou local. Em uma definição mais restrita, é definida em geomorfologia como uma forma tridimensional que foi modelada pelos processos de denudação, atuantes no presente ou no passado, e que representa a conexão dinâmica entre o interflúvio e o vale (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Guerra (1993) define vertentes como planos de declives que divergem a partir das cristas enquadrando o vale. Nas zonas montanhosas, elas podem ser abruptas e formarem gargantas, estando mais próximas do leito dos rios. Quando as vertentes são relacionadas às planícies fluviais, estas são de difícil delimitação, pois são mais afastadas do leito.

Essa é uma feição geomorfológica que pode apresentar formas muito variadas, porém é possível classificá-las de acordo com a sua curvatura que pode ser analisada no plano (curvatura horizontal) ou em perfil (curvatura vertical).

Florenzano (2008) aponta a curvatura vertical das vertentes como uma das variáveis de alto poder de identificação de unidade homogêneas do relevo. A curvatura vertical refere-se à forma convexo/côncavo do terreno, quando analisado em perfil, podendo ser expressa em uma medida de ângulo, por meio de uma distância horizontal (graus por metro).

Em ambiente SIG, seu cálculo é baseado na comparação entre diferenças altimétricas ao ponto da célula (pixel). As curvaturas se caracterizam por apresentar valores positivos e negativos, dependendo da condição local, se côncava ou convexa.

Já a curvatura horizontal é apontada por Florenzano (2008) como sendo o caráter divergente/convergente dos fluxos de matéria sobre o terreno e a sua percepção é feita através das direções de declive adjacente (denominada linhas de fluxo). As áreas em que essas linhas são paralelas têm curvatura horizontal nula e a superfície é caracterizada como planar. Áreas com linha de fluxo indicando convergência ou divergência têm curvaturas não nulas e de sinais opostos.

Analogamente à curvatura vertical, a curvatura horizontal pode ser expressa tanto em ângulo por distância como em raio de curvatura.

Em ambiente SIG, a curvatura horizontal é baseada na comparação entre as orientações de vertente comparando-se nas células vizinhas ao uma célula de referência. Quando a orientação de vertentes da vizinhança for homogênea, resultarão valores baixos, caracterizando superfícies de forma planar.

Tendo como referência Moore (1991), as curvaturas da área foram obtidas a partir de uma base matricial de altitude em que se calculou célula por célula e para cada célula foi determinado um polinômio de quarto grau de forma:

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$$

Baseando-se em um arquivo matricial composta por células 3 x 3, os coeficientes de 'a' a 'i' são calculados a partir das relações altimétricas de vizinhança (**Figura 11**). Para a análise da curvatura vertical verifica-se a variação dos valores na

direção X e na curvatura horizontal na direção Y, havendo uma análise linha a linha e coluna a coluna do arquivo matricial.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Figura 2 - Representação de dado raster com identificação por célula.

As relações entre os coeficientes e os nove valores de elevação de cada célula numerada, determina um modelo da superfície, como mostrado no diagrama seguintes (**Figura 12**):

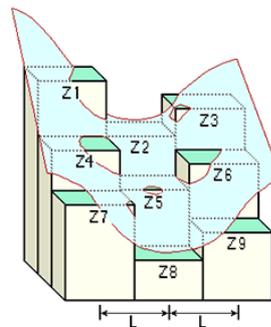


Figura 3 - Bloco diagrama de representado a extração dos dados de curvatura.

$$A = [(Z1 + Z3 + Z7 + Z9) / 4 - (Z2 + Z4 + Z6 + Z8) / 2 + Z5] / L^4$$

$$B = [(Z1 + Z3 - Z7 - Z9) / 4 - (Z2 - Z8) / 2] / L^3$$

$$C = [(-Z1 + Z3 - Z7 + Z9) / 4 + (Z4 - Z6) / 2] / L^3$$

$$D = [(Z4 + Z6) / 2 - Z5] / L^2$$

$$E = [(Z2 + Z8) / 2 - Z5] / L^2$$

$$F = (-Z1 + Z3 + Z7 - Z9) / 4L^2$$

$$G = (-Z4 + Z6) / 2L$$

$$H = (Z2 - Z8) / 2L$$

$$I = Z5$$

Por representar uma derivada de 2ª ordem da altimetria, após a obtenção do resultado de cada célula para obtenção do resultado das curvaturas devem-se relacionar pixels vizinhos a partir da seguinte expressão:

$$\textit{Curvature} = -2(D + E) * 100$$

Segundo Valeriano (2008) ensaios comparativos com descrições geomorfológicas levaram ao estabelecimento da faixa entre $-0,010^\circ/\text{m}$ a $0,010^\circ/\text{m}$ como valores de curvatura típicos de vertentes tidas como retilíneas. Assim, valores inferiores a este intervalo foram considerados como terrenos côncavos e valores superiores foram considerados como terrenos convexos. Da mesma forma que para curvaturas verticais, faz-se necessário o estabelecimento de uma faixa de valores admitidos como nulos para determinar a classificação das vertentes planares. Baseado nos testes feitos por Valeriano (2008) admitiu-se o intervalo de $-0,038^\circ$ a $0,051^\circ/\text{m}$ para determinar superfícies planares, ocorrendo valores inferior a esse intervalo considerou o terreno como sendo convergente e superior ao intervalo como sendo divergente.

As formas do terreno são obtidas a partir da combinação entre as curvaturas horizontais e verticais (**Figura 13**). Para Valeriano (2008), diante do interesse específico do estudo e das condições locais de terreno, substrato e processos vigentes, as classes de forma de terreno podem ser reagrupadas em função de sua similaridade frente a esses aspectos. Os casos extremos de combinações de curvatura do terreno são representados pela forma côncavo-convergente (máxima concentração e acúmulo do escoamento) e pela forma convexa-divergente (máxima dispersão do escoamento).

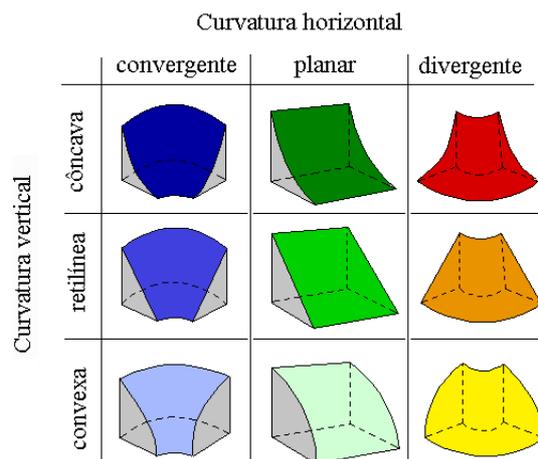


Figura 13 – Combinação dos tipos de curvatura para determinar as formas de relevo. Fonte: adaptado de Dikau (1990)

Para determinar as formas do relevo foi feita uma análise de sobreposição usando as formas do relevo horizontal e vertical. Determinaram-se valores para cada tipo de curvatura e a soma desses valores representam uma determinada forma, conforme indicado na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Valores determinados para cada tipo de curvatura para possibilitar a representação do tipo de formas.

	Convergente (10)	Planar (20)	Divergente (30)
Convexo (1)	11	21	31
Retilíneo (2)	12	22	32
Côncavo (3)	13	23	33

Associou-se a cada dado raster, tanto de curvatura horizontal e vertical, valores atribuídos para as classes de curvatura, assim as células foram representadas a cada valor atribuídos. A soma dos dados raster permitiu a identificação dos tipos de forma (**Figura 14**).

1	3	3	+	20	10	10	=	21	13	13
3	2	1		10	30	30		13	32	31
2	1	2		30	20	10		32	21	12

Figura 14 – Representação da soma dos dados matriciais para determinação das formas do relevo.

8. Representação dos Sistemas de Relevo (Morfografia)

Entende-se como morfografia os aspectos descritivos (ou qualitativos) do relevo, representados pela sua forma e aparência (Florenzano, 2008). Assim, para a representação das macroformas do relevo são levados em consideração os seus elementos métricos que, quando analisados em conjunto podem determinar sistemas de relevo diferenciados.

Para definição das características das unidades de relevo, foram estabelecidos critérios de classificação adaptados do IPT (1981). Os principais critérios adotados foram a amplitude local de cada forma, isto é, a altura máxima entre o topo e o nível de base local (fundo do vale), e a declividade das encostas. A amplitude foi obtida a partir dos valores de altitude encontrados quando se subtrai o menor valor (que determina o nível de base da bacia) de todos valores altimétricos, levando a zerar o menor valor e fazendo com que representasse a maior altura local. O resultado foi representado em intervalos de 0 a 100m, 101 a 300m e maior que 300m. Já para a declividade, tal qual como adotado pelo IPT, adotou-se o intervalo de 0 a 15% e maior que 15%.

Para determinar as unidades do relevo foi feita uma análise de sobreposição usando os intervalos de declividade associados ao de amplitude. Foram propostos valores para a amplitude e declividade em que a soma dos mesmos determinaram a representação dos sistemas de relevo conforme indicado na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Valores determinados para a amplitude e declividade que possibilitou a representação dos sistemas de relevo.

Amplitude (m)	Declividade (%)	Sistemas de Relevo
0 – 100 (1)	0 – 15 (10)	Relevo Colinoso (11)
100 – 300 (2)	0 – 15 (10)	Relevo de Morros com Vertente Suavizada (12)
> – 300 (3)	0 – 15 (10)	Platô (13)
0 – 100 (1)	> – 15 (20)	Relevo de Morrotes (21)
100 – 300 (2)	> – 15 (20)	Relevo de Morros (22)
> – 300 (3)	> – 15 (20)	Escarpas (23)

Considerando que os dados de amplitude e declividade estavam em formato raster, associou-se a cada dado raster, valores atribuídos para cada intervalo, assim as células foram representadas a cada valor atribuído e a soma dos dados raster permitiu a identificação dos tipos de relevo (**Figura 15**).

1	3	3	+	20	10	10	=	21	13	13
3	3	1		10	20	10		13	23	11
2	1	2		20	20	10		22	21	12

Figura 15 – Representação da soma dos dados matriciais para determinação dos sistemas de relevo.

BIBLIOGRAFIA

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blucher, 2ª edição, 1980.

DIKAU, R. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v.80, p. 45-55, 1990.

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

GUERRA, A.T. & GUERRA, A.J.T. Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2ª edição. 2001. 648p.

HUTCHINSON, M.F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology* 106: 211-232, 1989.

HUTCHINSON, M.F. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney, Australia, 1988.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Escala 1:500.000. IPT, São Paulo. Vol. I. Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais, São Paulo, 1981.

MOORE, I.D., R. B. Grayson, and A. R. Landson. Digital Terrain Modelling: A Review of hydrological, Geomorphological, and Biological Applications. *Hydrological Processes* 5: 3–30, 1991.

VALERIANO, M. M. Programação do cálculo da declividade em SIG pelo método de vetores ortogonais. *Espaço e Geografia*, v.5, n.1, p.69-85, 2002.

VALERIANO, M. M. TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São Jose dos Campos: INPE, 2008.

VELOSO, A. J. G. Importancia do Estudo das Vertentes. **GEOgraphia**. v.8, n.8, 2002

WAHBA, G. Spline models for Observational data. Paper presented at CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics. Philadelphia: Soc. Ind. Appl. Maths,