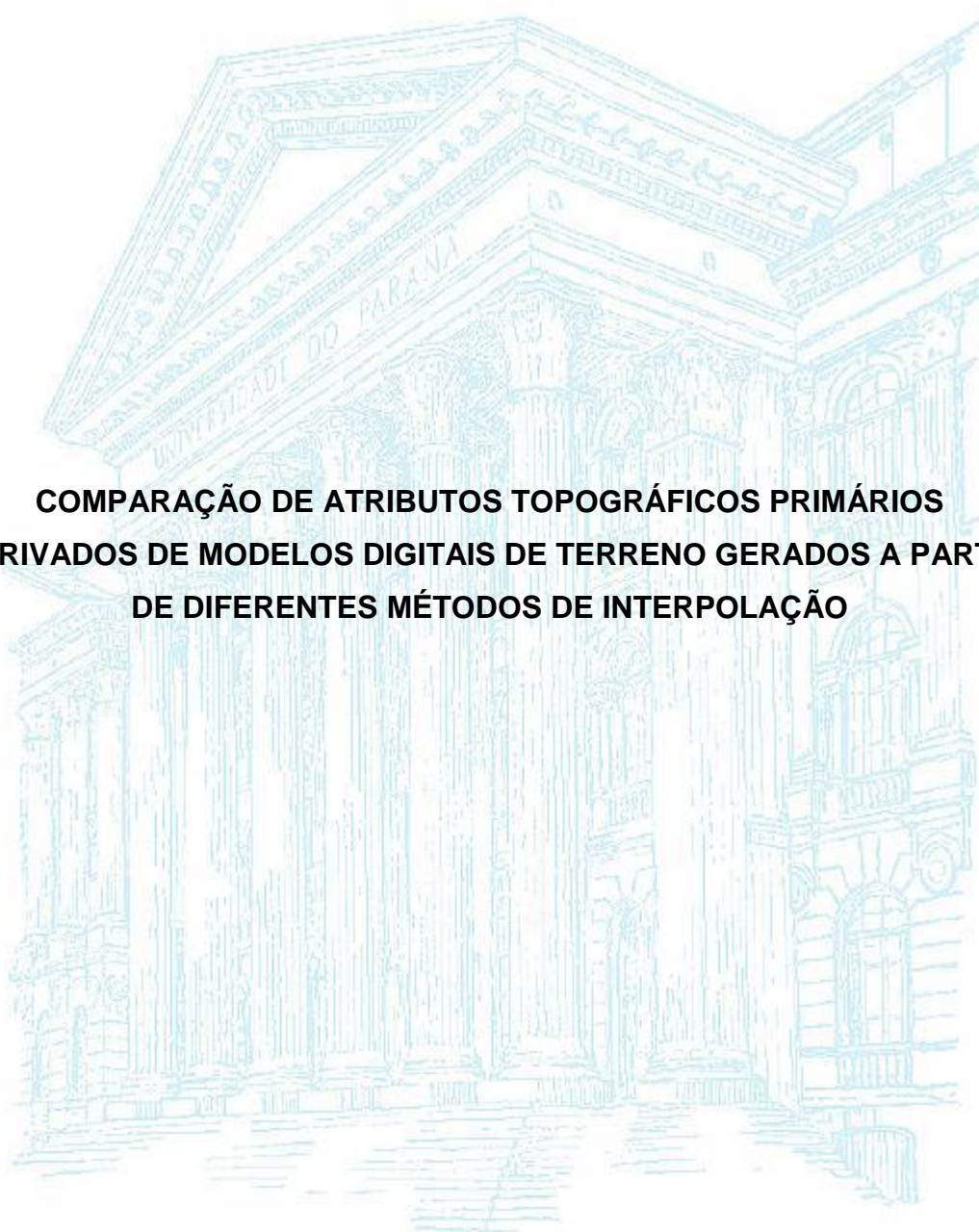


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MAURIELLE FELIX DA SILVA



**COMPARAÇÃO DE ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS PRIMÁRIOS  
DERIVADOS DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO GERADOS A PARTIR  
DE DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO**

CURITIBA  
2015

MAURIELLE FELIX DA SILVA

**COMPARAÇÃO DE ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS PRIMÁRIOS  
DERIVADOS DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO GERADOS A PARTIR  
DE DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geotecnologias do Departamento de Geomática da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial ao grau de Especialista em Geotecnologias, com ênfase em Topografia Automatizada e Geodésia.

Orientador: Prof<sup>o</sup>. Dr. Luís Augusto Koenig Veiga.

CURITIBA  
2015

TERMO DE APROVAÇÃO


**COMPARAÇÃO DE ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS PRIMÁRIOS  
DERIVADOS DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO GERADOS A PARTIR  
DE DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO**


POR

**MAURIELLE FELIX DA SILVA**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geotecnologias, administrado no Departamento de Geomática do Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, e aprovada pelos seguintes membros da banca:

Orientador:

  
Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga

  
Profa. Dra. Maria Aparecida Z. Zanetti

Curitiba, 12 de junho de 2015

## AGRADECIMENTOS

Muitos foram importantes nesta etapa, expressarei aqui, em breves palavras, a gratidão que sinto por cada um de vocês. Um ou outro vai acabar passando despercebido, mas faz parte... Quando nos cruzarmos nos corredores da universidade eu certamente lembrarei.

Em primeiro lugar, agradeço a Mariney Nunes! Minha primeira supervisora de estágio (com a Coordenação do Prof. Alex Medina) na universidade no Laboratório de Topografia, uma grande amiga a qual eu admiro muito e tenho muito, muito respeito. Desde o primeiro ano na universidade acompanha a minha trajetória (pessoal e acadêmica), e SEMPRE esteve ali para ajudar no que fosse preciso, seja uma Estação Total, uma chave do Posição ou um ombro amigo (no laboratório, no telefone, em casa). Este trabalho e esta conquista eu dedico em primeiro lugar a você Mary!!! Pois foi por meio da experiência que tive com você que pude entrar em contato com o Departamento e com os Professores do Curso de Engenharia Cartográfica, e pude realizar este Curso de Especialização como bolsista.

Os agradecimentos aparecem como registro escrito na monografia, porém Orismar Santos, o que seria da "*Maurielle Felix ~ Geógrafa quase Cartógrafa ~*" sem você hein!?!?! Infelizmente não vai dar para listar aqui todos os momentos em que pude contar com a sua ajuda (do primeiro ano da universidade até a primeira experiência na vida profissional), porque foram muitos. Muitos mesmo. Não importava o horário ou dia da semana. Obrigada meu grande amigo e meu *Cartógrafo Cervejeiro Fã de Pink Floyd* Favorito!

Ao meu orientador Prof<sup>o</sup> Luís Augusto Koenig Veiga pela atenção, paciência e disponibilidade, por ser flexível em alguns prazos e situações,

por sanar as dúvidas que surgiram no decorrer do trabalho e por todos os *"mas entre aqui Maurielle, puxe uma cadeira, vamos conversar!"*.

A Coordenação do Curso de Especialização em Geotecnologias da UFPR pela oportunidade da vaga como bolsista.

Aos docentes do Departamento de Geomática. Todos os professores, sem dúvida, contribuíram para meu crescimento acadêmico e profissional.

Não posso deixar de citar meus Professores do Departamento de Geografia, Profº Eduardo Vedor de Paula pela concessão dos dados cartográficos e ao Prof. Tony Sampaio por me explicar com toda paciência do mundo o que era Krigagem todas as vezes que eu passava desesperada por sua sala e interrompia seus afazeres! Ao Prof. Claudinei Taborda Silveira pelos ensinamentos sobre Geomorfometria.

Aos meus colegas de turma do Curso de Especialização pelos bons momentos de convivência e parceria e aos meus amigos do curso de Geografia também foram fundamentais.

Por fim, agradeço a minha família, em especial minha mãe Hilda, por sempre apoiar minhas escolhas, torcer por mim e caminhar ao meu lado.

**A todos, MUITO OBRIGADA!!!**

## RESUMO

Os Modelos Digitais de Terreno (MDT's) permitem o cálculo das variáveis associadas ao relevo com maior rapidez e precisão. O presente trabalho teve como objetivo analisar os atributos topográficos Hipsometria, Declividade e Perfil de curvatura derivados a partir de MDT's obtidos por diferentes métodos de interpolação de dados, como a Krigagem e Topogrid, a fim de comparar a influência de cada método na geração dos atributos topográficos. Os MDT's gerados pelos interpoladores Krigagem e Topogrid, resultaram em discrepantes representações dos atributos topográficos isoladamente e quando sobrepostos com informações da base cartográfica existente. Em relação à altimetria diferenças se deram na distribuição e discretização das classes hipsométricas. A Hipsometria obtida pelo interpolador Topogrid apresentou melhor detalhamento do relevo, sendo mais próxima da forma de relevo local, já a Krigagem resultou em formas de relevo mais suavizadas. Em relação à Declividade, a interpolação realizada pelo Topogrid se mostrou mais fiel ao relevo local, evidenciando porções mais acidentadas do relevo. O Perfil de Curvatura, foi melhor representado pelo Topogrid, onde os diferentes perfis côncavo, retilíneo e convexo corresponderam ao alinhamento das curvas de nível e drenagem. Embora ambos os métodos sejam válidos para a geração de atributos topográficos, faz-se necessário analisar se a modelagem está o mais próximo da realidade a ser representada. Além disso, o usuário necessita de amplo conhecimento do fenômeno a ser modelado para julgar qual método de interpolação é mais apropriado.

**Palavras chave:** Modelo Digital do Terreno, interpoladores, atributos topográficos.

## ABSTRACT

The Digital Terrain Models (DTM's) allow the calculation of the variables associated to the relief more quickly and accurately. This study aimed to analyze the topographic attributes Altimetry, Slope and Curvature Profile derived from MDT's obtained by different data interpolation methods such as Kriging and Topogrid in order to compare the influence of each method in the generation of attributes topographical. The MDT's generated by interpolation Kriging and Topogrid, resulted in disparate representations of topographical attributes alone and when overlaid with information from the existing basemap. Regarding the altitude differences are given in the distribution and discretization of hypsometric classes. The altimetry obtained by interpolating Topogrid showed better detailing of relief, being nearest the form of local relief, since the Kriging resulted in smoother forms of relief. Regarding the Slope, the interpolation performed by Topogrid was more faithful to the local relief, showing more acidentadas portions of relief. The bend profile, was best represented by Topogrid, where different hollow profiles, straight and convex corresponded to the alignment of the contours and drainage. Although both methods are valid for the generation of topographic attributes, it is necessary to examine whether the model is as close to reality to be represented. In addition, the user needs extensive knowledge of the phenomenon being modeled to judge which interpolation method is more appropriate.

**Palavras chave:** Digital Terrain Model, interpolation, topographic attributes.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação de superfície por meio de grade irregular triangular.....	5
Figura 2: Representação de superfície por meio de grade regular retangular.....	6
Figura 3: Localização Bacia Hidrográfica do Rio Tagaçaba (Guaraqueçaba – PR).....	13
Figura 4: Representação da Altimetria por modelos digitais do terreno gerados por Krigagem e Topogrid. ....	18
Figura 5: Representação da Hipsometria derivada de modelos digitais do terreno de gerados por Krigagem e Topogrid. ....	19
Figura 6: Representação da Hipsometria juntamente com as curvas de nível disponíveis na base cartográfica e drenagem nos MDT's gerados por Krigagem e Topogrid respectivamente.....	20
Figura 7: Representação da Declividade derivada de modelos digitais do terreno gerados a partir da Krigagem e Topogrid.....	22
Figura 8: Representação da Declividade juntamente com as curvas de nível da base cartográfica nos MDT's gerados por Krigagem e Topogrid respectivamente.....	23
Figura 9: Representação do Perfil de Curvatura derivado de modelos digitais do terreno gerados pela Krigagem e Topogrid. ....	25
Figura 10: Representação do Perfil de Curvatura juntamente com as curvas de nível nos MDT's gerados por Krigagem e Topogrid respectivamente. ....	26



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparação entre as grades regular retangular e irregular triangular.....	7
Quadro 2: Critérios adotados na padronização dos dados cartográficos. ....	14
Quadro 3: Classes clinográficas, conforme EMBRAPA (2006). ....	17

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1.1 OBJETIVO GERAL .....	2
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>2</b>
2.1 MODELOS DIGITAIS DO TERRENO (MDT's).....	2
2.1.1 Grades irregulares triangulares.....	4
2.1.2 Grades regulares retangulares.....	5
2.2 INTERPOLADORES .....	8
2.2.1 Krigagem.....	9
2.2.2 Topogrid.....	10
2.3 ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS .....	11
2.3.1 Hipsometria.....	11
2.3.2 Declividade .....	12
2.3.3 Perfil da Curvatura.....	12
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>28</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>29</b>

## 1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento que a utilização de técnicas computacionais para manipulação, análise e distribuição de dados espaciais, sobretudo os modelos digitais do terreno (MDT) tem contribuído em diversas áreas das Geociências.

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) é definido como uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre (Namikawa *et al.*, 2003).

Os MDT's são amplamente utilizados em estudos ambientais como riscos e vulnerabilidade, mapeamentos pedológicos, estudos de áreas de preservação e etc, pois permitem o cálculo das variáveis associadas ao relevo com maior rapidez e precisão. Segundo Valeriano (2002) os modelos digitais do terreno permitem o cálculo de variáveis topográficas comumente utilizadas em projetos e empreendimentos de engenharia e em estudos ambientais.

Tais variáveis como hipsometria, declividade e perfil de curvatura, são também denominadas como atributos topográficos. Estes são derivados a partir do MDT e auxiliam de maneira significativa na compreensão da dinâmica do relevo, sobretudo dos processos hidrológicos que ocorrem nas vertentes.

Nesta perspectiva, pretende-se analisar os atributos topográficos mencionados derivados a partir de MDT's obtidos por diferentes métodos de interpolação de dados, como a Krigagem e Topogrid, a fim de comparar a influência de cada método na geração dos atributos topográficos.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral desta pesquisa é comparar atributos topográficos primários derivados a partir de MDT's gerados por diferentes métodos de interpolação de dados.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para que seja possível a realização do trabalho pretende-se:

- Desenvolver breve revisão bibliográfica sobre modelos digitais do terreno, estruturas de dados, métodos de interpolação, atributos topográficos;
- Gerar MDT's por meio de diferentes métodos de interpolação (Krigagem e Topogrid);
- Gerar a partir do MDT os seguintes atributos topográficos: Hipsometria, Declividade e Perfil de Curvatura;
- Realizar análise comparativa dos atributos topográficos gerados a partir dos MDT's.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 MODELOS DIGITAIS DO TERRENO (MDT's)**

A representação de determinadas porções da superfície física terrestre ocorre por meio da utilização de Modelos Digitais do Terreno – MDT, definidos como a representação matemática de uma superfície, através das coordenadas X, Y e Z (ROCHA, 2000).

Esses modelos representam fenômenos que têm valores em todos os pontos de sua extensão. Os valores dos infinitos números de pontos, em toda a superfície, são derivados de um conjunto limitado de amostras valores, sendo

esses baseados em medições diretas, como a valores de altura para uma elevação da superfície (NOGUEIRA & AMARAL, 2009).

É importante ressaltar que o MDT trata apenas dos pontos que representam o terreno a ser modelado, diferente de um Modelo Numérico de Elevação – MNE, que pode conter informações referentes ao terreno e elementos existentes sobre ele como vegetação, edificações e etc.(DALMOLIN e SANTOS, 2003).

As aplicações dos MDT's são diversas nas diferentes áreas do conhecimento, conforme listado por Burrough (1998) e Veiga (2006), podem ser utilizados em:

- armazenamento de dados de altimetria para a confecção de cartas topográficas;
- elaboração de mapas de declividade, extração de linhas de drenagem, análises de visibilidade, cálculo de volumes, etc;
- em engenharia civil e arquitetura são usados em projetos de rodovias, barragens, planejamento urbano, análises de impacto ambiental, vistas perspectivas para trabalhos de paisagismo, etc;
- na fotogrametria é um dos elementos necessários à produção de ortofotocartas;
- Geólogos e Geomorfólogos utilizam para análises estruturais da superfície terrestre e alguns estudos sobre erodibilidade do terreno.

Os MDT's são construídos a partir de uma amostragem do fenômeno dentro da região de interesse, sendo as amostras processadas de maneira a criar modelos que representem a variabilidade do fenômeno nessa região. (FELGUEIRAS, 2001).

O autor supracitado considera que na definição de uma amostragem representativa, é necessário considerar não só a quantidade, como também a posição das amostras em relação ao comportamento do fenômeno a ser modelado, sendo que uma superamostragem altimétrica numa região plana significa redundância de informação e, pelo contrário, poucos pontos em uma região de relevo movimentado significa escassez de informações.

Segundo Menezes (1992), na fase aquisição de informações ocorre o maior dispêndio de tempo e de recursos, uma vez que a quantidade e distribuição das amostras refletem diretamente na qualidade do MDT, e os métodos de coleta são variam entre levantamentos de campo (topografia, geodésia), aerofotogrametria e digitalização.

Para se representar determinada porção da superfície da Terra seria necessário um número infinito de pontos. Como isto não é possível se opta por uma rede amostral de pontos discretos, os quais comumente são representados por dois tipos de estruturas: uma grade regular ou uma rede de triângulos (MIRANDA, 2010).

Os dados amostrais necessários para a elaboração de um MDT, segundo Felgueiras (2001); Namikawa *et al.* (2003); Chaves (2002); Oliveira e Imai (2010) podem estar dispostos em:

#### 2.1.1 Grades irregulares triangulares

As grades irregulares triangulares são estruturas cujos elementos básicos são os triângulos, seus vértices pertencem ao conjunto amostral do modelo.

De acordo com Miranda (2010), pontos distribuídos irregularmente sobre uma superfície podem ser unidos em uma rede de triângulos interconectados, onde os nós dos triângulos são os pontos originais, os triângulos são os polígonos, e os lados dos triângulos um caso especial de arcos, são segmentos de linhas retas com nós sendo os únicos vértices. A rede triangular irregular é como uma estrutura de dados que representa, de forma digital a topografia e, algumas vezes, superfícies de valores simples. Cada triângulo, ou cada faceta, pode ser tratado como um plano, com a geometria do mesmo sendo completamente definida pelos valores  $x$ ,  $y$  e  $z$  dos três nós.

Como já explicitado, neste modelo os vértices dos triângulos são geralmente os pontos amostrados da superfície, excluindo-se, portanto, os pontos fornecidos por interpolação (CHAVES, 2002), Figura 1:

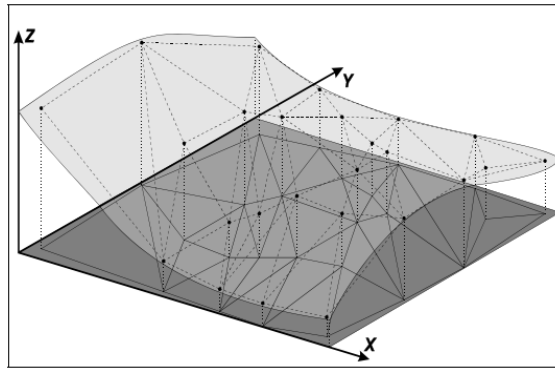


Figura 1: Representação de superfície por meio de grade irregular triangular.  
Fonte: Namikawa *et al.* (2003).

As grades irregulares triangulares utilizam os próprios pontos de amostra para modelar a superfície, não sendo necessário o procedimento de estimativa utilizado na geração da grade regular. Ao utilizar os próprios pontos de amostra elimina-se um fator de diminuição da confiabilidade do modelo, uma vez que por melhor que seja o procedimento, alguma característica própria do procedimento é incorporada ao modelo (FELGUEIRAS, 2001).

De acordo com Oliveira e Imai (2010) estes modelos constituem as formas mais comuns de representação de pontos espaçados irregularmente, pois consideram as arestas dos triângulos, facilitando a incorporação de linhas notáveis (*breaklines* ou linhas de quebra), as quais permitem que as informações morfológicas relevantes como topos e a drenagem sejam consideradas.

### 2.1.2 Grades regulares retangulares

As grades regulares retangulares consistem em estruturas matriciais que contém pontos regularmente espaçados em três dimensões (3D) no plano de duas dimensões (X e Y).

Quando se trabalha com um modelo matricial, a representação da superfície é feita por meio de uma grade regular contendo os valores de uma altura em intervalos de espaços iguais. Neste tipo de estrutura a informação da altura – ou qualquer outra variável representando um fenômeno – é

considerada constante dentro de cada célula da grade regular. Tendo uma grade de alta resolução (células pequenas), ela será mais precisa para representar o fenômeno (MIRANDA, 2010). Este tipo de grade possui importantes atributos como número de linhas e colunas; resolução horizontal e vertical e retângulo envolvente.

Segundo Namikawa *et al.* (2003) são definidas pelas próprias palavras que a nomeiam. É uma *grade*, pois possui estrutura matricial, com uma informação em cada cruzamento entre os eixos vertical e horizontal. É *regular*, uma vez que o espaçamento entre duas posições da grade é constante na vertical e na horizontal e é *retangular*, pois o espaçamento na vertical, normalmente definido de acordo com a escala adotada, pode ser diverso do definido para o eixo horizontal.

De acordo com Miranda (2010) pelo fato das células serem de tamanho fixo, elas representam melhor as superfícies que não apresentam grandes variações. No caso do terreno apresentar relevo bastante ondulado, com muitas mudanças bruscas e repentinas, esta estrutura tenderá a suavizar a representação da área, ou seja, a representação será menos precisa.

Outra definição, segundo Oliveira e Imai (2010), é que o modelo de grade regular é uma representação matricial onde cada elemento da matriz está associado a um valor numérico. Este modelo digital aproxima superfícies por meio de um poliedro de faces retangulares (Figura 2).

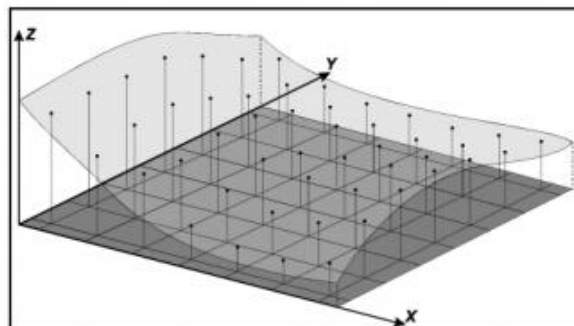


Figura 2: Representação de superfície por meio de grade regular retangular.  
Fonte: Namikawa *et al.* (2003).



Os MDT's que utilizam grades retangulares regulares são muito utilizados nos Sistemas de Informações Geográficas. De acordo com Silveira (2010) se deve pela facilidade de manipulação e geração dos dados, uma vez que esses modelos utilizam uma matriz como estrutura de armazenamento, sendo adequados à representação de superfícies suaves e de variação contínua.

Uma comparação entre as grades foi proposta por Felgueiras (2001), conforme o Quadro 1:

Quadro 1: Comparação entre as grades regular retangular e irregular triangular.

<b>Grade regular retangular</b>	<b>Grade irregular triangular</b>
Apresenta regularidade na distribuição espacial dos vértices das células do modelo	Não apresenta regularidade na distribuição espacial dos vértices das células do modelo
Os vértices dos retângulos são estimados a partir das amostras	Os vértices dos triângulos pertencem ao conjunto amostral
Apresenta problemas para representar superfícies com variações locais acentuadas	Representa melhor superfícies homogêneas com variações locais acentuadas
Estrutura de dados mais simples	Estrutura de dados mais complexa
Relações topológicas entre retângulos são explícitas	É necessário identificar e armazenar as relações topológicas entre os triângulos
Mais utilizado em aplicações qualitativas e em análises no formato matricial ("raster")	Mais utilizado em aplicações quantitativas

Fonte: Felgueiras (2001)

Org.: A autora

Dadas características intrínsecas às estruturas de dados, observa-se na literatura que não há um consenso entre autores no julgamento sobre qual delas é mais adequada representação das superfícies. Há que se analisar individualmente e então eleger a que melhor se adapta para cada objeto de estudo.

Neste trabalho os MDT's foram gerados em grades regulares. A escolha desta estrutura de dados se deve a viabilização das operações de reclassificação e comparação entre os atributos topográficos gerados a partir dos modelos.

## 2.2 INTERPOLADORES

Segundo Miranda (2010) a interpolação envolve o processo de determinar valores desconhecidos, ou não amostrados, de um atributo contínuo usando valores conhecidos ou amostrados. É constituído pela definição de um relacionamento de vizinhança e pela definição de métodos que calcularão os valores desconhecidos, sendo que o balanço entre estas duas partes pode variar. A interpolação assume que o fenômeno que está sendo predito, neste caso a elevação de um terreno, é aproximado de perto pela função matemática utilizada.

O mesmo autor ressalta que a qualidade do resultado da interpolação depende da precisão, número e distribuição dos pontos amostrados e de quão bem a função matemática corretamente modele o fenômeno.

O principal dado de entrada na confecção de um MDT são pontos com informações altimétricas do terreno, no entanto, a coleta de dados de campo normalmente não é realizada em forma de grade regular de pontos, e sim pontos distribuídos sobre o terreno de forma a possibilitar a sua posterior representação.

Em estruturas matriciais os valores de altitude são armazenados em cada célula e a referência espacial entre os pontos é expressa por meio de linhas e colunas, a exemplo do que ocorre para dados em duas dimensões, onde nem todos os valores nas células foram amostrados em campo. Apenas alguns deles foram efetivamente amostrados, os outros valores são então calculados segundo algoritmos interpolativos (MIRANDA, 2010).

Vários são os interpoladores empregados nos cálculos dos MDT's. Alguns deles são mais comuns devido à facilidade de compreensão e utilização, pois atualmente são disponíveis diversos softwares que realizam os cálculos e representações de maneira automatizada.

A escolha do modelo apropriado, expresso mediante função matemática, é essencial para a obtenção de resultados razoáveis. Os melhores resultados são obtidos quando a função matemática se comporta de maneira similar ao fenômeno (MIRANDA, 2010).

Dentre os interpoladores utilizados na geração de MDT's optou-se por abordar Krigagem e Topogrid.

### 2.2.1 Krigagem

Segundo Landim (2003) a Krigagem pode ser entendida como um estimador que se baseia numa série de técnicas de análises de regressão, estas podendo ser lineares ou não e procura minimizar a variância estimada a partir de um modelo prévio levando em consideração a dependência estocástica entre os dados distribuídos no espaço.

De acordo com a descrição presente em ESRI ArcGIS® (2012) o método da Krigagem é caracterizado como geoestatístico, baseado em modelos estatísticos que incluem autocorrelação (a relação estatística entre os pontos medidos), e correlação espacial. Esta última tem por caráter quantificar um princípio básico da Geografia: de que os elementos que estão mais próximos são mais parecidos do que aqueles que estão mais distantes. Por se tratar de uma técnica geoestatística possui a capacidade de produzir uma superfície de previsão que também pode proporcionar medidas de segurança ou a precisão das previsões.

O método assume que a distância entre os pontos ou a direção de uma amostra reflete uma correlação espacial, a qual pode ser utilizada para explicar as variações na superfície. Desta forma, adéqua uma função matemática para um determinado número de pontos, ou todos os pontos dentro de um raio específico, para determinar o valor de saída para cada local.

Rossi *et al.* (1994) *apud* Saito (2011), apontam de maneira resumida características que diferem o método de Krigagem em relação aos demais métodos de interpolação, sendo:

- fornece maior ou menor estimativa em relação ao valor das amostras, diferindo das técnicas tradicionais que são restritas às faixas de variação amostral;
- baseia-se na distância entre as amostras e na geometria, enquanto que os demais métodos fazem utilização da distância euclidiana para a avaliação amostral;

- considera a minimização da variância do erro esperado, utilizando um modelo empírico de continuidade espacial existente ou do grau de dependência espacial com a distância ou direção, o qual é expresso pelo semivariograma.

### 2.2.2 Topogrid

O método de interpolação Topogrid foi baseado no trabalho desenvolvido por Hutchinson (1988; 1989) no programa ANUDEM (*Australian National University Digital Elevation Model*). Foi desenvolvido com uma proposta de interpolação, sobretudo de dados vetoriais (linhas de drenagem e curvas de nível), versando a criação um MDT hidrologicamente consistente, uma vez que e permite a inserção das linhas de drenagem que auxiliam na manutenção do declive do terreno na direção do escoamento superficial.

Conforme descrito em ESRI ArcGIS® (2012) o Topogrid mescla métodos interpolativos entre as abordagens estatísticas *global* e *local*.

As técnicas globais procuram ajustar um modelo de superfície usando todos os pontos de dados conhecidos simultaneamente. Os interpoladores locais, por sua vez, concentram-se em pequenas regiões no entorno do ponto a ser interpolado para assegurar que as estimativas sejam feitas apenas com os dados de vizinhança (MIRANDA, 2010).

O processo de interpolação do Topogrid foi concebido para tirar vantagem de dados de entrada vetoriais (como curvas de nível e drenagem), pois estes são comumente disponíveis em maior volume nas bases e, assim como pontos cotados, possuem características sobre as superfícies de elevação. Ou seja, essa técnica de interpolação foi desenhada com o objetivo específico de converter dados vetoriais em modelos hidrológicos de elevação de terreno exatos. Desta forma o método foi otimizado para ter a eficiência e rapidez computacional de métodos de interpolação locais, como interpolação ponderada inverso da distância (IDW), sem perder a continuidade da superfície de métodos de interpolação globais, como Krigagem e Spline (ESRI ArcGIS® 2012).

De acordo com a interpretação de Saito (2011) sobre a interpolação proposta por Hutchinson (1988; 1989), por meio da definição de tolerâncias horizontais e verticais podem ser removidos pixels que interrompem o fluxo ao longo da rede de drenagem digitalizada ou que são identificadas como depressões fechadas. O programa estima um *grid* (grade) regular de uma superfície plana discretizada por meio de um grande número de dados de elevação irregularmente espaçados, dados de linhas de contorno e dados de linha de fluxo, ou seja, é possível utilizar a drenagem e outros corpos d'água, suavizando e aumentando sensivelmente a precisão dos modelos gerados.

Veiga (2006) aponta que independente do modelo ou método de interpolação utilizado, deve-se sempre avaliar o resultado final da modelagem, principalmente com relação à fidelidade com que o modelo reproduz o terreno e o aspecto visual do desenho final.

## 2.3 ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS

Os atributos topográficos de acordo com Moore *et al.* (1993), Gallant e Wilson (2000), McBratney *et al.* (2003), Chagas (2006), Sirtoli (2008) e Silveira (2010) são aqueles que descrevem informações quantitativas do relevo. Nesta pesquisa propõe-se analisar os atributos topográficos Hipsometria, Declividade e Perfil de Curvatura.

### 2.3.1 Hipsometria

Representa a variação altimétrica do relevo, sendo esta variação discretizada em classes.

Segundo Sirtoli (2008) é a representação altimétrica do relevo, a qual permite que se analise a variação altimétrica do relevo a partir das informações planimétricas e altimétricas presentes.

### 2.3.2 Declividade

Este atributo também é conhecido como clinografia, corresponde à inclinação do terreno em relação ao plano horizontal. A declividade pode ser definida por um plano tangente a superfície, expresso como a mudança de elevação em relação distância (BURROUGH, 1986).

Refere-se à inclinação das vertentes e, segundo Gallant e Wilson (2000), é o meio pelo qual a gravidade induz o fluxo de água e outros materiais.

Numa estrutura matricial, o valor da declividade para cada célula é calculado considerando os valores das células vizinhas (MIRANDA, 2010). Pode ser expressa em graus ou porcentagem.

### 2.3.3 Perfil da Curvatura

O perfil de curvatura se refere à forma da vertente, cujo segmento pode ser classificado como convexo, côncavo ou retilíneo, ao ser analisada em perfil. Representa a taxa de variação da declividade na direção da orientação das vertentes.

De acordo com Valeriano (2003) este atributo se refere à curvatura da superfície na direção do declive, onde os valores negativos referem-se a vertentes convexas, positivos a vertentes côncavas e valores nulos às vertentes retilíneas.

Esse atributo topográfico é importante para caracterizar mudanças na velocidade do fluxo de água e processos relacionados ao transporte de sedimentos (GALLANT e WILSON, 2000 e CHAGAS, 2006 *apud* SILVEIRA, 2010).

## 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As atividades da pesquisa foram desenvolvidas em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas, com a utilização do ESRI ArcGIS®, e a

geração de planilhas e gráficos foram realizadas por meio do *Software Microsoft Excell* versão 2007.

A área de estudo corresponde a Bacia Hidrográfica do Rio Tagaçaba, localizada no município Guaraqueçaba, estado do Paraná (Figura 3: Localização Bacia Hidrográfica do Rio Tagaçaba (Guaraqueçaba – PR)). Possui uma área de aproximadamente 292 km<sup>2</sup>.

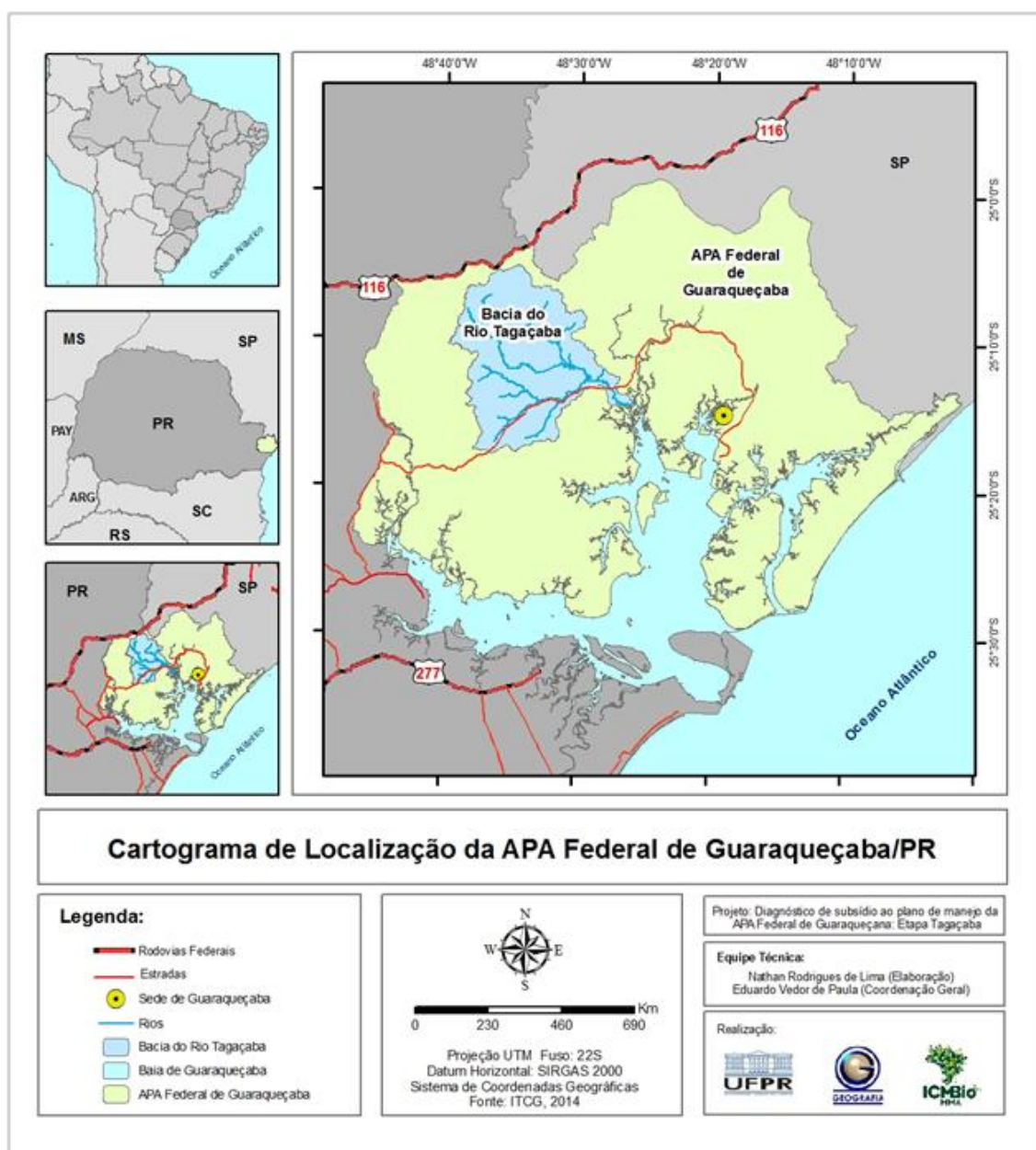


Figura 3: Localização Bacia Hidrográfica do Rio Tagaçaba (Guaraqueçaba – PR)

Fonte: Paula *et al.* (2014).

O relevo da área é marcado por uma diversidade geomorfológica ao contemplar amplitude altimétrica de zero a aproximadamente 1518m, caracterizando os dois compartimentos mais marcantes na paisagem, a Planície Litorânea as vertentes abruptas da Serra do Mar Paranaense.

A escolha da referida área de estudo ocorreu por haver para esta região disponibilidade de dados cartográficos georreferenciados e sistematizado em banco de dados.

### 3.1 ORGANIZAÇÃO DA BASE DE DADOS CARTOGRÁFICOS

Os dados disponíveis da área de estudo correspondem a curvas de nível (com equidistância de 10m), pontos cotados e hidrografia na escala 1:25.000 disponibilizados pelo Instituto de Terras, Cartografia e Geociências (ITCG) referentes ao Programa de Proteção da Floresta Atlântica (PRÓ-ATLÂNTICA), elaborado pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) no ano de 2002. A digitalização e organização dos dados foram realizadas pelo Laboratório de Pesquisas Aplicadas em Geomorfologia e Geotecnologias (LAGEO - UFPR).

Estes por sua vez foram tratados e redefinidos conforme Sistema Geodésico de Referência vigente, o SIRGAS 2000, sendo definidos os seguintes parâmetros (Quadro 2):

Quadro 2: Critérios adotados na padronização dos dados cartográficos.

<b>CRITÉRIOS DA PADRONIZAÇÃO</b>	
Limite espacial	Limite Bacia Hidrográfica Rio Tagaçaba (Fonte PLDM)
Projeção cartográfica	Sistema Universal Transverso de Mercator
Fuso	22 - Sul - Meridiano Central: 51°
Datum horizontal	SIRGAS 2000
Datum vertical	Imbituba - SC

Org.: A autora.

### 3.2 GERAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE TERRENO (MDT's)

No presente trabalho os modelos foram gerados em um “grid” e posteriormente convertidos para a estrutura *raster*, pois esta estrutura de dados



permite com que a quantidade de células das classes dos atributos topográficos pudessem ser quantificadas e comparadas entre si.

Cabe ressaltar que, para que a comparação fosse possível, foi necessária a criação de novos padrões espaciais, sendo então realizada uma reclassificação para viabilizar a discretização e quantificação das classes analisadas.

O *software* utilizado permite que o usuário determine a resolução do MDT, ou seja, estabeleça o tamanho do *pixel*<sup>1</sup>, no entanto, esta determinação requer alguns critérios.

Neste trabalho a definição da resolução ideal (tamanho do *pixel*) para a geração do modelo foi apoiada na proposta de Hengl (2006). O autor coloca que a definição do tamanho ideal do pixel deve ser pautada na cartografia ao considerar a escala original da base de dados, e na topografia ao considerar a complexidade do relevo local as características morfométricas.

Desta forma, a resolução ideal do MDT pode ser calculada pela relação entre a área de estudo e as curvas de nível através da ( ):

$$p \leq A / (2 * \sum l) \quad (1)$$

Onde:

p = tamanho do pixel

A = área total

$\sum l$  = somatório do comprimento das curvas de nível.

Após a realização do cálculo, obteve-se que o tamanho de pixel para a área considerada é  $p \leq 14,14\text{m}$ , sendo esta a resolução mínima para a geração do MDT.

Por meio do mesmo cálculo, o autor sugere que seja realizado um recorte que represente 5% da área total, sendo este recorte representativo da área de estudo ao conter a maior concentração de curvas de nível, sendo:

---

<sup>1</sup> Entende-se que na proposta de Hengl (2006), que o tamanho da grade (*grid*) corresponde ao tamanho do *pixel*. O autor utiliza ambos os termos na determinação da resolução do MDT.

$$p \geq (A5\%) / (2 * \sum l) \quad (2)$$

Onde:

p = tamanho do pixel

A5% = área correspondente a 5% da área total

$\sum l$  = somatório do comprimento das curvas de nível (5% da área total).

Após a realização do cálculo obteve-se que a maior resolução possível seria  $p \geq 9,8m$ .

Assim sendo, foi adotado o valor de 10m como resolução para a geração dos MDT's.

O MDT gerado pelo interpolador da Krigagem (Figura 2). Os dados de entrada para a confecção do modelo foram apenas os pontos cotados, devido às próprias características do modelo.

Já para gerar o MDT pelo interpolador Topogrid os dados de entrada foram curvas de nível, pontos cotados e hidrografia.

Para a representação cartográfica dos MDT's foi utilizada ferramenta de "sombreamento do relevo", denominada "*Hillshade*". É considerada como uma fonte luminosa – o Sol - incidindo com determinado desvio em relação à vertical (neste trabalho foi utilizado ângulo de 45°), tornando aparente o aspecto acidentado (rugoso) do terreno.

### 3.3 GERAÇÃO DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS PRIMÁRIOS

Os atributos topográficos primários, tais como Hipsometria, Declividade e Perfil de Curvatura, são assim denominados por serem derivados diretamente do MDT. Estes foram confeccionados da seguinte maneira:

- **Hipsometria:** é obtida por meio do próprio MDT, este foi discretizado em classes por meio de ferramentas de classificação. Como a área de estudo possui amplitude altimétrica de zero a aproximadamente 1518m, de acordo com a distribuição dos valores obtidos observados no

histograma, optou-se em discretizar a altimetria em 10 intervalos de 150m sendo: 0 a 150m, 150 a 300m, 300 a 450m, 450 a 600m, 600 a 750m, 750 a 900m, 900 a 1050m, 1050 a 1200m, 1200 a 1350m, 1350 a 1518m.

- **Declividade:** ou clinografia. As classes foram definidas conforme EMBRAPA (2006), Quadro 3:

Quadro 3: Classes clinográficas, conforme EMBRAPA (2006).

CLASSES CLINOGRÁFICAS	TIPO DE RELEVO
0 a 3 %	Plano
3 a 8 %	Suave Ondulado
8 a 20 %	Ondulado
20 a 45 %	Forte Ondulado
45 a 75%	Montanhoso
75% <	Escarpado

Org.: A autora.

- **Perfil de Curvatura:** as classes foram definidas para as vertentes convexas foram admitidos valores positivos, nas vertentes côncavas, os valores negativos e, por conseguinte, nas vertentes retilíneas, valores iguais à zero.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a aplicação dos procedimentos supracitados, se obteve como resultados da modelagem do terreno Figura 4:

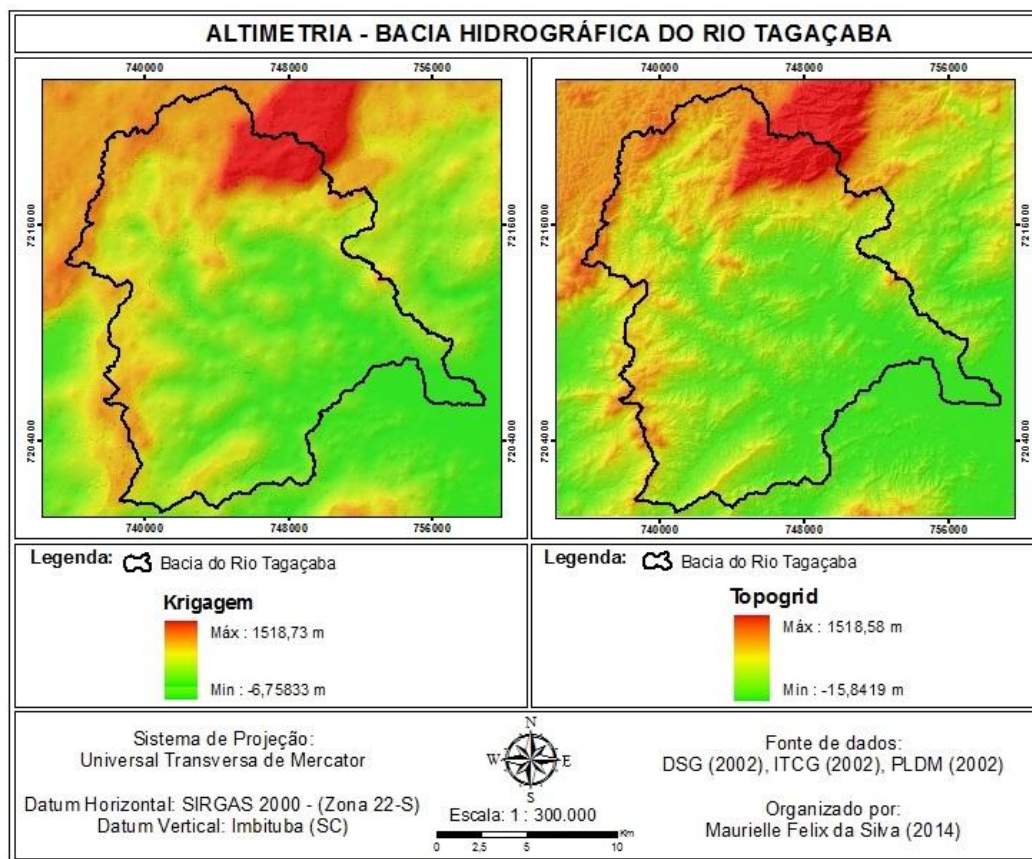


Figura 4: Representação da Altimetria por modelos digitais do terreno gerados por Krigagem e Topogrid.

Observa-se que o valor da amplitude altimétrica é discrepante quando diferentes interpoladores são utilizados, sobretudo nos valores mínimos de altitude, sendo o -6,75m com a Krigagem e -15,84m com o Topogrid.

Por consequência, os atributos topográficos primários Hipsometria, Declividade e Perfil de Curvatura também serão diferentes, mesmo quando são discretizados em iguais intervalos.

A Figura 5 se refere à representação da Hipsometria:

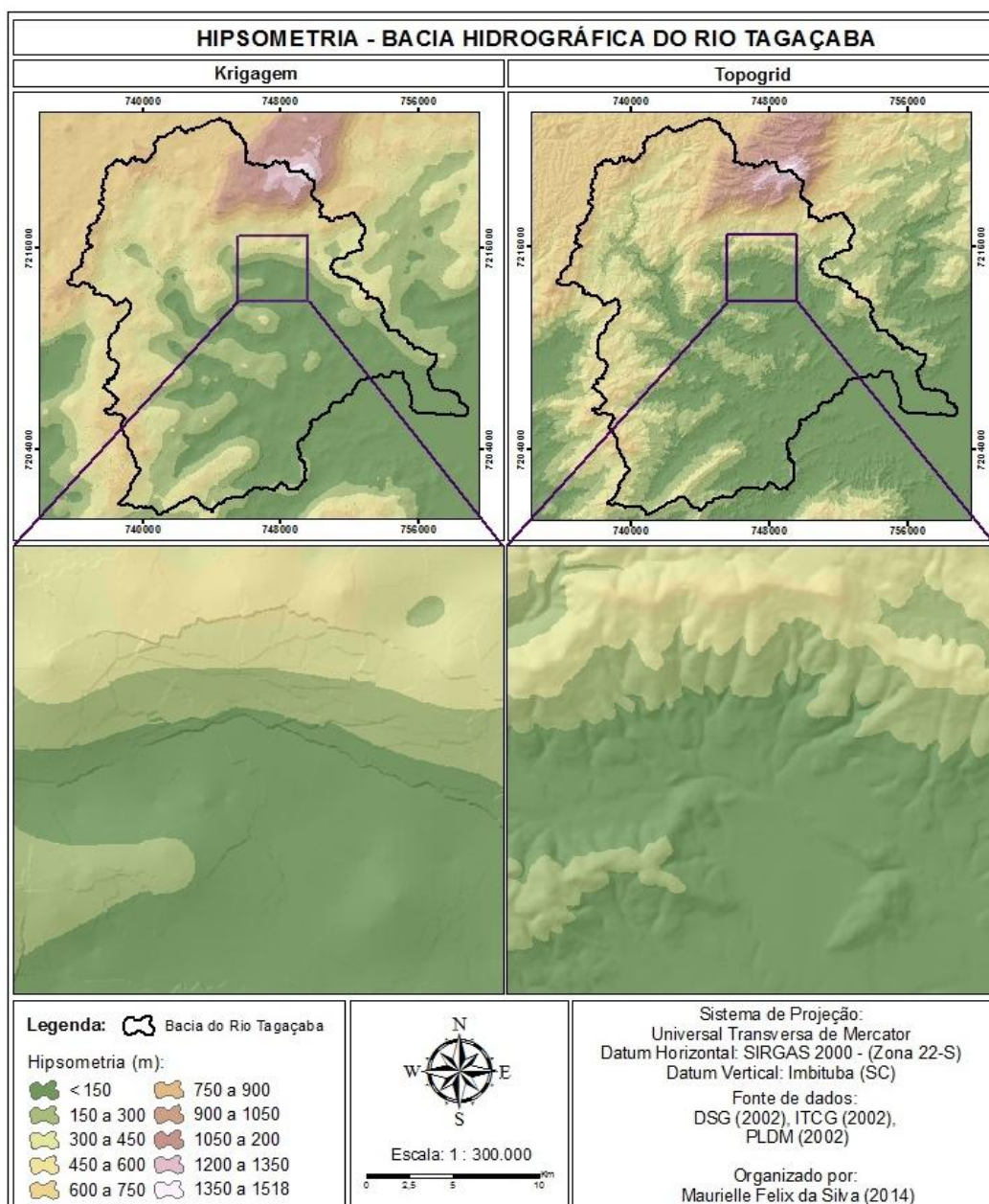


Figura 5: Representação da Hipsometria derivada de modelos digitais do terreno de gerados por Krigagem e Topogrid.

Nota-se que no MDT gerado pelo interpolador Topogrid onde as informações da hidrografia e curvas nível são também utilizadas, há um maior detalhamento do relevo. A diferença é notória tanto em maior como em maior escala.

Segundo Chaves (2002) O modelo gerado deve ser fiel na representação do relevo e deve assegurar a convergência do escoamento

superficial para e ao longo da drenagem mapeada, garantindo assim a sua consistência hidrológica.

Neste caso, fica evidente que o MDT gerado pelo método Topogrid resultou mais próximo ao relevo local.

Também é possível verificar a influência da hidrografia no modelado do relevo, onde o sentido do escoamento do fluxo hídrico se dispõe das áreas de maior para menor altitude (Figura 6):

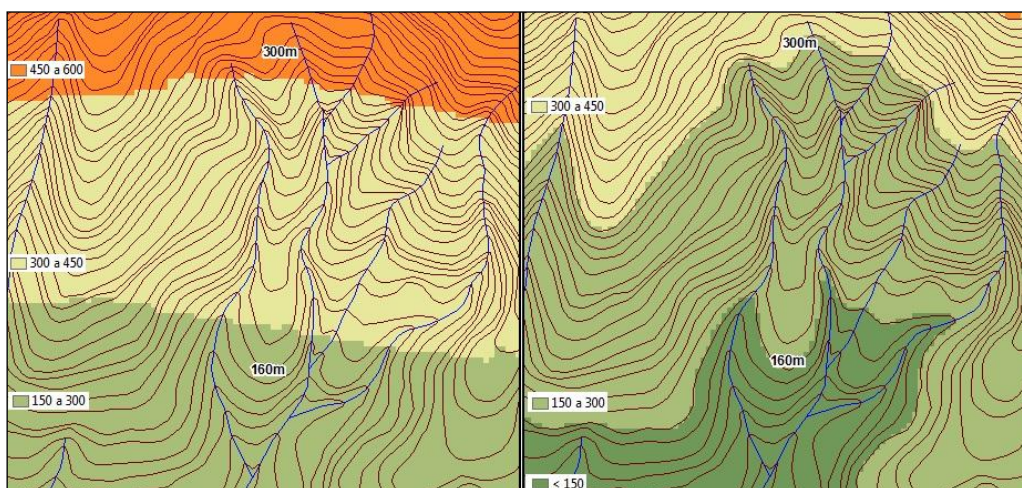
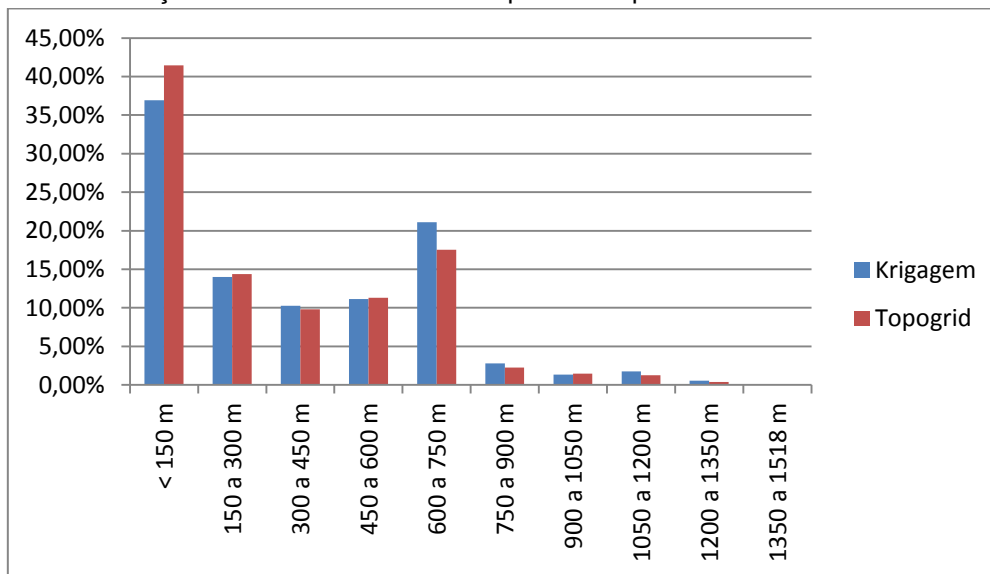


Figura 6: Representação da Hipsometria juntamente com as curvas de nível disponíveis na base cartográfica e drenagem nos MDT's gerados por Krigagem e Topogrid respectivamente.

O Gráfico 1 mostra por meio da relativização dos dados – número de células de cada classe de Hipsometria pelo número total de células – a diferença na distribuição das células em cada classe.

Gráfico 1: Distribuição relativa dos valores de Hipsometria por MDT.



Org.: A autora.

A quantidade de células com o valor da altimetria, quando analisada quantitativamente, mostra que ambos os métodos de interpolação apresentaram resultados semelhantes. As diferenças se deram na distribuição e discretização das classes hipsométricas.

Fica evidente que, na classe 450 a 600m, por exemplo, a quantidade de células é praticamente a mesma, ou seja, os pixels da imagem que foram classificados neste intervalo de altitude é praticamente igual em ambos modelos. Porém quando as informações são espacializadas observa-se que a informação é distribuída de maneira distinta e se obtém diferentes representações da mesma superfície do relevo. Este comportamento é observado em quase todas as classes, exceto >150m e 600 a 750m, onde a discrepância de dos valores é mais evidenciada.

Em relação ao atributo topográfico Declividade, nota-se que no resultado obtido pelo inetrpolador Topogrid há maior distribuição de valores, representando um relevo mais acidentado.

No resultado obtido pelo interpolador da Krigagem, nota-se uma suavização do relevo. Em maior escala, algumas áreas aparentam ter maior declive, porém ao observar o resultado da modelagem com as curvas de nível,

nota-se que as declividades maiores que 75% não correspondem à topografia local (Figura 7).

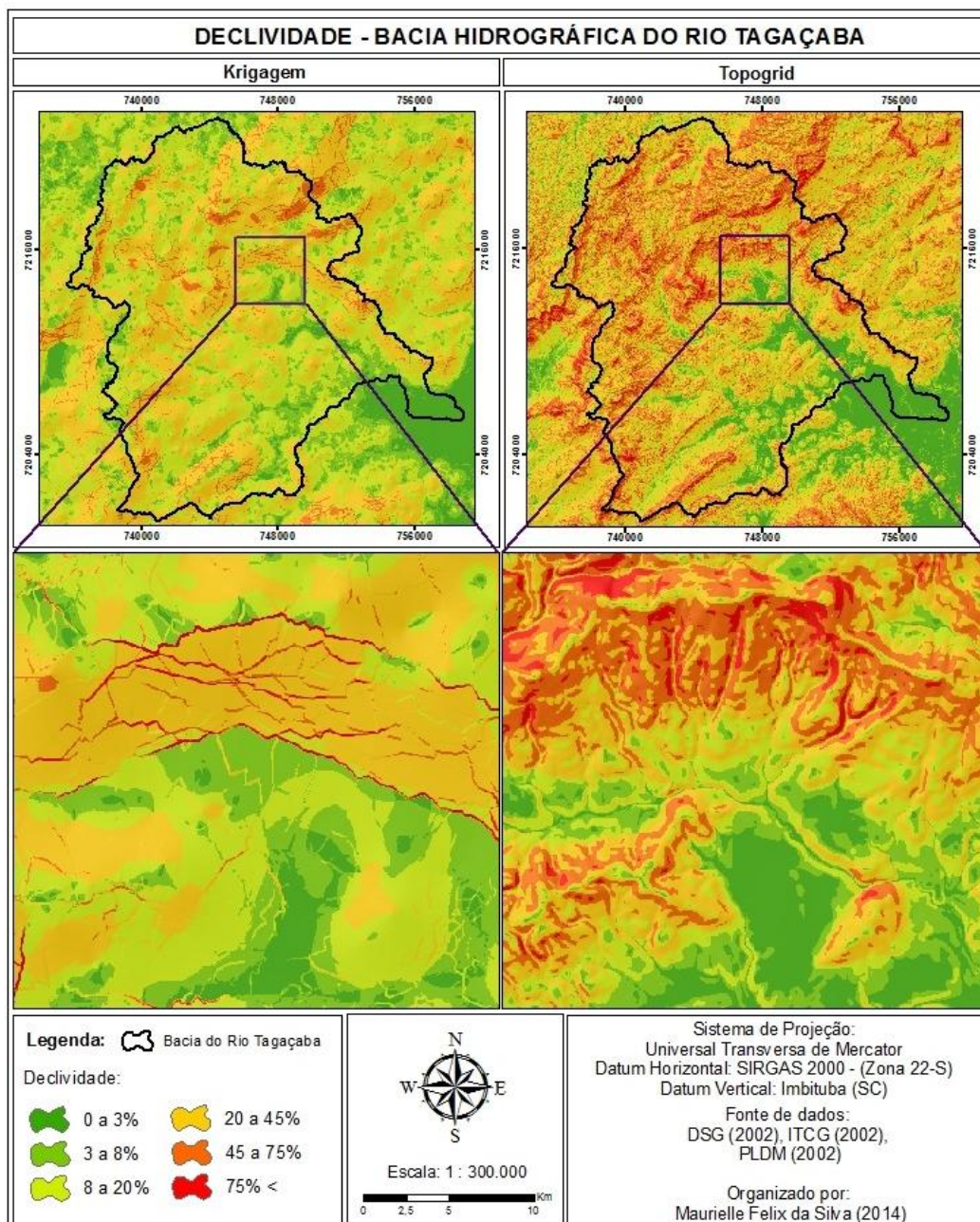


Figura 7: Representação da Declividade derivada de modelos digitais do terreno gerados a partir da Krigagem e Topogrid.

Ao observar a representação da Declividade em conjunto com as curvas de nível, é evidente a suavização do relevo no resultado obtido pela Krigagem,



mesmo quando as curvas de nível estão muito próximas umas das outras (Figura 8):

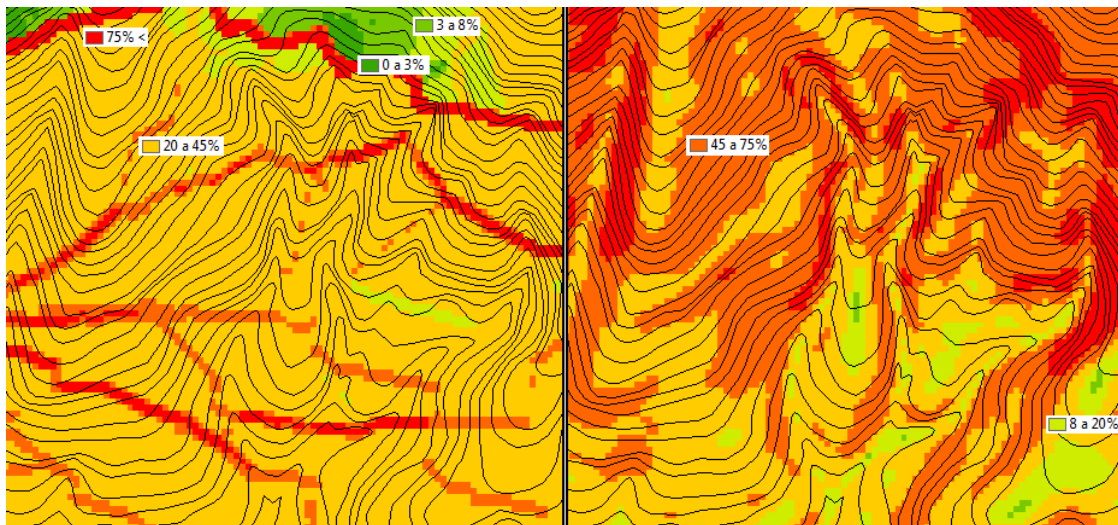
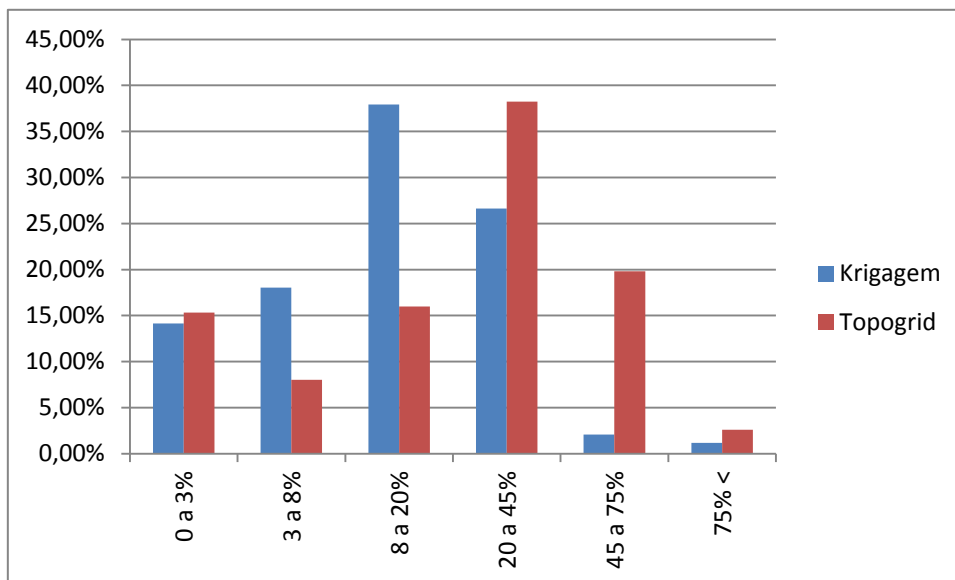


Figura 8: Representação da Declividade juntamente com as curvas de nível da base cartográfica nos MDT's gerados por Krigagem e Topogrid respectivamente.

O Gráfico 2 mostra a discrepância nos valores de Declividade nos resultados gerados, sendo mais evidente nas classes 8 a 20%, 20 a 45% e 45 a 75%.

Nota-se novamente que a Declividade obtida pela Krigagem expressa um relevo mais suavizado, no entanto, a Declividade gerada pelo Topogrid expressa de maneira mais próxima ao real o comportamento do relevo da região, pois a Bacia do rio Tagaçaba está inserida na unidade Geomorfológica da Serra do Mar Paranaense, onde o relevo possui característica de relevo montanhoso e escarpado (KOZCIAK, 2005).

Gráfico 2: Distribuição relativa dos valores de Declividade por MDT.



Org.: A autora.

O atributo topográfico Perfil de Curvatura, foi evidentemente melhor representado no MDT gerado por Topogrid, onde os diferentes perfis côncavo, retilíneo e convexo foram identificados (Figura 9) e corresponderam ao alinhamento das curvas de nível e drenagem.

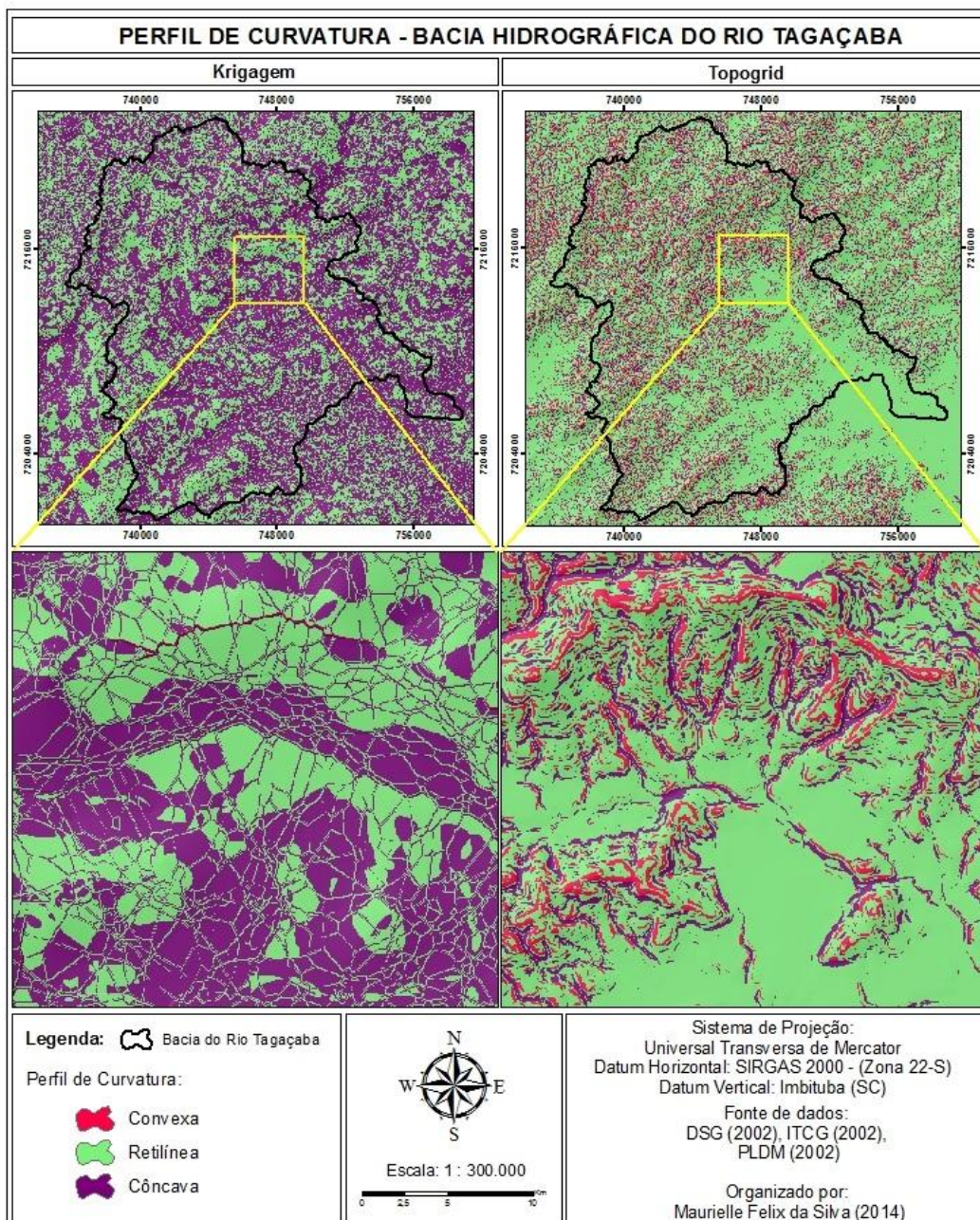


Figura 9: Representação do Perfil de Curvatura derivado de modelos digitais do terreno gerados pela Krigagem e Topogrid.

Uma das maneiras de se verificar o atributo é onde a drenagem está localizada, pois é nos perfis côncavos que ocorre a acumulação do fluxo hídrico (Figura 10). Observa-se que o resultado obtido pelo Topogrid, a modelagem corresponde melhor à configuração do relevo.

Quando se utiliza a Krigagem os perfis das áreas correspondentes ao perfil côncavo não coincidem com as linhas de drenagem.

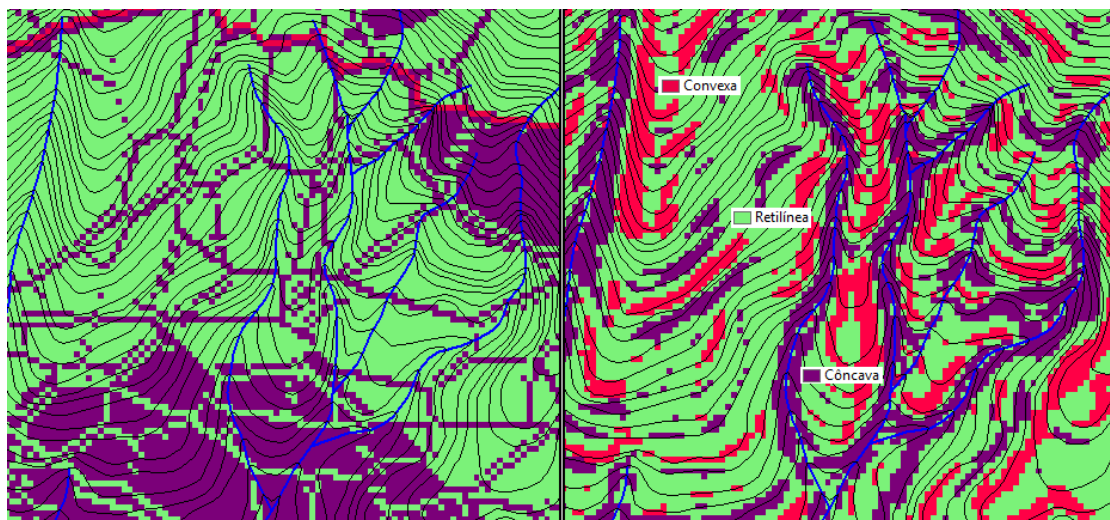
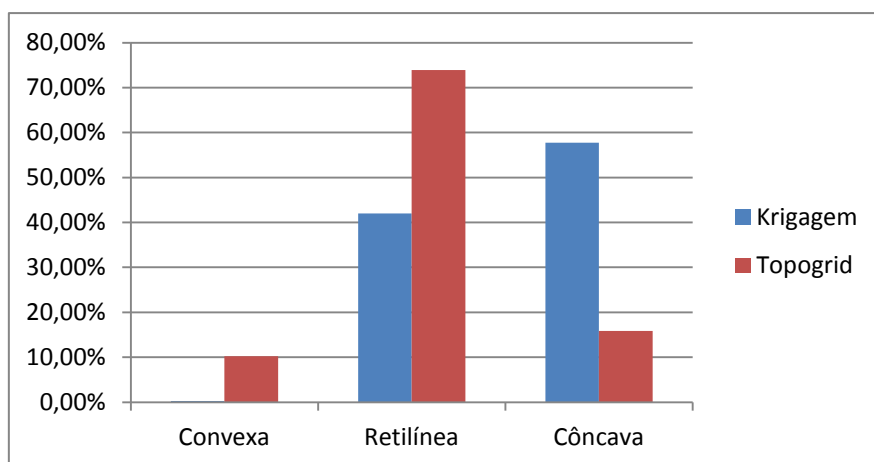


Figura 10: Representação do Perfil de Curvatura juntamente com as curvas de nível nos MDT's gerados por Krigagem e Topogrid respectivamente.

O Gráfico 3 evidencia que não houve quantidade expressiva de células para a representação das vertentes de perfil convexo com a Krigagem, somente algumas pequenas áreas, porém estas não fazem correspondência com a drenagem, sobre tudo nos canais de primeira ordem.

Gráfico 3: Distribuição relativa dos valores de Perfil de Curvatura por MDT.



Org.: A autora.

Em análises que envolvem transporte de material e/ou acumulação e dispersão de materiais e fluxo hídrico, informações sobre o Perfil de Curvatura

são de extrema relevância. Um exemplo de aplicação se refere a variabilidade espacial dos solos.

De acordo com Chagas (2006) a influência deste atributo topográfico se refere ao controle que as formas côncavas e convexas exercem sobre a distribuição do fluxo hídrico e materiais solúveis nas vertentes.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os MDT's gerados pelos interpoladores Krigagem e Topogrid, resultaram em discrepantes representações dos atributos topográficos isoladamente e quando sobrepostos com informações da base cartográfica existente uma vez que metodologia adotada mostrou-se satisfatória e subsidiou a comparação dos atributos topográficos gerados.

Em relação à Hipsometria, observou-se que o primeiro apresentou uma topografia mais suavizada, com menor nível de detalhamento e o segundo apresentou maior conformidade com os dados de curvas de nível e linhas de drenagem.

O atributo topográfico Declividade apresentou maior discrepância, sendo que as áreas com maior declive foram representadas no MDT gerado pelo método Topogrid.

Em relação ao Perfil de Curvatura, ficou evidente que o método de interpolação Topogrid é mais apropriado, pois representa as áreas de concentração e dispersão de fluxo hídrico ao longo das vertentes.

O julgamento dos métodos de interpolação não devem se apoiar somente no resultado visual final. Uma vez que informações sobre o relevo são utilizadas no planejamento e tomada de decisão, faz-se necessário analisar se a modelagem está o mais próximo da realidade possível e possuir amplo conhecimento do fenômeno a ser modelado para julgar qual método de interpolação é mais apropriado.

Finalmente defende-se, além do conhecimento do fenômeno, a realização de campanhas de campo para medições e um aprofundamento no entendimento dos métodos de interpolação utilizados na geração de MDT's e suas implicações na geração dos atributos topográficos para que, no futuro, haja uma melhor compreensão e uma adoção mais criteriosa de interpoladores na modelagem de relevo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems of land resources assesment**. Francis e Taylor, 1986. 185p.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 1998.

CHAGAS, C. S. **Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros**. Viçosa, 2006. 223p. (Doutorado -Universidade Federal de Viçosa - UFV).

CHAVES, M. A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica**. 2002. 113 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

DALMOLIN, Q.; SANTOS, D. R. **Sistema Lasersanning: conceitos e princípios de funcionamento**. Curitiba, UFPR. 2003.

FELGUEIRAS, C. A. E.; GOODCHILD, M. F. **Two Papers on Triangulated Surface Modeling**. Santa Bárbara: University of California, 1995.

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem Numérica de Terreno**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas – INPE, 2001.

HENGL, T. **Finding the right pixel size**. Computers & Geosciences, v.32, p.1283-1298, 2006.

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

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.

KOZCIAK, S. **Análise Determinística da Estabilidade de Vertentes na Bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná**. Curitiba, 2005, p. 151. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental). Universidade Federal do Paraná.

Landim, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: Editora UNESP, 2003. 2. ed. Rev. Eampl. 253 p.

McBRATNEY, A. B.; MENDONÇA-SANTOS, M. L.; MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma**, v. 117, p. 3-52, 2003.

MENEZES, J. C. **Interpolação de modelos digitais de terreno a partir de isolinhas**. Curitiba, 1992. 170p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas / José Iguelmar Miranda**. – 2. ed. rev. atual. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 425 p.

MOORE, I.D., GRAYSON, R.B., LADSON, A. R. Digital terrain modeling: A review of Hydrological, geomorphological an biological applications. **Hydrological Processes**, v. 5, p. 3-30, 1991.

NAMIKAWA, L. M. *et al.* **Modelagem numérica de terreno e aplicações**. São José dos Campos: Deposited in the URLib collection, 2003.

NOGUEIRA, J. D. L; AMARAL, R. F. **Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros - RN**. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p.4117-4123.

OLIVEIRA, G. B.; IMAI, N. **Interpoladores: modelos digitais do terreno: grades regulares e irregulares e suas características**. Presidente Prudente: UNESP, 2010.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento Tecnologia Transdisciplinar**. Cap. 9 – Modelo Digital do Terreno. Minas Gerais: Ed. Do Autor, 2000.

ROSSI, R. E.; DUNGAN, J. L.; BECK, L. R. Kriging in the shadows: geoestatistical interpolation for remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 1, p. 32-40, 1994.

SAITO, N. S. **Modelos digitais de elevação na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre - Espírito Santo**. Jerônimo Monteiro, 2011, 120 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal DO Espírito Santo.

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.** Curitiba, 2010, 153 f. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

SIRTOLI, A. V. **Mapeamento de Solos Com Auxílio da Geologia, Atributos do Terreno e Índices Espectrais Integrados Por Redes Neurais Artificiais.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008. 114f. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

VALERIANO, M. M. **Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem.** São José dos Campos: INPE, 2002. 54 p. (INPE-9364-RPQ/736).

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VEIGA, L. A. K. **Automação Topográfica.** Apostila. Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal do Paraná. 2006.

WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. Digital terrain analysis, chapter 1. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (eds.). **Terrain analysis: principles and applications.** New York: John Wiley & Sons, p.1-27, 2000.