

AVALIAÇÃO DE INTERPOLADORES DETERMINÍSTICOS PARA OBTENÇÃO DE MODELO NUMÉRICO DO TERRENO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARATU, EM JOÃO PESSOA-PB

**GISELIANE DA SILVA GOMES¹
JUSSARA SEVERO DA SILVA²
EUGÊNIO PACELLI FERNANDES LEITE³**

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar diferentes interpoladores determinísticos voltados à obtenção de modelos numéricos de terreno da bacia hidrográfica do Rio Aratu, em João Pessoa (PB). Foram testados métodos de interpolação disponíveis no sistema SPRING com o objetivo de definir um MNT do relevo da área estudada, a partir da utilização de 527 amostras de pontos cotados. Os métodos de interpolação considerados foram Vizinho mais Próximo, Média Simples, Média Ponderada, Média Ponderada por Quadrante e Média Ponderada por Cota e Quadrante, com o que foram obtidas grades retangulares de resolução 2,5 m x 2,5 m. Já para a obtenção de grades retangulares, a partir da Triangulação de Delaunay, utilizaram-se os interpoladores Linear, Quintico com Linhas de Quebra e Quintico sem Linhas de Quebra. Os MNTs obtidos foram avaliados, inicialmente, a partir da observação de modelos tridimensionais, selecionando-se aqueles mais adequados à identificação da geomorfologia da área. A seguir, foram estabelecidos os procedimentos estatísticos AIC (Critério de Informação de Akaike) e EQM (Erro Quadrático Médio) para avaliação dos três MNTs, que melhor possibilitaram a visualização do relevo da área, identificando-se, ao final, o interpolador Média Ponderada por Cota e Quadrante como o que apresentou o melhor resultado.

Palavras-chave: MNT, bacia hidrográfica, Rio Aratu.

ABSTRACT

The present work aims to evaluate of deterministic interpolation methods to obtain the Rio Aratu watershed Digital Elevation Model (DEM) in order to study geomorphologic aspects. The Rio Aratu is located in João Pessoa, Paraíba State, Brazil. For this, the interpolation methods Nearest Neighbor, Simple Mean, Weighted Mean, Weighted Mean by Quadrant, Weighted Mean by Quadrant and Elevation were used. Grids with resolution of 2,5 m x 2,5 m were produced from than 527 elevation data points. After the build a Delaunay Triangulation, also had been used the methods Linear, Quintic Surface with Breaklines and Quintic Surface without Breaklines to produce grids with the same resolution. The all used methods are implemented in the SPRING GIS. The DEMs produced, in all the cases, initially were evaluated by using visualization of three-dimensional models and the more adjusted for identification of morphologic aspects of the study were selected. After that, statistical procedures (Akaike Information Criterion and Mean Squared Error) were used to evaluate the three MNTs that had better represented the study area relief. The most satisfactory results were achieved using the Weighted Mean by Quadrant and Elevation interpolator.

Keywords: DTM, watershed, Rio Aratu.

¹ Estudante do Curso Tecnologia em Geoprocessamento CEFET/PB. E-mail: giseliane_jp@yahoo.com.br

² Estudante do Curso Tecnologia em Geoprocessamento CEFET/PB. E-mail: jussarasevero@yahoo.com.br

³ Professor Titular CEFET/PB. E-mail: eupaf@yahoo.com.br

1 – INTRODUÇÃO

Segundo Câmara et al (2001), um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial, que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo, geológicos, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informações meteorológicas e dados geofísicos e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MNT.

Os modelos numéricos do terreno, com vistas à aplicação no estudo da paisagem, possibilitam a obtenção de informações com uso diversificado em estudo de recursos naturais, sob a égide de vários ramos de conhecimento.

Os MNTs, portanto, constituem-se em dados espaciais com aplicabilidade garantida para a análise e a avaliação de terrenos, habitualmente realizadas na cartografia geotécnica e geoambiental.

Alguns exemplos de aplicações de MNT são relatados por Florinsky (1998) como sendo a predição e o mapeamento de processos de salinização do solo em escala local, regional e subcontinental, a predição e mapeamento do risco de erosão do solo, em escala de bacias hidrográficas, a modelagem e mapeamento espaço-temporal do ciclo hidrológico sob diversos aspectos e a predição e mapeamento da migração e acumulação de agentes poluentes.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar diferentes interpoladores para a obtenção do MNT de área do retângulo envolvente da bacia hidrográfica do Rio Aratu, em João Pessoa(PB). A bacia do Rio Aratu é uma microbacia flúvio-marinha, com área de drenagem completamente incluída no município de João Pessoa.

Para a realização do trabalho foram utilizados interpoladores determinísticos

implementados no SIG SPRING (Câmara et al., 1996) e procedimentos estatísticos executados com o sistema computacional R (R Development Core Team, 2006). Os métodos determinísticos de interpolação, diferentemente dos estocásticos, não se atêm à aleatoriedade (Soares, 2004).

2 – MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo, a bacia hidrográfica do Rio Aratu, é uma microbacia flúvio-marinha, localizada no município de João Pessoa (Figura 1), que apresenta uma tendência a forte antropização, com a expansão urbana da cidade. Apesar da pequena extensão da área, na bacia existem remanescentes de Mata Atlântica e setores de Manguezal.

Os dados geográficos utilizados constituíram-se de 527 pontos cotados, situados na área da bacia. Os pontos, produtos de restituição fotogramétrica, datam de 1998. Apesar de os dados utilizados contarem já com certo tempo de aquisição, prestam-se ao propósito de execução do estudo, tendo em vista a cobertura vegetal existente na área e, portanto, a não ocorrência, ainda, de profundas alterações do relevo, apesar da tendência à antropização citada anteriormente.

Após a integração de dados no SPRING, o passo seguinte foi a geração de MNTs, na forma de grades retangulares, a partir das amostras de altitudes, com resolução de 2,5 m x 2,5 m. Os interpoladores utilizados foram Vizinho mais Próximo, Média Simples, Média Ponderada, Média Ponderada por Quadrante e Média Ponderada por Cota e Quadrante.

No, SPRING, grades retangulares (MNTs) também são obtidas a partir de grades triangulares ou TINs (Tringulated Irregular Network) construídas utilizando Triangulação de Delauney. Assim sendo, foram usadas grades triangulares para se obter MNTs, com a mesma resolução citada. Nesse caso, tendo como algoritmos interpoladores o Linear, Quintico com Linhas de Quebra e Quintico sem Linhas de Quebra.

Os procedimentos observados na execução de cada método de interpolação têm descrição sucinta, a seguir:

- Vizinho mais Próximo - para cada posição (x,y) da grade o sistema atribui a cota da amostra mais próxima;
- Média Simples - o valor da cota de cada posição (x,y) da grade é estimado a partir da média simples das cotas dos 8 vizinhos mais próximos;
- Média Ponderada - o valor da cota de cada ponto da grade é calculado a partir da média ponderada das cotas dos 8 vizinhos mais próximos, atribuindo-se pesos variados para cada ponto amostrado, através de uma função que considera a distância do ponto cotado ao ponto da grade;
- Média Ponderada por Quadrante - este interpolador calcula a média ponderada utilizando a função de interpolação anterior, contudo, é considerada uma amostra por quadrante, em total de 4 amostras.
- Média Ponderada por Cota e Quadrante - além da restrição de quadrante observada para o método anterior, existe a restrição de número limitado de amostras por valor de elevação, em que não se permite amostras com cotas repetidas.
- Linear - um plano é ajustado para cada célula da grade triangular, para determinar os valores de z em cada posição xy dentro do triângulo.
- Quintico - ajusta uma superfície ao retalho da grade triangular, utilizando um polinômio do quinto grau.

Para cada grade obtida, de acordo ainda com a execução dos procedimentos de interpolação no SPRING, também foram obtidas imagens sombreadas, utilizadas para renderização da superfície em apreciação, durante a visualização tridimensional dos modelos, conforme explicitado mais adiante.

Maiores informações a respeito dos métodos e procedimentos supracitados podem ser encontradas no arquivo de ajuda do SPRING (SPRING/INPE, 2006).

A seleção dos MNTs que melhor representaram as feições geomorfológicas da área, inicialmente, foi realizada com base na análise tridimensional do relevo. O procedimento, executado com todas as grades obtidas, teve como ferramenta o módulo de visualização 3D do SPRING, utilizando, como textura, imagens sombreadas, obtidas juntamente a cada uma das grades, conforme citado anteriormente.

Para cada um dos procedimentos de interpolação realizados, procedeu-se à visualização tridimensional dos modelos obtidos, com projeção paralela. Os valores utilizados para azimute, elevação e exagero vertical foram, respectivamente, 240°, 25° e 0,3 m. Os respectivos valores, em consonância com o tipo de projeção selecionada, propiciaram melhores condições para apreciação dos modelos.

Após a seleção inicial, fez-se uso dos critérios numéricos AIC (Critério de Informação de Akaike) e do EQM (Erro Quadrático Médio), que foram determinados, utilizando o sistema estatístico R (R Development Core Team, 2006), para três modelos advindos da seleção realizada com base na visualização tridimensional.

O AIC (Akaike, 1994), estatística estabelecida a partir da distância de Kulback e Leibler (1951), corresponde a uma medida da discrepância entre as curvas de um modelo verdadeiro e de um modelo aproximado. É um índice para apreciação de ajuste de modelos que depende do logaritmo da função de verossimilhança maximizada e do número de parâmetros do modelo em questão. O AIC é fornecido pela Equação 1:

$$AIC = -2 \ell(\theta) + 2k \quad (1)$$

Em que:

$\ell(\theta)$ - Logaritmo da função de verossimilhança maximizada.

K - Número de parâmetros do modelo avaliado.

Segundo Anselin (1995), o menor valor estimado para o AIC indica o modelo mais apropriado para os dados.

O Erro Quadrático Médio (EQM) ou Mean Square Error (MSE) pode ser estimado por:

$$\text{EQM: } \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z_{x_i} - \check{Z}_{x_i}]^2 \quad (2)$$

Em que:

Z_{x_i} - Valor observado de Z para a posição x_i .

\check{Z}_{x_i} - Corresponde ao valor predito de Z para a posição x_i .

O Erro Quadrático Médio tem ampla utilização devido ao fato de poder ser usado para a determinação da variância dos desvios de estimação, se a média dos desvios é nula. O modelo a ser escolhido, com base no EQM é o que apresenta o menor valor desse parâmetro.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a elaboração das grades retangulares, com base nas visualizações 3D geradas para cada processo de interpolação, buscou-se avaliar qual dos interpoladores melhor se adequava à obtenção do MNT da região em estudo. Para essa análise, foram utilizadas as visualizações, com textura baseada nas imagens sombreadas, apresentadas nas Figuras de 2 a 6.

As Figuras 2 e 3 correspondem, respectivamente, aos interpoladores Vizinho Mais Próximo e Média Simples que apresentaram resultados bastante

grosseiros, não representando adequadamente o relevo da região. O fato é verificado, em consonância com o que se observa na Figura 2, em que as células da imagem apresentam-se em degraus, de acordo com a altitude que representa. O mesmo ocorre na Figura 3, em menor intensidade.

Os interpoladores de média ponderada (Figuras 4 a 6) apresentaram melhor resultado que os anteriores, quando foi possível o delineamento das vertentes do rio, fato este que não ocorreu com os outros dois interpoladores, citados anteriormente.

Ainda com relação aos interpoladores de média ponderada (Média Ponderada, Média Ponderada por Quadrante e Média Ponderada por Cota e Quadrante), o da Média Ponderada apresentou um resultado satisfatório ao representar com pequenos picos, as regiões de maior altitude.

Os interpoladores Média Ponderada por Quadrante (Figura 5) e Média Ponderada por Cota e Quadrante (Figura 6) apresentaram os resultados mais satisfatórios, deixando a delimitação do vale do rio mais visível do que os demais.

Já na geração de grades retangulares a partir da TIN, obtidas pelos interpoladores Linear, Quintico com Linhas de Quebra e Quintico sem Linhas de Quebra, ficou evidente a melhor conformidade com o relevo produzido pelo primeiro interpolador, o Linear (Figura 7), apesar de uma certa descontinuidade entre os limites da células do modelo. Já os interpoladores Quintico com Linhas de Quebra (Figura 8) e Quintico sem Linhas de Quebra (Figura 9), apresentaram resultados bastante semelhantes, gerando uma superfície mais suave. No entanto, os modelos apresentaram picos em total desconformidade com a realidade do relevo, devendo ser mais utilizados para regiões onde há linhas de vales ou cristas muito realçadas.

A partir das considerações anteriores, procedeu-se à determinação do AIC e EQM para os modelos Linear, Média Ponderada por Quadrante e Média Ponderada por Cota e Quadrante. Para efetivação dessas análises,

foram selecionados, de forma aleatória, 50 pontos de dados. A seleção foi efetuada com o auxílio do gerenciador de banco de dados PostgreSQL.

Feita a seleção, a determinação do EQM e do AIC procedeu-se no sistema estatístico R, sendo o primeiro realizado com base nos resíduos obtidos entre valor observado e valor interpolado, para cada posição na grade. O segundo, por sua vez, foi estabelecido com base em modelo linear ajustado entre os valores observados e os valores preditos por cada interpolador. Os resultados obtidos das análises constam na Tabela 1.

De acordo com os resultados constantes na referida Tabela, os valores correspondentes ao EQM (Erro Quadrático Médio) apresentaram-se bastante aproximados, de forma a não possibilitarem, a partir de tal critério, identificar qual o método a ser selecionado para elaboração do MNT da área em estudo. Desta forma, os valores retornados pelo AIC passaram a ser decisivos, elegendo o interpolador Média Ponderada por Cota e Quadrante como o mais confiável, por apresentar o menor valor para este critério. As diferenças entre os valores de AIC observados entre os interpoladores Média Ponderada por Cota e Quadrante e Média Ponderada por Quadrante foi de 9,765. No caso do AIC apresentado pelo interpolador Linear, quando comparado ao do interpolador Média Ponderada por Cota e Quadrante, que obteve menor valor para esse critério, a diferença verificada foi de 6,324. As diferenças anteriores, tendo em vista o valor máximo observado para o índice em questão (48,218), em termos percentuais correspondem, respectivamente, a 20,251 % e a 13,115 %.

4 – CONCLUSÕES

A Modelagem Numérica de Terreno constitui-se em uma ferramenta computacional poderosa, auxiliando no estudo de um determinado fenômeno, distribuído espacialmente. Neste trabalho, a variável estudada foram pontos de altitudes, em que se avaliou diferentes interpoladores, com vistas à elaboração de um MNT que melhor representasse o relevo da área da bacia hidrográfica do Rio Aratu. Durante este processo, foi possível verificar os resultados retornados por interpoladores disponíveis no SPRING. Pôde-se verificar então, que dentre os interpoladores utilizados para geração de grade retangular a partir das amostras, os melhores foram Média Ponderada por Quadrante e Média Ponderada por Cota e Quadrante. Os modelos obtidos pelos referidos métodos representaram, de forma bem delineada e condizente com o relevo da área, o canal fluvial do Rio Aratu. O interpolador Linear utilizado na geração de grade retangular a partir da TIN de Delaunay, dentre todos, foi o que apresentou uma superfície 3D mais agradável. Contudo o critério decisivo para escolha do melhor modelo foi o AIC, que elegeu o interpolador Média Ponderada por Cota e Quadrante como o mais adequado. O fato é pertinente no sentido de que, a exemplo do que se verifica em análises geoestatísticas, por ocasião da modelagem do semivariograma empírico, a apreciação visual de modelos nem sempre mostra-se efetiva, fato que se pode constatar na literatura específica.

TABELA 1 – Resultados do AIC e EQM para os interpoladores com melhores resultados de visualização em 3D.

Interpolador	AIC	EQM (m)
Linear	44,777	0,021
Média Ponderada por Quadrante	48,218	0,021
Média Ponderada por Cota e Quadrante	38,453	0,024

REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. (1994) – “Implications of the informational point of view on the development of statistical science”. **Engineering and Scientific Applications**, vol. 3. p. 27–38.
- ANSELIN, L. (1995) – “**SpaceStat version 1.80: user’s guide**”. Morgantown: Regional Research Institute, West Virginia University.
- CÂMARA G, SOUZA R.C.M., FREITAS U.M. & GARRIDO, J. (1996) – “SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling”. **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun.
- CÂMARA, G.; DAVIS. C.; MONTEIRO, A. M. & D’ALGE, J. C. (2001) – “**Introdução à Ciência da Geoinformação**”. São José dos Campos, INPE.
- FLORINSKY, I. V. (1998) – “Combined analysis of digital terrain models and remotely sensed data in landscape investigations”. **Progress. Physical Geography**, 22. 33–60.
- KULBACK, S. & LEIBLER, R. A. (1951) – On information and sufficiency. **Annals of Mathematical Statistics**, v.22, p.79–86.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2006) – “R: A language and environment for statistical computing”. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- SOARES, A. F. & MANTOVANI, E. C. (2004) – “Uso de Interpoladores Determinísticos na Espacialização de Algumas Propriedades Químicas dos Solos Para Projetos de Agricultura de Precisão”. **1º Congresso Luso-Brasileiro de Tecnologias de Informação e Comunicação na Agropecuária**, 2004, Santarém - Portugal. 1º Congresso Luso-

- Brasileiro de Tecnologias de Informação e Comunicação na Agropecuária.
- SPRING/INPE V4.3.1. (2006) – “Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - **Manual do Usuário**”. São José, dos Campos. URL: <http://www.dpi.inpe.br/spring>

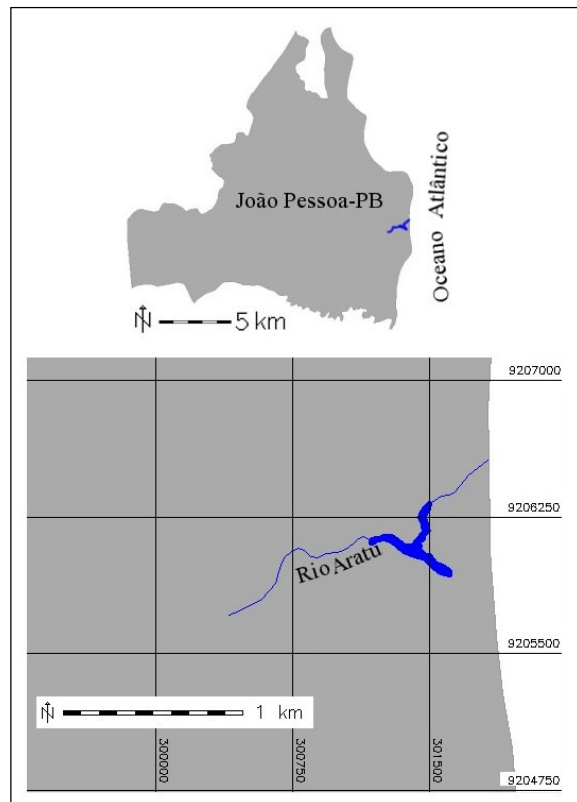


Figura 1. Rio Aratu, em João Pessoa-PB.

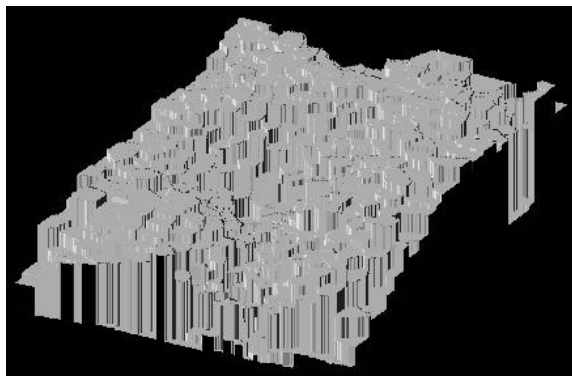


Figura 2. Visualização 3D sombreada obtida a partir do interpolador Vizinho mais Próximo.

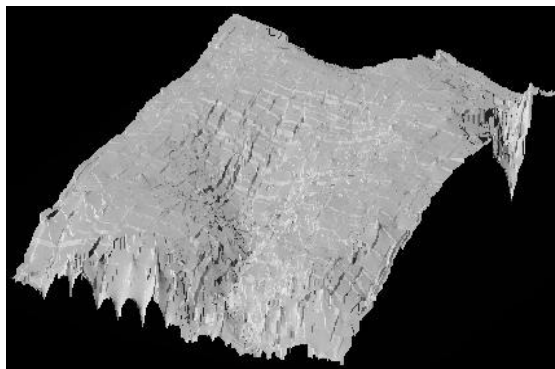


Figura 5. Visualização 3D sombreada obtida a partir do interpolador Média Ponderada Quadrante.

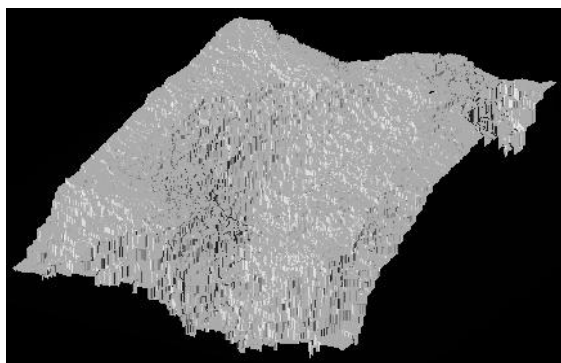


Figura 3. Visualização 3D sombreada obtida a partir do interpolador Média Simples.

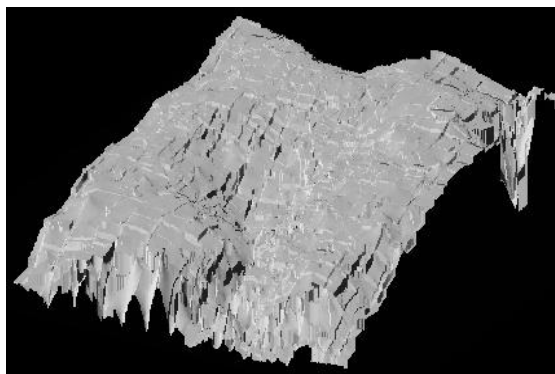


Figura 6. Visualização 3D sombreada obtida a partir do interpolador Média Ponderada por Cota e Quadrante.

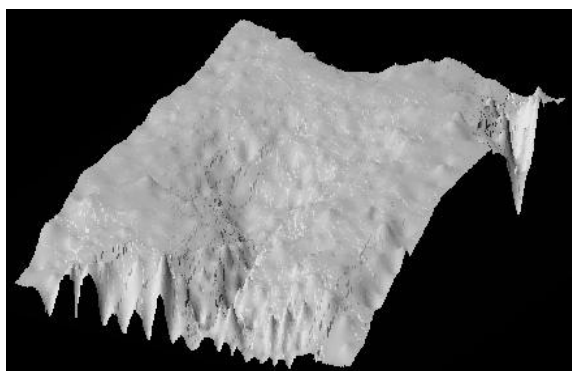


Figura 4. Visualização 3D sombreada obtida a partir do interpolador Média Ponderada.

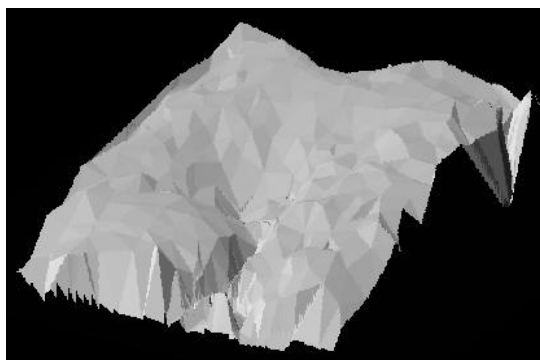


Figura 7. Visualização 3D sombreada obtida a partir do interpolador Linear.

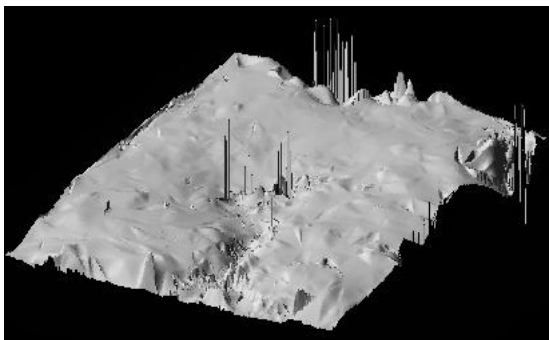


Figura 8. Visualização 3D sombreada obtida a partir do interpolador Quintico com Linhas de Quebra.

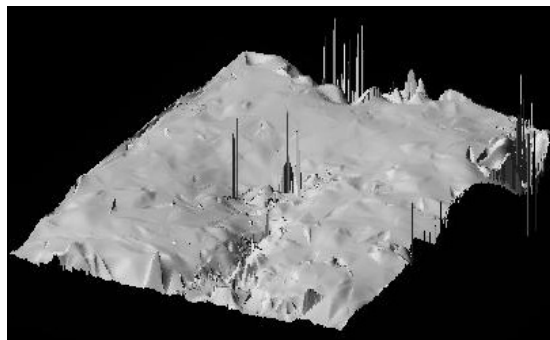


Figura 9. Visualização 3D sombreada obtida a partir do interpolador Quintico sem Linhas de Quebra.