

## **Modelagem geográfica tridimensional na bacia hidrográfica do rio Ipanema, uma comparação entre os métodos de triangulação e inverso do quadrado da distância com uso de SRTM**

Júlio César Cotrim Moreira Filho <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco - UFPE/CTG/DECART  
Caixa Postal 7800 - 50711-970 - Recife - PE, Brasil  
julio.cotrim@ufpe.br

**Abstract.** The use of tools such as remote sensing and geographic information system (GIS) have intensified in recent decades, urban and environmental analysis in becoming a commonly used technique in many areas of research. In the modeling of terrain and land cover and use your contribution is significant for the speed, efficiency and reliability in the analysis involving degradation of natural vegetation, control of forest resources and human activities, development of conservation policies, as well as other factors that may cause changes in vegetation. The low cost of satellite images and their products is one of the factors behind the increased use of technologies like remote sensing and GIS. The river basin is the largest river Ipanema inserted in the state of Alagoas, and shows how a region of great environmental value to this. Thus, it is important to an accurate knowledge about their spatial attributes. For this was chosen in this paper the use of radar system to characterize this area, which has not (until this study) records or precise data concerning their river basin. Hereby it was possible to compare two methods of modeling of relief: the triangulation and the inverse square distance, obtaining a satisfactory result considering the distinction of them.

**Palavras-chave:** remote sensing, terrain modeling, watershed.

### **1. Introdução**

O uso de ferramentas como sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas (SIG) têm-se intensificado nas últimas décadas, em análises ambientais e urbanas se tornando uma técnica comumente usada em diversas áreas de pesquisas. Na modelagem de relevo e uso e cobertura do solo a sua contribuição é expressiva pela rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem degradação da vegetação natural, fiscalização dos recursos florestais e de ações antrópicas, desenvolvimento de políticas conservacionistas, assim como outros fatores que podem ocasionar modificações na vegetação.

Segundo Rosendo (2005), o baixo custo de imagens orbitais e seus produtos é um dos responsáveis pelo aumento da utilização de tecnologias como sensoriamento remoto e SIG.

A bacia hidrográfica do rio Ipanema é a maior bacia inserida no estado de Alagoas, e se mostra como uma região de grande valor ambiental para este. Desta forma, faz-se importante um reconhecimento preciso a respeito de seus atributos geográficos. Para isso foi escolhido neste trabalho o uso de sistema Radar para caracterização desta área, que não apresenta (até a presente pesquisa) registros ou dados precisos referentes à sua região hidrográfica.

Por meio deste foi possível comparar dois métodos de modelagem de relevo: a triangulação e o inverso do quadrado da distância, obtendo um resultado satisfatório quanto a distinção dos mesmos.

### **2. Materiais e Métodos**

#### **2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo**

A bacia hidrográfica do rio Ipanema está situada no território brasileiro, localizada entre os estados de Alagoas e Pernambuco (Figura 1), é uma sub bacia do baixo São Francisco (Figuras 2 e 3).

O Estado de Alagoas compreende dezesseis micro bacias hidrográficas. A maior destas, bacia hidrográfica do rio Ipanema, está localizada em sua maior porção no estado de

Pernambuco, situada entre 08° 18' 04" e 09° 23' 24" de latitude sul, e 36° 36' 28" e 37° 27' 54" de longitude oeste. Sua nascente situa-se no município de Pesqueira, e seu curso ao longo dos estados percorre aproximadamente 139 km, na direção norte-sul, até desaguar no rio São Francisco. A bacia apresenta uma área de aproximadamente 6209,67 km<sup>2</sup>.

A bacia encontra-se com poucas informações e estudos da área, apesar de existirem órgãos públicos e privados instalados em sua localidade com bases pluviométricas e fluviométricas, tais como: INMET, SUDENE, DENOCS, ANA, CHESF, CODEVASF e CPRM.

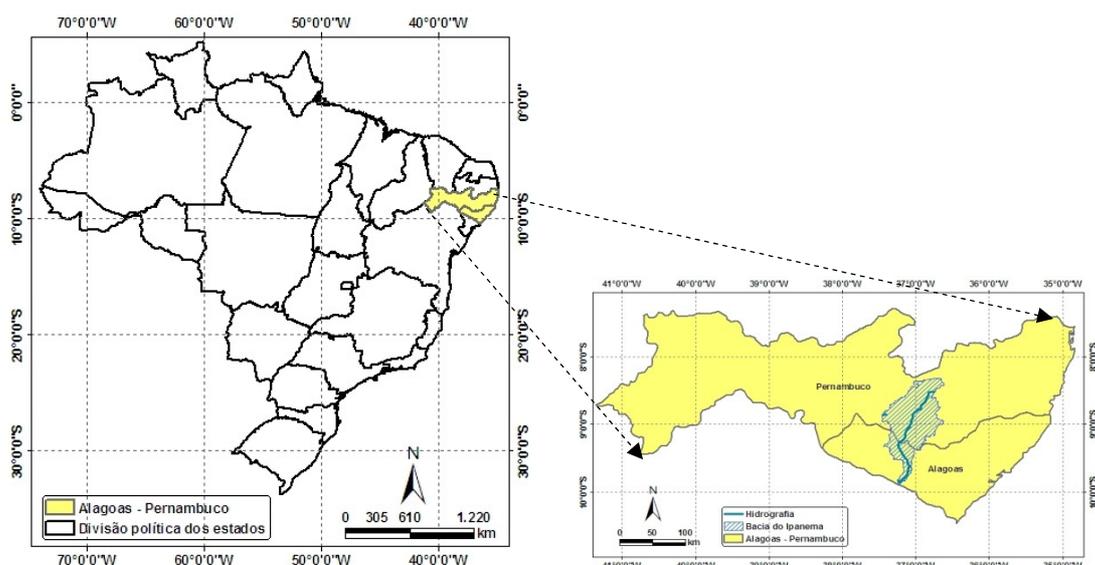


Figura 1. Localização geográfica da micro bacia do rio Ipanema nos estados de Alagoas e Pernambuco.

## 2.2 Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos

Para estabelecer as fases da metodologia, alguns procedimentos foram realizados para auxiliar no desenvolvimento e análise dos resultados (Figura 4).

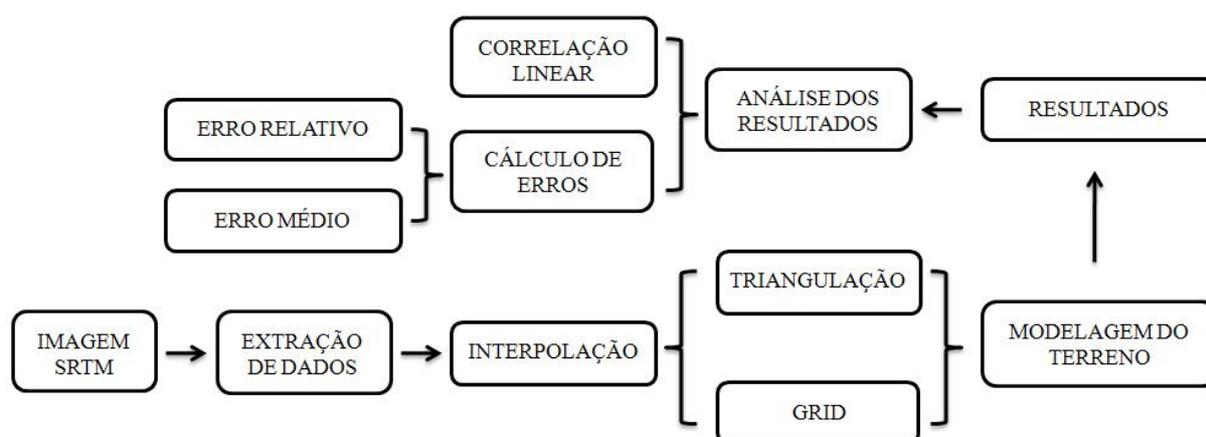


Figura 4. Localização dos municípios da bacia do rio Ipanema.

## 2.3 O SRTM

O SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) advém de cooperação entre a NASA e a *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), do departamento de Defesa (DOD) dos Estados Unidos e das agências espaciais da Alemanha e da Itália. O processamento dos dados

coletados visou à formação de um MDE (Modelo Digital de Elevação) mundial, elaborado por continente, iniciado com a América do Norte. Os MDEs para os Estados Unidos foram gerados sob resolução espacial de 30x30m e de 90x90m para o resto do mundo, com resolução radiométrica de 16 bits. O *datum* e o elipsóide de referência são WGS84, com dados de *z* em metros inteiros, configurados pela NASA. Neste trabalho a imagem foi adquirida através do site <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>.

Para este presente trabalho foram utilizadas duas imagens deste sensor, para que recobrisse a área de estudo completamente. Com isso foi necessário realizar recortes sobre as mesmas para melhor definir o ambiente de estudado, como mostra a Figura 5.

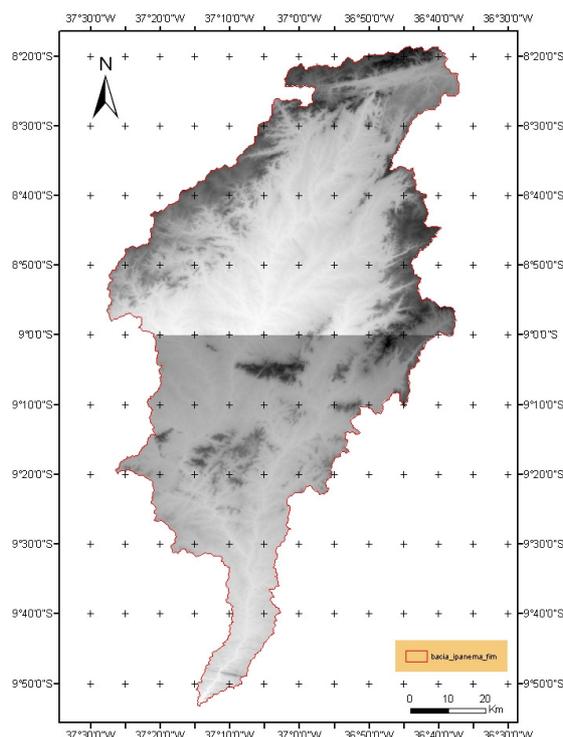


Figura 5. Imagem SRTM recortada na área de estudo.

## 2.4 Métodos de Interpolação

### 2.4.1 Varrimento Linear

Um dos métodos para o desenho de uma rede irregular de triângulos (RIT) é o método do Varrimento Linear. Neste método a entrada de dados é composta de um conjunto de pontos irregularmente distribuídos, e como resultado final obtém-se uma RIT definindo aproximadamente as feições de um terreno (Oliveira, 2002 e Câmara, 1987).

Para o uso deste método, Oliveira (2002) expõe etapas à aplicação do mesmo:

- Obter um conjunto “P” de pontos discretos que representem o relevo;
- Determinar o centro de massa (centróide) de todos os pontos da amostra;
- Determinar o ponto mais próximo (em linha reta) do centróide do conjunto de pontos (ponto focal);
- Traçar segmentos de reta a partir do ponto focal para todos os outros pontos do domínio “P”, de uma forma radial;
- Unir todos os pontos extremos dos segmentos de reta, produzindo assim polígonos fechados (triângulos);
- Fechar as concavidades da triangulação;

O ponto focal é o ponto mais próximo geograficamente do centróide dos pontos pertencentes ao domínio “P”. As Equações 1, 2 e 3 são utilizadas para a determinação do centróide (Oliveira, 2002):

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n Y_i \quad (2)$$

$$C \rightarrow (\bar{X}, \bar{Y}) \quad (3)$$

### 2.4.2 Inverso do Quadrado da Distância

Um método para interpolar a altitude H de um ponto em função das suas coordenadas (x, y), a partir de um conjunto amostra arbitrário, designa-se por Inverso do Quadrado da Distância (IQD) (Miranda, 2010).

O método IQD é um modelo de interpolação pontual, associando a média aritmética pesada a uma vizinhança do ponto a interpolar. Tomando o círculo de raio “r” e centro em (X<sub>p</sub>, Y<sub>p</sub>), a IQD dos pontos constitui uma função interpoladora que é definida de modo diferente em todos os pontos do domínio de interpolação.

Desta forma têm-se as Equações 4, 5, 6 e 7 descritas por (Oliveira, 2002):

$$d_{P-n} = \sqrt{(X_P - X_n)^2 + (Y_P - Y_n)^2} \quad (4)$$

$$\omega_i = \frac{1}{(d_{P-n})^2} \quad (5)$$

$$w_i = \frac{\omega_i}{\sum_{j=1}^n \omega_j} \quad (6)$$

$$IQD = \sum_{i=1}^n (w_i \times H_i) \quad (7)$$

Onde:

- $d_{P-n}$ , é a distância euclidiana;
- $\omega_i$ , é o coeficiente associado à distância;
- $w_i$ , é o peso associado à distância;
- IQD é o valor da nova cota, derivado da média aritmética ponderada pesada.

### 2.5 Correlação Linear

O coeficiente de correlação de Pearson ou coeficiente de correlação produto-momento mede o grau da correlação (e a direção dessa correlação - se positiva ou negativa) entre duas variáveis. Este coeficiente, normalmente representado por “ $\rho$ ” assume apenas valores entre -1 e 1, onde de acordo com (Andriotti, 2005):

- $\rho = 1$  Significa uma correlação perfeita positiva entre as duas variáveis;

- $\rho = -1$  Significa uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis - Isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui;
- $\rho = 0$  Significa que as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. Contudo, pode existir uma correlação não linear. Desta forma, o resultado  $\rho = 0$  deve ser investigado por outros métodos de correlação.

Baseando-se em Andriotti (2005) e Callegari – Jacques (2003), o coeficiente de correlação de Pearson foi calculado segundo as Equações 8, 9 e 10:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{var}(X) \cdot \text{var}(Y)}} \quad (8)$$

Onde, x e y são valores mensurados de ambas as variáveis.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (9)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i \quad (10)$$

Sendo as duas, as médias aritméticas das variáveis.

## 2.6 Cálculo do Erro

O cálculo do erro relativo tornou-se útil, para que fosse exibida a dispersão entre os valores da triangulação e os valores interpolados das amostras do presente trabalho. Os erro relativo e erro médio foram calculados pelas Equações 11 e 12:

$$e_i = \frac{|V_R - V_I|}{V_I} \times 100 \quad (11)$$

$$e_m = \frac{\sum_{i=1}^n e_i}{n} \quad (12)$$

Onde:

- $V_R$  é o valor da variável real;
- $V_I$  é o valor da variável interpolada.
- $e_i$  é o erro relativo da i-ésima observação (%);
- $e_m$ , é o erro médio (%).

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Modelagem Tridimensional

Com o uso do SRTM, foi possível distribuir os dados em uma rede irregular de triângulos (RIT), demonstrando as feições da bacia hidrográfica, resultando em uma modelagem tridimensional (Figura 6). Com os pontos derivados da interpolação IQD também foi possível realizar uma modelagem da bacia (Figura 7).

A rede irregular de triângulos representada na área da bacia mostra uma distribuição dos pontos, extraídos do SRTM, ajustada por triângulos preservando assim os valores altimétricos da mesma. Tornando possível a extração de curvas de nível inseridas na região de estudo. A modelagem da RIT assegura os valores dos pontos (em X, Y e Z) para trabalhos posteriores, preservando as informações pontuais da bacia.

Com os resultados das modelagens mostrados pelas figuras 6 e 7, nota-se que o produto da modelagem por IQD configura uma melhor espacialização das feições do terreno da bacia. Compondo um detalhamento maior sobre os dados de elevação.

As curvas de nível inseridas no mapeamento de triangulações expõem uma menor quantidade de zonas de elevações, devido a apresentação de variadas densidades, o que implica numa redução na redundância dos dados.

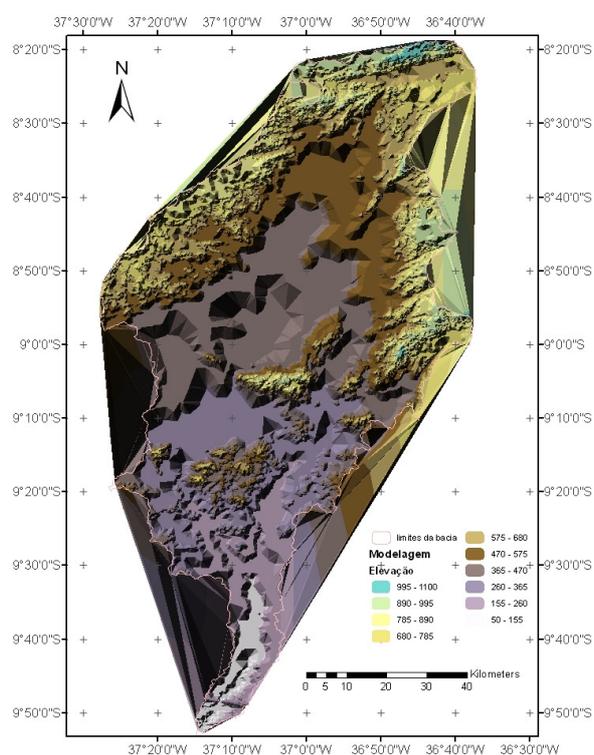


Figura 6. Modelagem derivada da RIT.

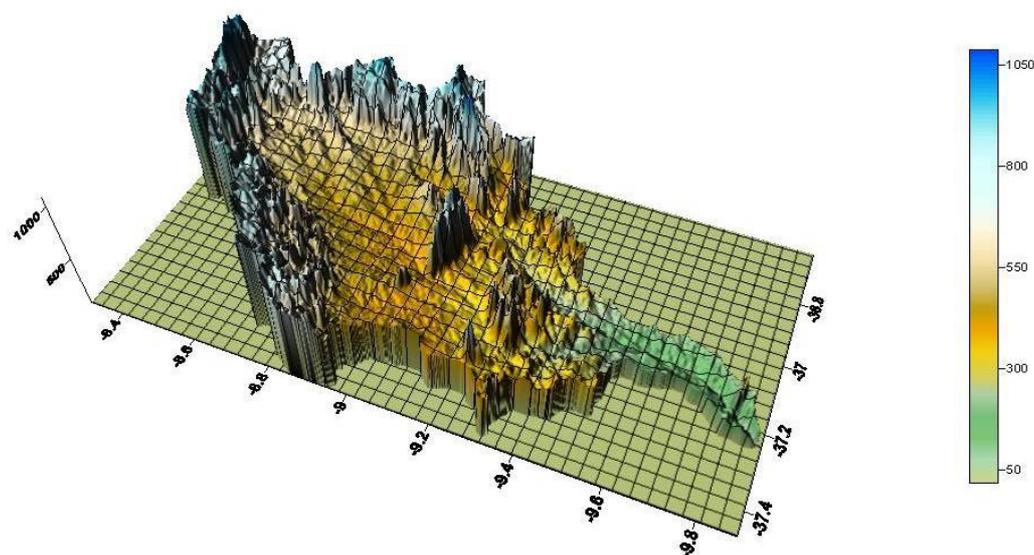


Figura 7. Modelagem por meio do IQD.

### 3.2 Correlação Linear

Foi retirada uma amostra arbitrária de pontos dos dois modelos tridimensionais para uma verificação de correlação linear entre os mesmo. Desta forma foi possível verificar a variação do valor da altitude entre a triangulação e a interpolada por IQD ( $\Delta H$ ), o erro relativo ( $\epsilon$ ) atribuído ao novo valor de altitude e o erro médio ( $e_m$ ) dos pontos analisados. Onde “ $\Delta H$ ” é o valor absoluto, resultante da subtração entre o valor da superfície gerada através da RIT e o valor da interpolação por IQD. A Tabela 1 mostra os resultados encontrados, onde  $Z_t$  são os pontos da RIT e  $Z_i$  os da superfície por IQD.

Tabela 1. Valores das Amostras de  $Z_t$  e  $Z_i$ .

$N^\circ$	$Z_t (m)$	$Z_i (m)$	Erro (%)	$\Delta H (m)$	$N^\circ$	$Z_t (m)$	$Z_i (m)$	Erro (%)	$\Delta H (m)$
1	728,85	727,76	0,149775	1,09	16	376,92	376,64	0,07434	0,28
2	733,21	733,66	0,061336	0,45	17	471,85	469,38	0,52623	2,47
3	948,15	951,09	0,309119	2,94	18	380,25	382,67	0,6324	2,42
4	944,14	947,4	0,3441	3,26	19	374,91	374,31	0,16029	0,6
5	713,2	715,05	0,258723	1,85	20	384,36	383,81	0,1433	0,55
6	725,17	721,31	0,535137	3,86	21	170,28	169,58	0,41278	0,7
7	867,23	869,97	0,314953	2,74	22	100,22	102,35	2,08109	2,13
8	861,65	857,47	0,487481	4,18	23	147,6	145,24	1,6249	2,36
9	1034,94	1032,7	0,216907	2,24	24	102,41	103,22	0,78473	0,81
10	899,81	902,08	0,251641	2,27	25	149,19	148,54	0,43759	0,65
11	426,25	426,26	0,002346	0,01	26	129,89	129,19	0,54184	0,7
12	415,91	415,09	0,197548	0,82	27	181,7	181,51	0,10468	0,19
13	435,39	436,21	0,187983	0,82	28	69,62	75,85	8,21358	6,23
14	464,72	466,4	0,360206	1,68	29	43,42	47,24	8,08637	3,82
15	428,39	427,28	0,259783	1,11	30	179,49	178,52	0,54336	0,97
Média						462,971	463,2593	0,943484	1,81

A Figura 8 mostra o resultado da correlação linear entre as amostras da modelagem tridimensional.

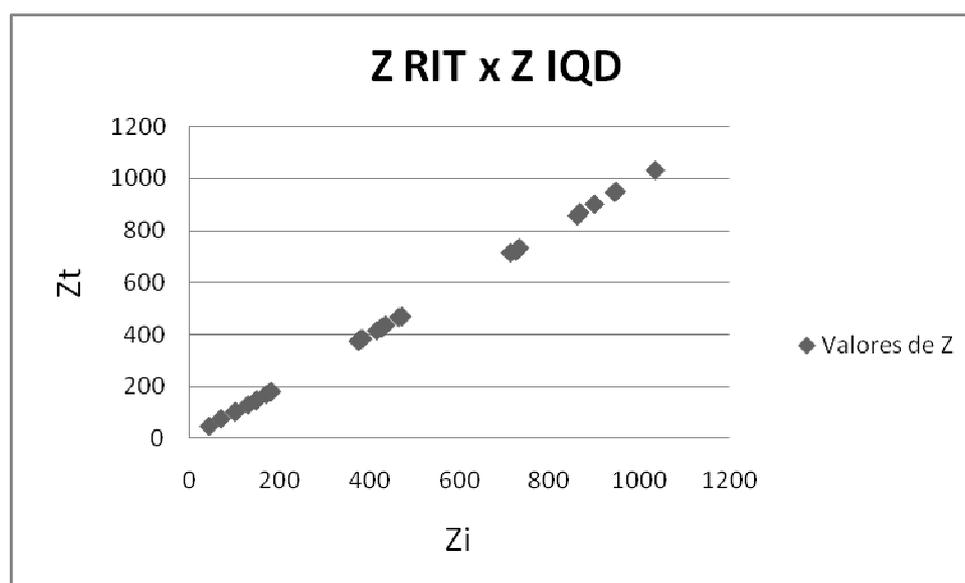


Figura 8. Gráfico de Z RIT x Z IQD.

#### 4. Conclusão

Os valores obtidos por meio das interpolações dos pontos da bacia mostram que a variação máxima dos valores de altitudes foi de 6,23m. O mais elevado erro absoluto das regiões foi calculado em 8,21%. Expondo que os mesmos contêm valores próximos dos reais.

Através da Tabela 1, a análise do conjunto das amostras interpoladas mostra que os valores encontrados mantêm um padrão de variação de altitude, registrando assim uma média de 1,81m de variação entre estes. E com um erro médio de 0,94%, confirmando um bom resultado dos valores das amostras extrapoladas.

Os valores do coeficiente de Pearson para os dados exibidos na Tabela 1 foram calculados em 0,9. De acordo com Andriotti (2005) o valor do coeficiente mostra que existe uma relação muito forte entre os dados, confirmando a existência de uma correlação linear quase perfeita entre eles.

Com isso pode-se concluir que a modelagem realizada com os dois interpoladores apresentou bons resultados, configurando assim uma modelagem tridimensional da bacia hidrográfica do rio Ipanema com resultados confiáveis para futuros trabalhos na região do presente estudo.

#### 5. Agradecimentos

O autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a todos os professores da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) que colaboraram com a produção deste artigo.

#### 5. Referências

- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. 1. Ed. Porto Alegre: Editora Unisinos, 2005.
- CÂMARA, G. "Um Sistema de Modelagem Digital de Terreno para Microcomputadores", INPE, São José dos Campos, SP, maio de 1987, publicado sob o número: INPE-4170-PRE/1067.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações**. 1. Ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2003.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. 2. Ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2010.
- OLIVEIRA, H. J. M. **Modelos Digitais de Terreno**. Beja. 2002. Disponível em: < [www.estig.ipbeja.pt/hjmo/MDT/mdt\\_02.pdf](http://www.estig.ipbeja.pt/hjmo/MDT/mdt_02.pdf)>. Acesso em: 10.fev.2010.
- ROSENDO, J. dos S. Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari – MG – utilizando os dados do sensor Modis. Uberlândia: UFU, 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2005.