Mapeamento de Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa e Interpoladores

RAFAELLA CHRYSTIANE DE MOURA MATOS
ANA LUCIA BEZERRA CANDEIAS

Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
Departamento de Engenharia Cartográfica - DECart
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

rafaella.matos@gmail.com, analucia@ufpe.br

RESUMO - A radiação solar disponível para fotossíntese, conhecida como Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa (PAR) está compreendida no intervalo de comprimento de onda entre 0.4-0.7 µm. PAR é um dos fatores que influenciam diretamente no crescimento de biomassa, e esta informação é importante para a estimação de biomassa acumulada. A maior parte dos dados de PAR é obtida por uma fração constante de insolação e estes dados são obtidos por piranometros em redes de radiação. No entanto a medição destes dados é um trabalho caro e custoso. Poucas estações meteorológicas possuem este dado levando assim a pouca informação disponível. Uma alternativa para prover informações de PAR em lugares onde não existem estes dados seria através da interpolação. A modelagem da PAR em larga escala pode ser feita através dos métodos de interpolação, os quais devem ser avaliados para se escolher o melhor. Neste trabalho, diferentes métodos de interpolação foram testados. O mapeamento de PAR pode ser usado como um plano de informação ou *layer* em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) para auxiliar em estudos sobre fontes alternativas de energia. A área de estudo escolhida foi o Estado de Pernambuco, Brasil.

ABSTRACT - Solar radiation available for photosynthesis, known as Photosynthetically Active Radiation (PAR) is defined in the wavelength interval between 0.4-0.7µm. PAR is one of the factors that directly influence in the biomass growth, this information is important to estimate the accumulated biomass. Most PAR data are often obtained by a constant fraction of insolation made by pyranometers in radiation network. However this data takes a hard and expensive work to be measured, just a few meteorological stations have this data resulting in few available information. An alternative to provide the information of PAR to places where there is no data would be through the interpolation. Modeling the PAR in a large range can be done by the use of interpolation methods, which must be tested to choose the best one. Different methods of interpolation techniques will be tested. The PAR mapping can be used like an information plane or layer in a Geographic Information System (GIS) to help in alternative energy studies. The test area will be in Pernambuco state, Brazil.

1 INTRODUÇÃO

Radiação Solar Fotossinteticamente Ativa (*Photosynthetically Active Radiation - PAR*) é a radiação solar disponível para fotossíntese é um dos fatores que afetam diretamente a produção de biomassa. A faixa espectral desta radiação está compreendida no intervalo entre 0.4 - 0. 7µm (Xia et Al., 2004). A equação 1 mostra que a radiação PAR é a integral na faixa de 0.4 - 0. 7µm da radiação solar incidente $\mathrm{I}(\lambda)$.

$$PAR = \int_{0.4}^{0.7} \mathrm{I}(\lambda) d\lambda \,, \qquad (1)$$

Onde $\mathrm{I}(\lambda)$ é a radiação solar no comprimento λ.

Existe uma relação linear entre a radiação solar PAR e o crescimento de diferentes espécies de vegetação (Fonseca et Al., 2006), deste modo, a radiação solar é uma entrada diária para estimação de acúmulo de biomassa (Benchini et Al., 2000).

A medição de dados climáticos, é um trabalho caro e demorado. Existe uma discretização destes dados do ponto de vista espacial e do tempo de aquisição. Como a aquisição não é contínua, tem-se naturalmente valores desconhecidos em uma dada área analisada (Benchini et Al., 2000).

Devido a dificuldade para obtenção destes dados, uma alternativa para gerar informações de radiação solar PAR em larga escala pode ser através de interpolação dos dados disponíveis (Mubiru et Al., 2007). A elaboração de mapas com esta informação pode ser feita interpolando os dados a partir da geração

de uma grade regular e testando os diferentes métodos de interpolação disponíveis (Goodale et Al., 1998).

2 MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO

Interpolar consiste em 'prever' valores para locais com um limitado número de dados de amostras pontuais e pode ser utilizado para qualquer dado pontual geográfico. Neste caso, será utilizado para identificar os valores de radiação solar PAR em locais onde esses dados são desconhecidos, isto pode ser feito referenciando a estes locais os valores de PAR de pontos vizinhos.

A interpolação pode ser exata se os dados pontuais coincidem exatamente com o nó da grade a ser interpolada, ou pode ser uma interpolação suavizada se o fator de suavização for empregado durante o processo de gerar a grade quando não se tem confiança suficiente na medição dos dados.

Três métodos de interpolação serão investigados neste trabalho, *Inverse Distance Weighting*, *Radial Basis Function* e, *Kriging*, todos estes iterpoladores podem ser encontrados no ArcGIS, que é um software desenvolvido pela ESRI.

2.1 Inverse Distance Weighting – IDW

É um interpolador que pode ser exato ou suavizador neste método, durante a interpolação, é atribuído um peso ao dado isto significa que a influência de um ponto relativo a outro diminui com a distância do nó da grade (Yang, et Al., 2004).

A significância de pontos conhecidos pode ser controlada, isto pode ser realizado definindo-se um *Power*, se este é maior então mais ênfase é dada aos pontos mais próximos e mais detalhes serão adicionados à superfície resultante, se for menor mais influência será dada aos pontos que estão mais distantes, resultando em uma superfície mais suave.

A equação usada para o IDW é dada por:

$$Zj = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Z_i}{h_{ij}^{\beta}}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{h_{ij}^{\beta}}} \qquad (2)$$

$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^{2} + \delta^{2}} \qquad (3)$$

Onde:

h_{ij} é a distância efetiva entre o nó da grade "j" e o ponto vizinho "i";

Z_j é o valor interpolado para o nó da grade "j";

Z_i são os pontos vizinhos;

d_{ij} é a distância entre o nó da grade "j" e o ponto vizinho "i";

δ^2 é o parâmetro peso; e

β é o parâmetro suavizador.

2.2 Radial Basis Function

Considerada por muitos o melhor método em termos de se produzir mapas com superfícies suavizadas, este é m interpolador exato, no entanto o fator uavizador pode ser adicionado durante o processo de interpolação (Yang, et Al., 2004).

Alguns tipos de funções de Radial Basis Function presentes no ArcGIS estão definidas abaixo.

Inverse Multiquadric:

$$\beta(h) = \frac{1}{\sqrt{h^2 + R^2}} \qquad (4)$$

Multiquadratic:

$$\beta(h) = \sqrt{h^2 + R^2} \qquad (5)$$

Thin Plate Spline:

$$\beta(h) = \left(h^2 + R^2\right)\log\left(h^2 + R^2\right) \qquad (6)$$

onde:

h é a anisotropia, relative a distancia de um ponto para o nó.

R2 é o fator suavizador especificado pelo usuário.

2.3 Kriging

É um método de interpolação geoestatístico. Este método produz mapas com um apelo visual muito maior a partir de dados espacializados irregularmente (Yang, et Al., 2004).

Assume-se que ao se usar kriging, a distância e a direção entre os pontos amostrados influencia a correlação espacial, que pode ser usada para explicar a variação na superfície. Este método inclui análise exploratória estatística, modelagem do variograma, a criação de uma superfície e opcionalmente a exploração da variância na superfície.

O modelo de variograma especifica matematicamente a variabilidade dos dados e o arquivo da grade resultante. O peso na interpolação, que é aplicado aos pontos de dados durante o cálculo dos nós da grade, são funções diretas do modelo do variograma.

Um variograma linear padrão com algoritmo de kriging é apresentado da seguinte forma:

$$\gamma(h) = C_0 + S.h \tag{7}$$

onde C_0 é o desconhecido efeito nugget, e S é o desconhecido *slope*.

Duas equações precisam ser definidas para resolver estes dois parâmetros desconhecidos. De acordo com a teoria, o valor esperado para a variância da amostra é em média do variograma entre todos os possíveis pares de locação das amostras (Barnes, 1991); isto leva a uma equação. A segunda equação é gerada a partir do variograma da amostra experimental para vizinhos mais próximos para o variograma modelado. Deste modo, pode-se ser escrito:

$$Var = C_0 + S.D_{avg} \tag{8}$$

$$G_{nn=}C_0 + S.D_{nn} \tag{9}$$

Onde:

D_{nn} é a distância media ao vizinho mais próximo;

D_{avg} é a media da distância que separa um ponto amostrado de outro;

G_{nn} é a metade da media ao quadrado da diferença entre os vizinhos mais próximos;

Var é a variância das amostras.

Resolvendo as duas equações para os parâmetros desconhecidos, e checando para valores desconhecidos, chega-se as seguintes equações:

$$S = \max\left[\frac{Var - G_{nn}}{D_{avg} - D_{nn}}, 0\right] \tag{10}$$

$$C_0 = \max\left[\frac{G_{nn}.D_{avg} - Var.D_{nn}}{D_{avg} - D_{nn}}, 0\right] \tag{11}$$

Tiba et al. (2004) desenvolveram um Atlas de recursos solares e nele existe um mapeamento mensal para o Brasil da radiação solar no período de 1978 a 1990. Aqui neste trabalho mostram-se os resultados para os meses de julho de 2007 e janeiro 2008 a partir de interpolações exata.

3 METODOLOGIA

Pernambuco é um estado da região nordeste do Brasil que cobre uma área de aproximadamente 98,311.616 km². Dados sobre a radiação solar de pernambuco foram coletados do CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, disponível em http://satelite.cptec.inpe.br/PCD/historico/consulta_radsol.jsp.

Os dados referentes a radiação solar foram obtidos de 26 estações meteorológicas nos meses de Julho de 2007 e Janeiro de 2008, que são meses de inverno e verão respectivamente nessa área. A estação de Fernando de Noronha está localizada em uma ilha no Oceano Atlântico e não será utilizada. A Figura 1 apresenta os locais das estações no Estado de Pernambuco.

Neste artigo foram aplicados os seguintes passos aos dados.

1. Criar uma grade interpolada pelos métodos de Inverse Distance Wieghting, kriging e Radial Basis Fuction presentes no ArcGIS.
2. Gerar um plano de informação com a superfície interpolada.
3. Comparar os resultados.

4 RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Tabela 1 mostra a localização das estações no Estado de Pernambuco, e municípios bem como o resultado obtido em Tiba et. al. (2004). Também nesta tabela tem-se a média das observações diárias em 2007. Observa-se que a maior discrepância é para o município de Vitória de Santo Antão. Talvez a coleta de dados ou a passagem dos valores para a planilha gerou a média tão diferente do valor estimado em Tiba et (2004). Fernando de Noronha não foi analisado por não estar no continente e gerar problemas na interpolação.

Percebe-se também, pela tabela, que os valores estimados com a média de todas as observações para 2007 deram, valores mais altos que os obtidos em Tiba et. al. (2004). No caso ideal poderia se pensar que a análise mensal ou anual da radiação solar não deveria se modificar muito período de 1978 a 1990 ou em 2007. Porém percebem-se alterações nítidas na Tabela 1. O ideal seria utilizar o mesmo conjunto de dados para observar os resultados.

As Figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9 mostram que a interpolação podem ser úteis no mapeamento da radiação solar. Verificam-se diferentes resultados para o mesmo conjunto de dados. Além disto, é necessário extrapolar os valores para obter um melhor resultado além de análises mais detalhadas para verificar qual o melhor método de interpolação.

Este é um estudo mostrou a aplicabilidade de interpoladores à radiação solar para energia renovável. Outros métodos de interpolação devem ser testados e analisados.

De modo geral o método Radial Basis Function e Inverse Distance Weighting mostram resultados com

maior semelhança que quando comparados ao resultado por Krigagem Universal. O próximo passo é trabalhar com dois subconjuntos um para gerar a interpolação e outro conjunto para se fazer o teste de avaliação.

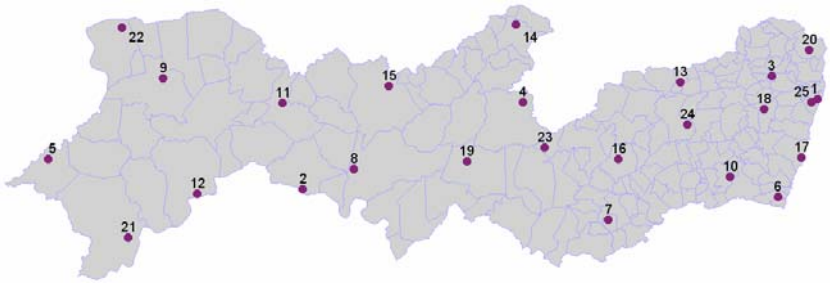

Figura 1 – Localização das estações no Estado de Pernambuco, Brasil.

Tabela 1. Parâmetros das estações meteorológicas

No.	**Estação**	**Lat.**	**Long.**	**Estimação do Mapa Tiba et al. (2004) MJ/m²**	**Média 2007 MJ/m²**
1	OLINDA	-8.035	-34.869	21-22	25,17
2	BELEM DE SAO FRANCISCO	-8.755	-38.976	18	23,15
3	CARPINA	-7.85	-35.238	21-22	19,97
4	SERTANIA	-8.059	-37.221	18	21,56
5	AFRANIO	-8.518	-41.006	19-20	27,96
6	BARREIROS	-8.821	-35.189	21-22	24,19
7	BREJAO	-9.01	-36.535	18	22,00
8	FLORESTA	-8.6	-38.567	18	29,24
9	OURICURI	-7.874	-40.088	19-20	21,92
10	PALMARES	-8.659	-35.568	18	19,12
11	SALGUEIRO	-8.067	-39.14	18	22,20
12	SANTA MARIA BOA VISTA	-8.8	-39.817	19-20	22,31
13	VERTENTES	-7.903	-35.971	18	21,15
14	SAO JOSE DO EGITO	-7.44	-37.275	18	21,58
15	SERRA TALHADA	-7.925	-38.287	18	28,37
16	SAO BENTO DO UNA	-8.523	-36.456	18	21,06
17	IPOJUCA	-8.509	-35.004	21-22	23,49
18	VITORIA DE SANTO ANTAO	-8.124	-35.302	18	46,33
19	IBIMIRIM	-8.536	-37.674	21-22	11,59
20	GOIANA	-7.64	-34.943	19-20	25,24
21	PETROLINA	-9.15	-40.367	19-20	22,01
-	FERNANDO DE NORONHA	-3.838	-32.407		
22	ARARIPINA	-7.455	-40.417	18	19,66
23	ARCOVERDE	-8.434	-37.053	18	25,32

24	CARUARU	-8.236	-35.91	21-22	24,39
25	RECIFE	-8.059	-34.922	21-22	20,09

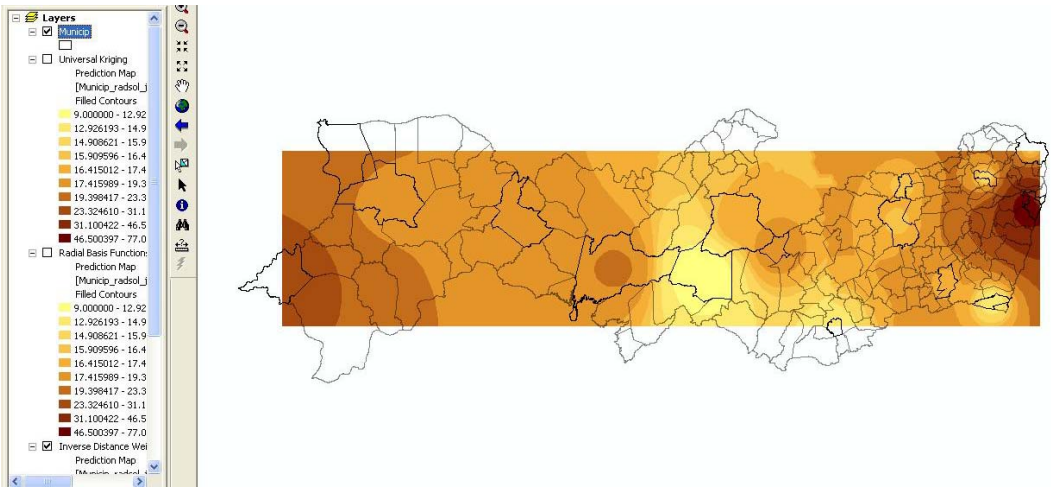

Figura 4 – Inverse Distance Weighting, Julho de 2007

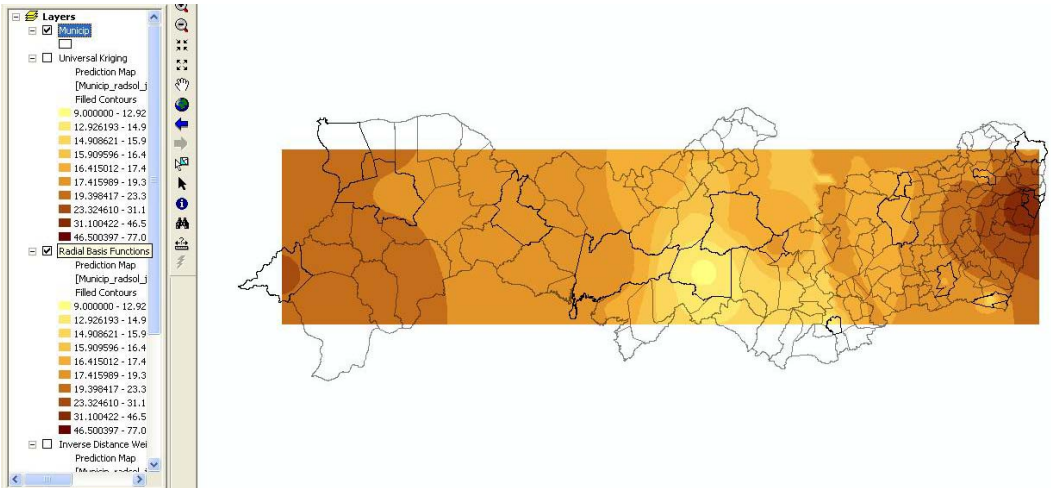

Figura 5 - Radial Basis Function, Julho de 2007

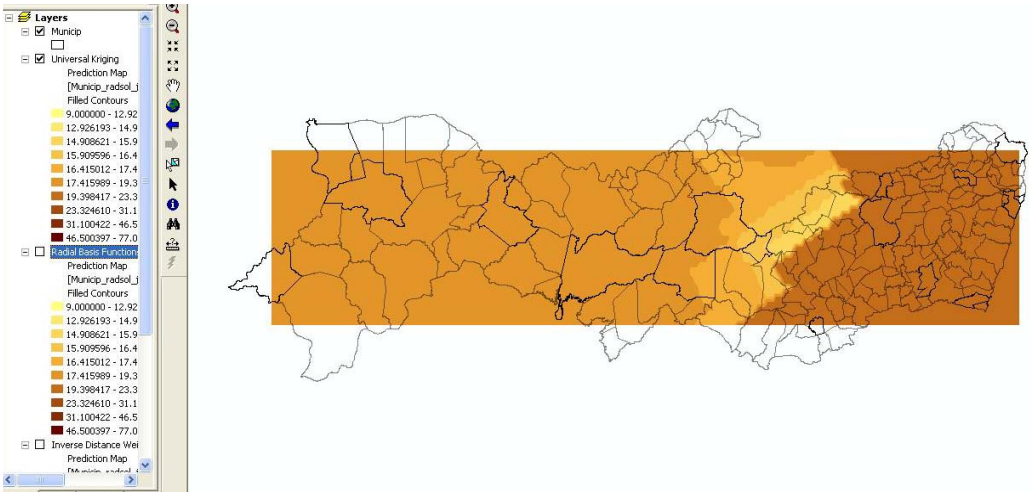

Figura 6 – Krigagem Universal, Julho de 2007

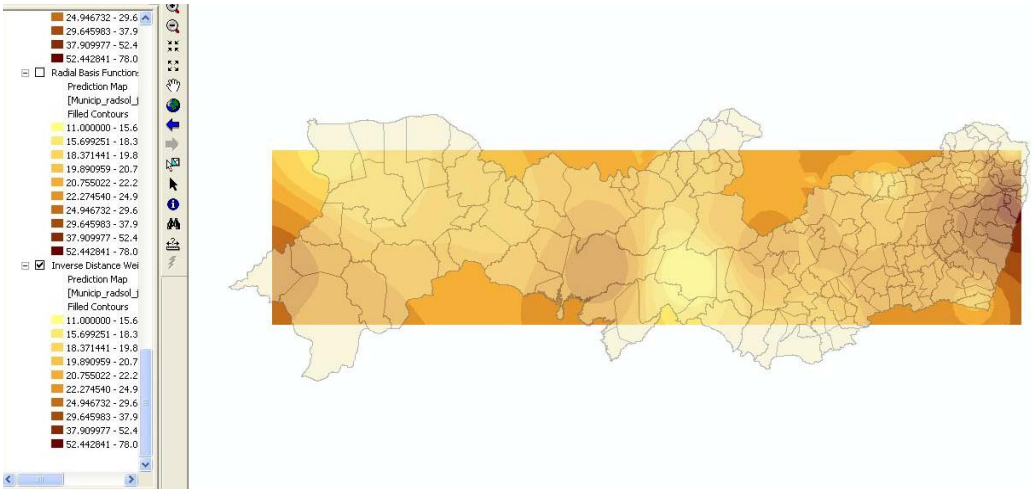

Figura 7 – Inverse Distance Weighting, Janeiro de 2008.

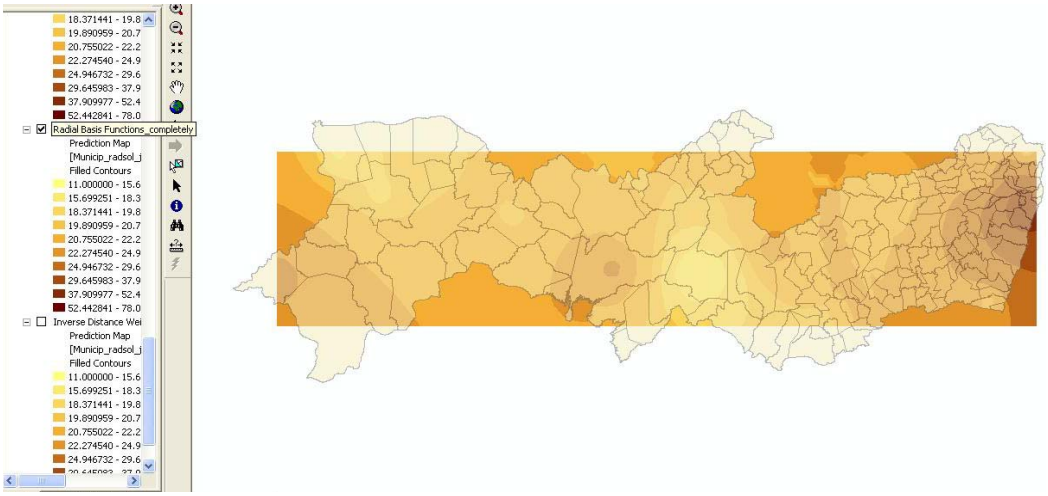

Figura 8 – Radial Basis Function, Janeiro de 2008

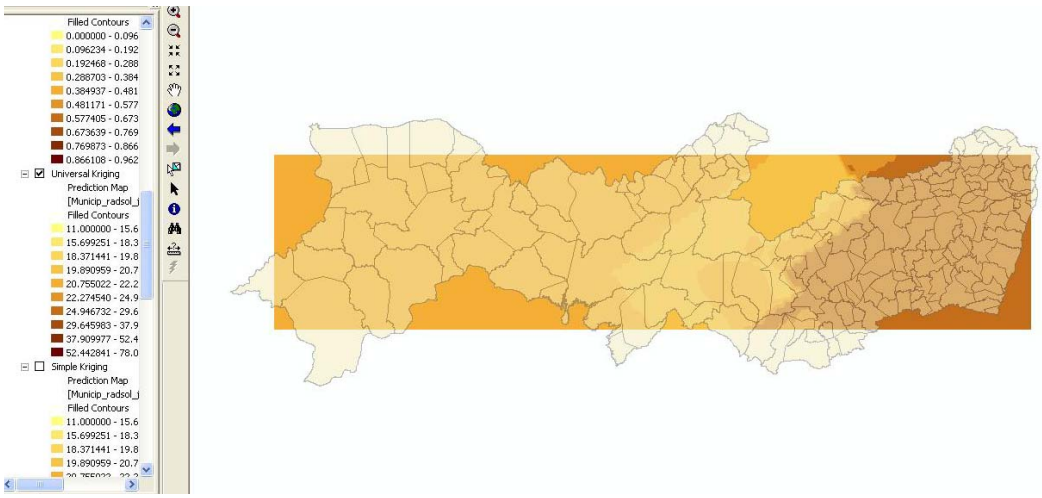

Figura 9 – Krigagem Universal, Janeiro de 2008

REFERÊNCIAS

Xia, C.; Xiong, L. **Estimating Photosynthetically Active Radiation at the Earth's Surface from MODIS Data.** IEEE, 2004.

Mubiru, J.; Karume, K.; Majaliwa. M; Banda, E. J. K. B.; Otiti, T. **Interpolating methods for solar radiation in Uganda.** Theoretical and Applied Climatology. 88, 259-263. 2007.

Goodale, C. L.; Aber, J. D.; Ollinger, S. V. **Mapping monthly precipitation, temperature and solar radiation for Ireland with polynomial regression and a digital elevation model.** Climate research, Vol. 10: 35-49, 1998.

Benchini, L.; Ducco, G.; Donatelli, M.; Stein, A. **Modelling, interpolation and stochastic simulation in space and time of global solar radiation.** Agriculture Ecosystems & Environment 81: 29-42, 2000.

Yang, C-S.; Kao S-P.; Hung, P-S. **Twelve different interpolation methods: a case study of SURFER 8.0.** Proceeding of XXth ISPRS Congress, 2004.

Tiba C; Fraidenraich N.; Gallegos H. G.; Lyra F. J. M. **Brazilian Solar Resource Atlas CD-ROM.** Renewable Energy. 2004.

Fonseca, E. L.; Silveira, V. C. P.; Salomoni, E. **Conversion efficiency of photosynthetic active radiation to aboveground natural grassland dry matter in the Campos Sulinos biome, Brazil**. Ciência rural, Santa Maria, v. 36, n.2, p. 656-659, mar-abr, 2006