

Cálculo do excedente hídrico no alto curso do Rio Paraíba do Sul, SP

Joice Parmezani Staben Barbosa¹
Márcio de Morisson Valeriano¹
Graziela Balda Scofield²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{valerian@ltid.inpe.br; joice.parmezani@lac.inpe.br}

² Universidade do Vale do Paraíba
Rua José Pereira dos Santos, 234 – 12244-484 - São José dos Campos - SP, Brasil
graziela@uol.com.br

Abstract. Regional water surplus of a watershed (Paraíba do Sul river) was calculated with thermo-pluviometric data from DAEE (Water and Electrical Energy Department, SP) stations to further modeling of urban flood events. Basic information plans were constructed exploring known topographic effects, modeled with SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) data, on rainfall and temperature monthly means. Monthly water surplus maps were calculated through the operation of Thornthwaite & Mather water budget on this raster database with Geographical Information Systems (GIS). The independent and individually optimized spatialization of each basic variable and the incorporation of topographic data brought remarkable improvements in the quality of the final maps.

Palavras-chave: SRTM, data integration, hydrology, SRTM, integração de dados, hidrologia.

1. Introdução

Com o acelerado crescimento populacional no mundo houve um aumento da demanda de água, o que ocasionou problemas de escassez desse recurso, além de sua degradação em várias regiões do planeta. A água é um recurso natural renovável dos processos físicos do ciclo hidrológico. Para acompanhamento, análise e gerenciamento dos recursos hídricos é fundamental a medição constante dos principais elementos que controlam o ciclo hidrológico para a determinação da água disponível. Os seus principais elementos são a precipitação, a evapotranspiração, o escoamento e o armazenamento da água no solo, em aquíferos e em represas.

Para determinar a evapotranspiração que não é medida diretamente, utiliza-se o balanço hídrico, que é um sistema de monitoramento da água no solo e resulta da aplicação do princípio de conservação de massa para a água num volume de solo vegetado (Pereira et al., 1997). No balanço hídrico, o excedente hídrico pode ser considerado como sendo o escoamento superficial e/ou escoamento subterrâneo, que é de grande importância para o dimensionamento de sistemas de abastecimentos, sistemas de drenagem, barragens, projetos de controle de enchentes e de irrigação.

Desta forma, este estudo tem como objetivo o cálculo do excedente hídrico utilizando-se como ferramenta o geoprocessamento dos dados, na área de estudo referente ao alto curso da microbacia do rio Paraíba do Sul, situado no estado de São Paulo.

2. Revisão Bibliográfica

O ciclo hidrológico é um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação da terra. Quando se faz um estudo de planejamento a longo prazo do uso de uma ou mais bacias hidrográficas, a precipitação é um dado básico (Porto e Zahed Filho, 2003). Pereira et al. (1997) apresentaram um roteiro para o cálculo do balanço hídrico climatológico a partir da metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955). O balanço hídrico climatológico fornece estimativas da evapotranspiração real (ER), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM) tanto para escala diária como mensal, a partir do suprimento de água pelas chuvas (P) e pela evapotranspiração potencial (EP) por meio da capacidade de água disponível no solo (CAD). Conhecendo-se o ARM de cada mês pode-se calcular a ER, a DEF, e o EXC para uma determinada CAD. Denomina-se alteração (ALT) a variação no ARM entre os meses consecutivos; isto é, a ALT do mês é igual à diferença da ARM do mês em estudo e do mês anterior. Portanto, ALT assume valores positivos e negativos, sendo que para um “ano médio” o somatório anual é igual a zero. Quando P-EP é positivo em um determinado mês, a ER será igual a EP. Mas, se P-EP é negativo, o solo começa a secar resultando em ER menor que EP, nessa situação ER será igual a P mais o valor absoluto de ALT. Se em um mês ocorrer ER menor que EP, significará que houve DEF naquele mês. Sendo, $DEF=EP-ER$. Portanto, durante os meses com DEF não pode haver excesso, pois a ARM é menor que CAD nessa situação. Durante as estações chuvosas, se $ARM=CAD$, então poderá ocorrer excedente, que será dado por $EXC=(P-EP)-ALT$. Nesse caso, ALT é a água necessária para levar a ARM até o valor de CAD. O balanço hídrico climatológico permite a quantificação desses termos, tornando-se uma excelente ferramenta para se estudar a implantação e monitoramento de sistemas de irrigação ou drenagem numa região.

O geoprocessamento representa um conjunto de ferramentas adequado à tarefa de gestão de recursos naturais em torno dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). O SIG possui várias funções de processamento de imagem, cartografia digital, operações lógicas e

analíticas entre planos de informações e bancos de dados. Segundo Valeriano et al. (2002), as vantagens da geração de mapas em SIG são a atualização automática, o armazenamento de valores contínuos, a edição, a flexibilidade de escala, a manipulação digital, a metodologia objetiva e o teste de precisão. Para Engman (1996), o futuro da hidrologia depende em grande parte da disponibilidade de dados adequados para a construção e validação dos modelos hidrológicos, papel que o sensoriamento remoto pode e deve desempenhar.

3. Dados e Metodologia

O rio Paraíba do Sul é formado pelos rios Paraitinga e o Paraibuna, no estado de São Paulo. A microbacia do rio Paraíba do Sul se estende por territórios pertencentes a três estados da região sudeste: São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. Porém, este trabalho visa um estudo relativo ao alto curso da microbacia deste rio, localizado no estado de São Paulo, entre as coordenadas 22° 24' a 23° 39' S e 44° 10' a 46° 26' O.

Na **Figura 1** (a) está mostrada a área total da microbacia do rio Paraíba do Sul, enquanto que em (b) estão localizados e identificados, respectivamente, os 39 municípios do Estado de São Paulo banhados pelo rio Paraíba do Sul. Porém, por falta de dados, foram excluídos os municípios 18, 19, 37, 38 e 39.

Foram utilizados dados meteorológicos de precipitação pluviométrica e de temperatura do ar de 181 postos termo-pluviométricos do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), referentes ao período de 1962 a 1992, situados na área de estudo e no entorno. Para uma melhor interpretação da área de estudo e para auxiliar no tratamento dos dados dos postos termo-pluviométricos, foi coletado do site <http://srtm.usgs.gov> o mapa topográfico elaborado pela “Shuttle Radar Topography Mission/U. S. Geological Survey” (SRTM/USGS). A SRTM é um projeto conjunto entre a “National Imagery and Mapping Agency” (NIMA) e a “National Aeronautics and Space Administration” (NASA), tendo como objetivo principal a produção de dados topográficos da superfície da Terra englobando as áreas entre 60° N e 56° S, com dados pontuais localizados aproximadamente a cada 30 m para cada grade das coordenadas geográficas. O mapa topográfico é gerado pelo Modelo Digital de Elevação que utiliza informações da elevação obtida pelo radar. A imagem disponível na rede corresponde ao produto re-amostrado com uma resolução em torno de 90m no formato TIF. Esta imagem foi visualizada através do aplicativo de geoprocessamento ENVI, para a verificação de possíveis ausências de dados e a transformação destas informações para o formato de leitura em colunas x,y,z, nominalmente, a longitude, a latitude e a cota altimétrica, respectivamente. Posteriormente, estes dados foram interpolados pelo método de krigagem, descrito por Valeriano (2002), através do aplicativo SURFER, com o intuito de obter uma nova resolução espacial de 50 m para a sobreposição com dados de temperatura do ar e precipitação pluviométrica. Para obter uma resolução de 50 m, houve a necessidade de transformar as coordenadas geográficas para coordenadas UTM que correspondem a superfície plana estando, assim, na zona UTM 13 sul, 585776,2m a 353812,2m (E) e 7522659,8m a 7383788,8m (N). A krigagem é um método de interpolação que perfaz a estimativa dos valores da variável nos pontos de grade ponderando as observações experimentais em função do alcance, da escala, do efeito pepita e do semivariograma, calculado com análise geoestatística. Adotaram-se os coeficientes geoestatísticos obtidos para a microbacia do rio Bangu localizado no município de Cunha. Essas análises bem como os coeficientes estão pormenorizados em boletim técnico (Valeriano, 2002).

Figura 1. (a) Área total da microbacia do rio Paraíba do Sul **(b)** Delimitação dos municípios paulistas e suas manchas urbanas localizadas na bacia do rio Paraíba do Sul, onde (1) Queluz, (2) Areias, (3) São José do Barreiro, (4) Silveiras, (5) Arapeí, (6) Bananal, (7) Cunha, (8) Lagoinha, (9) Lavrinhas, (10) Cruzeiro, (11) Cachoeira Paulista, (12) Canas, (13) Piquete, (14) Lorena, (15) Roseira, (16) Pindamonhangaba, (17) Monteiro Lobato, (18) Arujá, (19) Mogi das Cruzes, (20) Santa Isabel, (21) Igaratá, (22), Guararema, (23), Santa Branca, (24) Paraibuna, (25) Redenção da Serra, (26) Natividade da Serra, (27) São Luiz do Paraitinga, (28) Caçapava, (29) Jacareí, (30). São José dos Campos, (31) Taubaté, (32) Tremembé, (33) Guaratinguetá, (34) Potim, (35), Aparecida, (36) Jambeiro, (37) Salesópolis, (38) Guarulhos e (39) Itaquaquecetuba.

Como a temperatura do ar varia em função da latitude e altitude, os valores de temperatura de cada posto para cada média mensal foram sobrepostos ao mapa topográfico da região de estudo. Para a sobreposição desses dados, o conhecimento das coordenadas geográficas e valor de altitude de cada posto também foram necessários. Estas informações foram extraídas dos arquivos de dados do DAEE.

Seguindo a metodologia implementada por Valeriano e Picini (2000) conforme mostrados na **Figura 2a**, os dados de temperatura do ar média mensal inicialmente pontuais sofreram uma análise de regressão múltipla para obter os mapas de temperatura média mensal de forma especializada sobre a área de estudo. Com a interpolação espacial dos dados de precipitação sobre a área de estudo, obtiveram-se os mapas de chuva (Valeriano et al. 2002). Na análise estatística, foram levados em conta os coeficientes geoestatísticos (tipo de semivariograma, alcance, escala, pepita e anisotropia [direção]), obtidos com a krigagem sobre os dados de origem. A seqüência deste processo pode ser observada na **Figura 2b**.

A precipitação ao atingir uma região da microbacia comporta-se em função das características do seu meio físico, assim houve a necessidade de obter informações de declividade, curvaturas vertical e horizontal da vertente sobre a área em estudo. Com as informações topográficas fornecidas pelo Modelo Digital de Elevação (MDE), foi possível realizar o processamento em SIG, o qual forneceu os valores de declividade, ou seja, a inclinação do terreno.

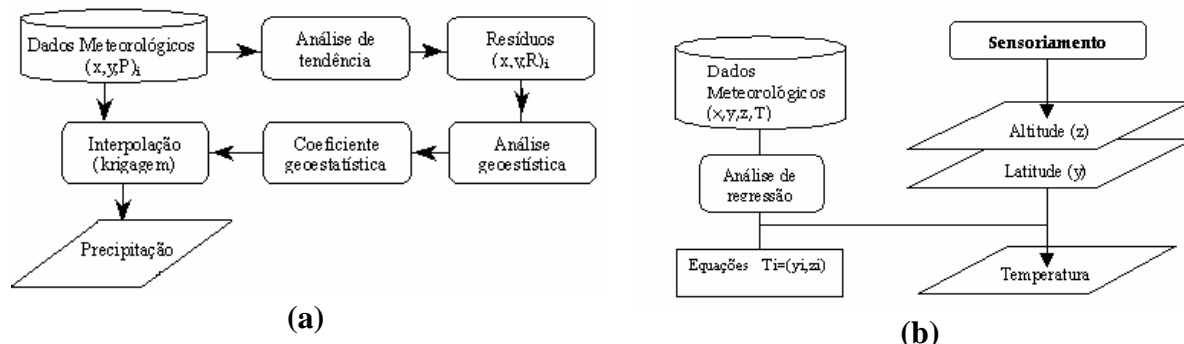


Figura 2. (a) Fluxo geral de processamento adotado para obtenção dos mapas de precipitação média mensal. (b) Fluxo geral de processamento adotado para obtenção dos mapas de temperatura média mensal (Fonte: Valeriano e Picini, 2000).

A temperatura, a precipitação, o excedente hídrico e a altitude foram caracterizados em termo de valores de médias mensais para a área de estudo, e de valores de máxima e mínima para cada mancha urbana. O cálculo do balanço hídrico climatológico foi utilizado a partir da metodologia proposta por Thornthwaite e Mather (1955), descrita por Pereira et al. (1997). Os dados iniciais necessários foram a temperatura e a precipitação da área de estudo já previamente interpolados a partir dos dados dos postos termo-pluviométricos. Foi escolhida a realização de balanço hidrológico na escala mensal porque representa a ocorrência de precipitação mais provável na região. Adotando-se uma Capacidade de Água Disponível (CAD) no solo igual a 50mm, podemos representar de forma simplificada, a obtenção das cinco variáveis do balanço hídrico, ressaltando que para o presente trabalho a variável a ser analisado foi o excedente hídrico (EXC). A **Figura 3** representa o cálculo simplificado do balanço hídrico climatológico.

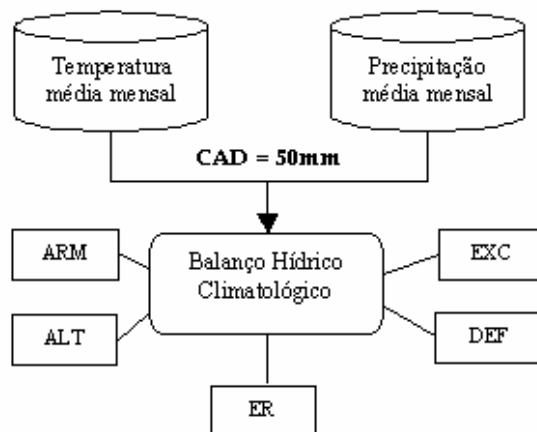


Figura 3. Representação simplificada do cálculo do balanço hídrico climatológico, onde ARM: é o armazenamento de água no solo (mm); ALT: é a alteração no armazenamento (mm); ER: é a evaporação real, isto é, aquela que realmente ocorre (mm); DEF: é a deficiência hídrica, ou seja, a falta de água no solo (mm); e EXC: excedente hídrico, ou seja, a quantidade de água que sobra (mm).

4. Resultados e Discussões

As precipitações médias mensais, obtidas com os dados de 1962 a 1992, estão apresentadas na **Figura 4**. Observa-se que o período chuvoso inicia-se lentamente em setembro ocorrendo até março. A partir de abril, os valores médios começam a diminuir, apresentando um período seco sobre a região entre junho e agosto. Podemos verificar que a chuva média sobre as áreas

serras é mais intensas, caracterizadas pelas formações de chuvas do tipo orográficas. Observa-se que o mês de fevereiro possui a maior média de chuva sobre a área de estudo.

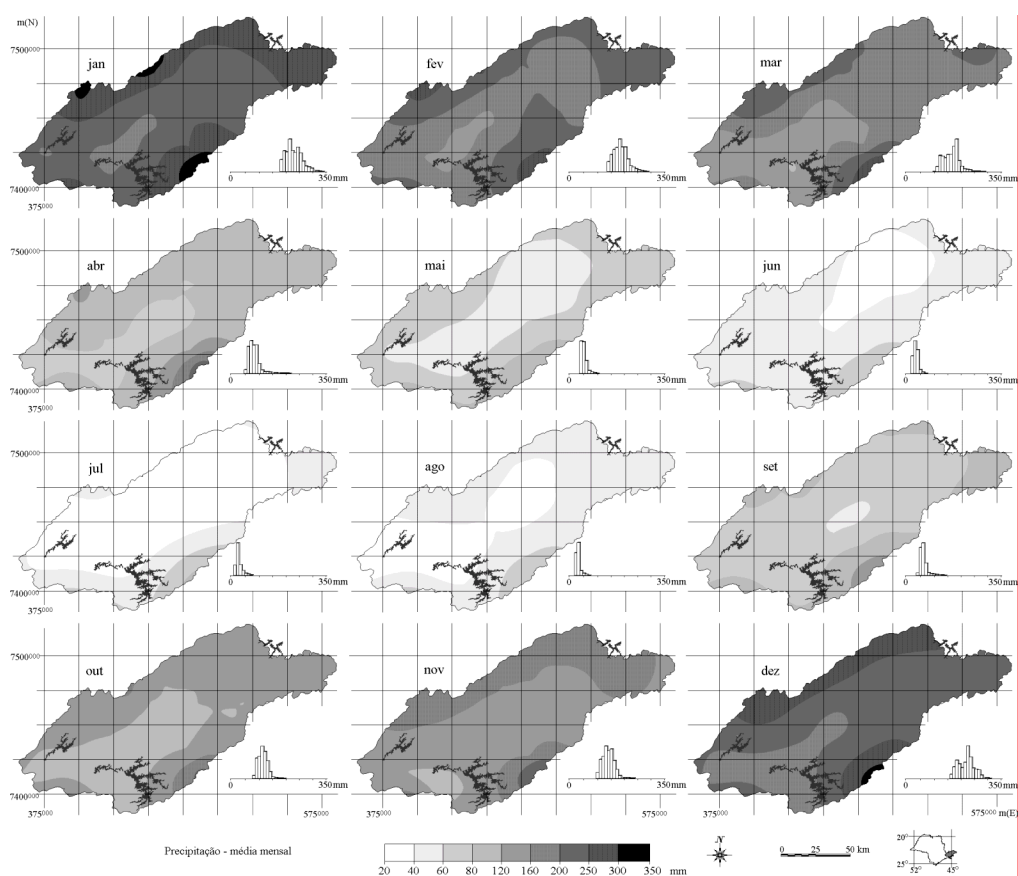


Figura 4. Precipitação média mensal, de janeiro a dezembro, do alto curso da microbacia do rio Paraíba do Sul durante o período de 1962 a 1992.

É importante ressaltar, que a precipitação ao atingir uma superfície irá se comportar em função da sua altitude, declividade e orientação da vertente da mesma. Se uma vertente tiver pouca declividade, a infiltração é favorecida, enquanto que, se a superfície possuir maior declividade ocorre um aumento no escoamento superficial. Assim, o escoamento superficial tem origem, fundamentalmente, nas precipitações.

Possivelmente, entre os elementos básicos do ciclo hidrológico, a de maior importância para o engenheiro é o escoamento superficial, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os efeitos causados pelo seu deslocamento.

A **Figura 5** apresenta o excedente hídrico médio mensal, calculado com os dados de 1962 a 1992. Os comportamentos médios do excedente hídrico e da precipitação média da região possuem as mesmas características, ou seja, o excedente hídrico ocorre lentamente de setembro até março. A partir de abril, os valores médios começam a diminuir e um período seco ocorre de junho a agosto, havendo o aumento do deficiente hídrico sobre a região.

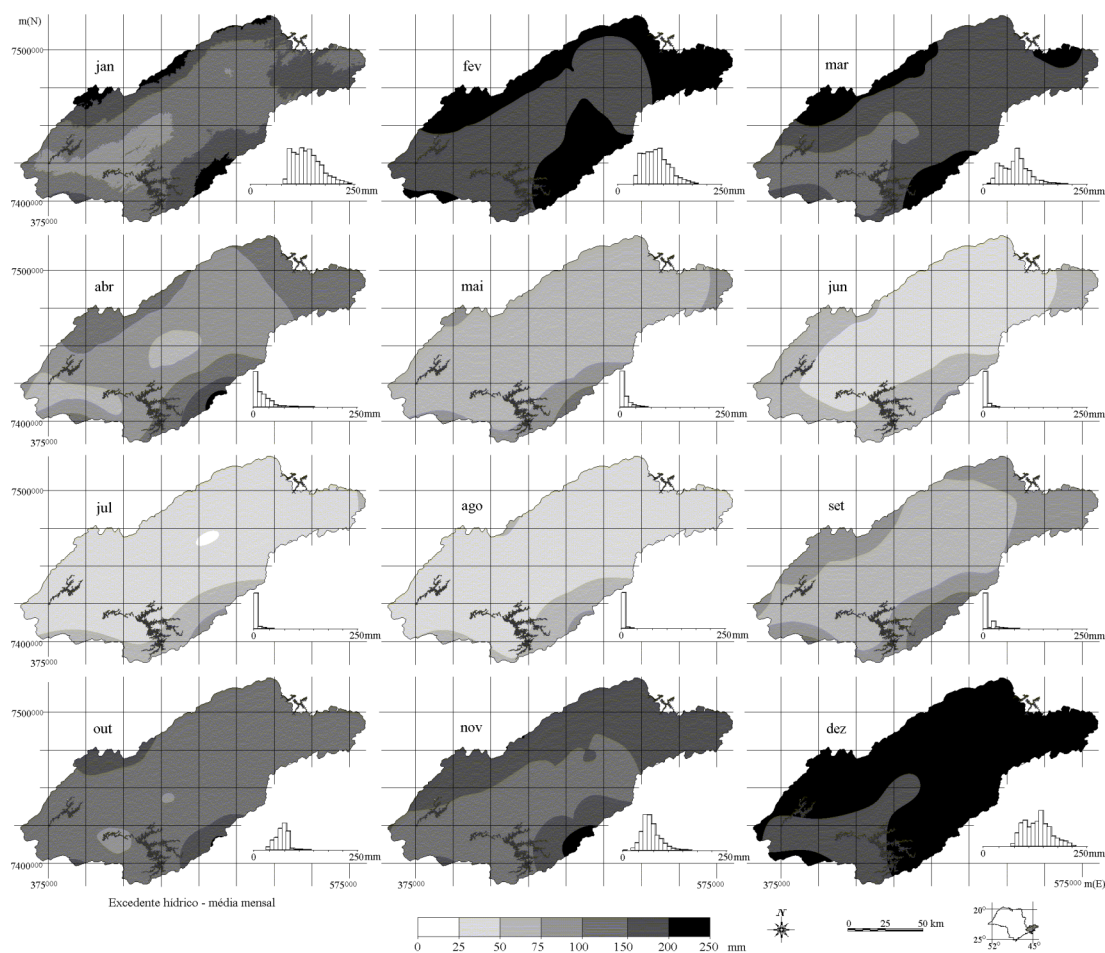


Figura 5. Excedente hídrico médio mensal, de janeiro a dezembro, do alto curso da microbacia do rio Paraíba do Sul durante o período de 1962 a 1992.

5. Conclusões

A área do alto curso da microbacia do rio Paraíba do Sul mostrou um comportamento climatológico esperado, apresentando os meses mais quentes e chuvosos entre os meses de dezembro a fevereiro enquanto que entre junho a agosto ocorrem as temperaturas mais baixas assim como as precipitações média.

Ao analisar o período com maior excedente hídrico é verificado que o mês de janeiro apresenta uma queda nos valores médios, em relação a dezembro, voltando a aumentar em fevereiro. Este comportamento é devido a evapotranspiração, pois janeiro é um mês com temperaturas elevadas favorecendo uma maior evaporação da chuva precipitada, que afeta diretamente o excedente hídrico mensal.

Referências

Engman, E. T. Remote sensing applications to hydrology: Future Impact. **Hydrology Sciences Journal**, v. 41, n. 4, pp637-647, 1996.

Pereira, A. R.; Nova, N. A. V.; Sediya, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba, FEALQ, 1997. 183p.

Porto, R. L. L.; Zahed Filho, K. **Precipitação**. [online] Disponível na Internet via WWW.

URL:http://www.phd.poli.usp.br/phd/grad/phd2307/material/Precipitacao/apostila/apostila_precipitacao.pdf. Arquivo capturado em 03 de outubro de 2003.

URL: <http://srtm.usgs.gov>. Arquivo capturado em 17 de outubro de 2003.

Thorntwaite, C. W.; Mather, J. R. **The water balance. Publications in Climatology**. New Jersey, Drexel Institute of Technology, 104p. 1955.

Valeriano, M. de M.; Picini, A. G. Uso de Sistema de Informação Geográfica para a geração de mapas de médias mensais de temperatura do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.8,n.2, p.255-262. 2000.

Valeriano, M. de M.; Picini, A. G.; Mello, M. H. de A. Estratificação de efeito anisotrópicos do relevo na geração de mapas pluviométricos por geoprocessamento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, RS, v.10,n.1, p.167-177. 2002.

Valeriano, M. M. Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem. **Boletim Técnico**. São José dos Campos: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-9364-RPQ/736). 54p., 2002.

Valeriano, M. M. Modelos digitais de elevação de microbacias elaborados com krigagem. 2002. 54p. (INPE-9364-RPQ/736) **Boletim Técnico**. - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003.

Valeriano, M.M.; Carvalho Júnior, O.A . Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Goiânia, v. 4, n.1, p.17-29, 2003.