

Banco de Dados Pluviométricos Integrados por Dados do Sensor TRMM e Estações Pluviométricas no Estado de Goiás

Lidiane Batista de Moraes ^{1,2}
Nilson Clementin Ferreira ²

¹ Instituto Federal de Tocantins - Campus Palmas
AE 310 SUL, Avenida LO 05, s/n
Plano Diretor Sul, Palmas-TO, CEP:77.021-090
Palmas - TO, Brasil
lidianemoraes01@gmail.com

² Universidade Federal de Goiás
Escola de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente
Praça Universitária, s/n - Setor Universitário
Goiânia-GO, Brasil
nclferreira@gmail.com

Abstract. The dataset from *Tropical Rainfall Measuring Mission* – (TRMM) can improve pluviometric data, due to its global coverage. The aim of this work was construct a pluviometric database, integrated with diary TRMM (3B42) and pluviometric data from meteorological stations, from 1998 to 2011. The database is composed by images with 4 bands. The Band 1 contains the rain map from interpolation of meteorological stations dataset; the Band 2 contains pluviometric data from TRMM; the Band 3 contains a pluviometric hibrid data, composed by integration considering TRMM and meteorological station pluviometric data; finally the Band 4 contains the metadata decribing the pixels of Band 3. The resulting pluviometric database was constructed for Goiás State and it will be used in problems of hidrologic modelling.

Palavras-chave: TRMM, pluviometric database, image compositing, TRMM, banco de dados pluviométricos, composição de imagens.

1. Introdução

A busca por dados de precipitação, em nível mundial, sua distribuição ao longo do tempo e do espaço, é uma atividade de grande importância na modelagem, previsão do tempo e avaliações das mudanças climáticas (Huffman et al., 1997). O uso de dados de precipitação, obtidos por sensores remotos orbitais vem possibilitando boa cobertura em nível global (MASSAGLI, VICTORIA e ANDRADE, 2011; GUIMARÃES et al., 2000).

No Brasil, várias instituições coletam dados de precipitação, tais como a Agência Nacional das Águas (ANA), o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), além de instituições estaduais, municipais e institutos de pesquisa. A obtenção desses dados ocorre de várias formas, sendo que a mais tradicional é por meio da utilização de pluviômetros e pluviógrafos distribuídos pelos espaço geográfico. Na região Centro-Oeste do país, observa-se problemas na distribuição geográficas desses equipamentos, com a observação de extensas áreas sem a presença de tais equipamentos (REIS et al., 2005). O Estado de Goiás possui ampla distribuição territorial, contando com 340.111,783 km² (IBGE, 2010), e uma rede de estações pluviométricas, ainda incipiente, distribuída de forma irregular, e com grandes distanciamentos entre as mesmas.

A rede de coleta de dados pluviométricos produz dados pontuais, restritos a área de abrangência das estações, essa situação pode comprometer as atividades relacionadas com o estudo da hidrologia em áreas urbanas e rurais, fato que leva muitas vezes a utilização de informações inadequadas, adotando valores de regiões diferentes da informação real da área de interesse (REIS et al., 2005). Desta forma, uma das possibilidades de suprir essas

dificuldades, é por meio da utilização de dados de precipitação obtidos por sensores remotos orbitais.

A estimativa de valores pluviométricos a partir de sensores remotos acoplados em satélites orbitais, começou em 1960 com o satélite meteorológico *Television and Infrared Observation Satellite* (TIROS), lançado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA). No início da década de 1970 novos componentes começaram a ser instalados a bordo das plataformas satelitárias, porém somente na década de 1980 foram iniciados os trabalhos com instrumentos de radares para a estimativa da precipitação pluvial. Assim, esses sensores começaram a ser instalados em satélites de órbita polar. A partir daquela época, vários algoritmos foram criados para o tratamentos dos dados pluviométricos provenientes daqueles equipamentos (Kummerow, et al., 2000, Joyce et al., 2004 e Huffman et al., 1997)

Em 1997, por meio de uma parceria entre a NASA e a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) foi construído e lançado o satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), capaz de obter dados pluviométricos nas regiões tropicais do planeta, por meio da utilização de micro-ondas e radar (Nóbrega, Souza e Galvinctio, 2008).

As imagens obtidas pelo satélite TRMM podem ser integradas aos dados obtidos pelas estações pluviométricas, podendo melhorar a disponibilidade de dados pluviométricos no Estado de Goiás. Por se tratar de imagens gratuitas, com intervalo de tempo diário e não requerer a ampliação da rede de estações pluviométrica do Estado, essa prática alia viabilidade financeira e confiabilidade de dados, sendo assim, tal integração pode de fato contribuir para o desenvolvimento das atividades relacionadas com modelagem hidrológica.

O objetivo deste trabalho foi o de construir um banco de dados sobre o comportamento pluviométrico do Estado de Goiás, integrando dados de estações pluviométricas e dados obtidos pelo sensor TRMM. Esse banco de dados pluviométricos, poderá subsidiar trabalhos de modelagem hidrológica no estado de Goiás.

2. Área de Estudo

O Estado de Goiás está localizado na região Centro-Oeste, no planalto central brasileiro. Em 2010 possuía uma população de 6.003.788 habitantes e em 2013 a população estimada é de 6.434.048 habitantes, em uma área de 340.111,783 km², com densidade demográfica de 17,65 hab/km², em um total de 246 municípios, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2014).

O Estado de Goiás possui clima predominantemente tropical com duas estações bem definidas, verão úmido (outubro a março) e inverno seco (abril a setembro).

A precipitação média anual para Goiás é de 1.532mm, sendo que as precipitações variam no período seco de 20 mm a 200 mm enquanto, no período chuvoso, a variação é de 1.100 mm a 2.100 mm (SEPLAN, 2012). Reboita et al.(2010) confirmam que a precipitação anual excede a 1500 mm/ano.

O Estado de Goiás possui uma expressiva rede hidrográfica, da qual faz parte o aquífero Guarani que é o maior do mundo, com área total de até 1,4 milhões de km². Nascem em Goiás, rios formadores de três importantes bacias hidrográficas brasileiras (Figura 1). A bacia Araguaia/Tocantins conta com cerca de 196.609,00 km² de área, sendo a maior, seguida pela bacia do Paraná que constitui 144.596,23 km² e por fim a bacia do São Francisco, que abrange a menor parte, cerca de 4.454,41 km² (ANA, 2013).

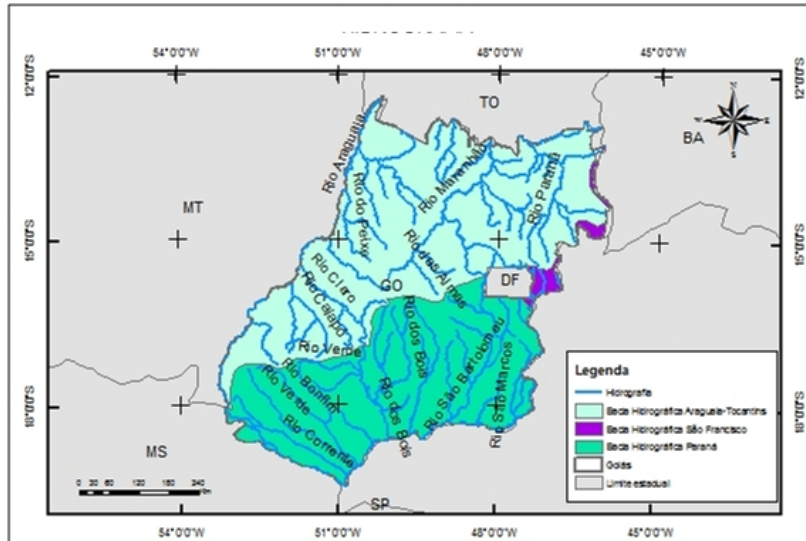


Figura 1 - Hidrografia de Goiás Fonte: adaptado de SIEG e ANA

3. Metodologia

A elaboração deste trabalho resultou na construção de um banco de dados pluviométricos para o estado de Goiás, correspondente à série histórica de 14 anos, entre 1998 e 2011. O trabalho foi elaborado seguindo o fluxograma ilustrado na figura 2.

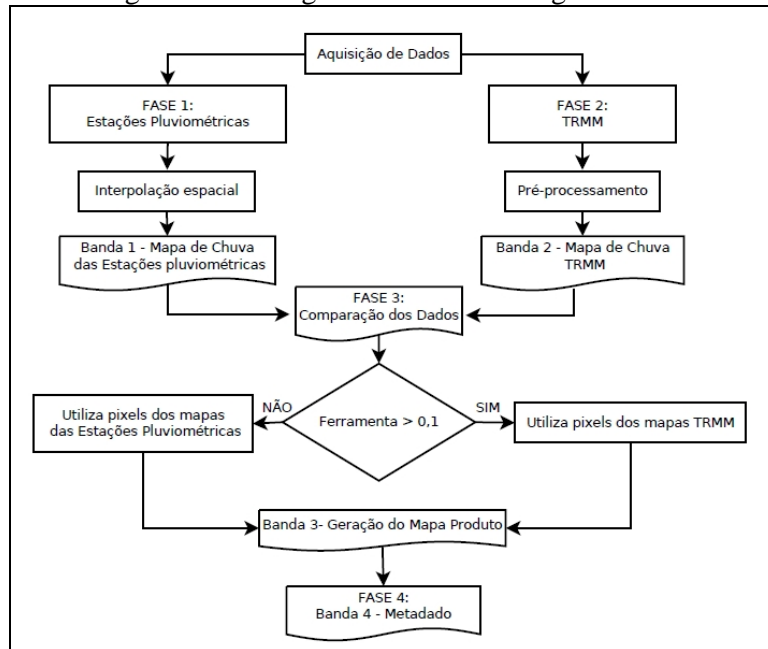


Figura 2 - Fluxograma para elaboração do banco de dados pluviométricos

Primeiramente foi organizado uma base de dados diários de precipitação, composto por dados pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA), e dados de imagens do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).

A primeira fase constituiu na coleta de dados oriundos das estações pluviométricas, que foram obtidos por meio da Rede Hidrometeorológica Nacional da ANA, adquiridos a partir da Hidroweb, onde são disponibilizados os dados hidrológicos em séries históricas. Esses dados disponibilizados oferecerem informações diárias e mensais de todas as estações pluviométricas, disponíveis por regiões, desde a data de seu início de funcionamento. Cada estação apresenta um período de funcionamento diferente, tornando necessária a organização

dos arquivos individualmente, totalizando 153 estações pluviométricas distribuídas pelo Estado de Goiás e o entorno, que são apresentadas na figura 3. Sendo, que o período de dados analisados corresponde à mesma série histórica, entre 1998 e 2011

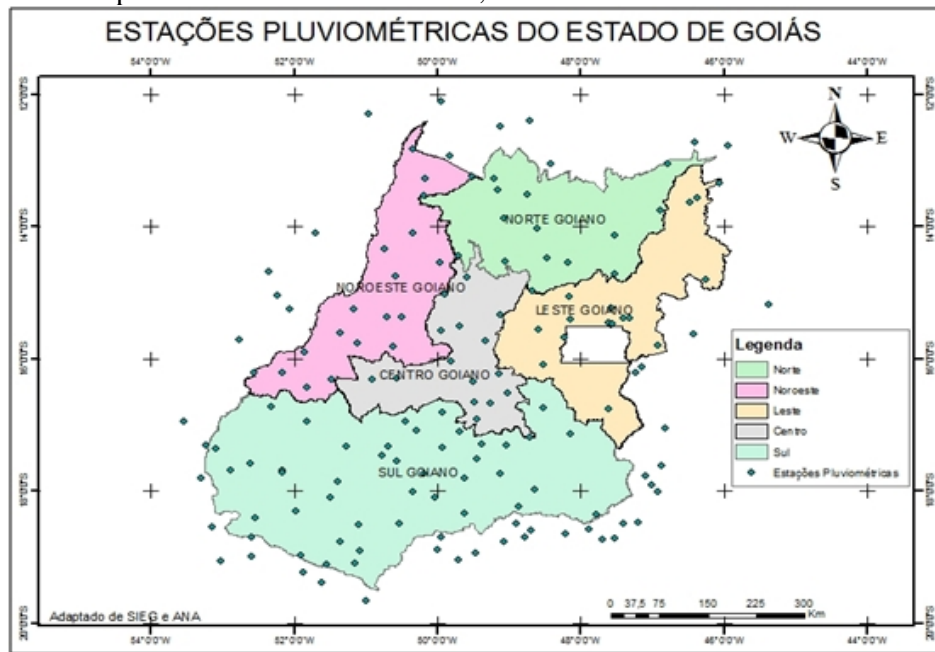


Figura 3 - Estações pluviométricas no Estado de Goiás e entorno

A partir do levantamento dos dados espaciais e temporais destas estações pluviométricas foi possível gerar imagens diárias, a partir de interpolação espacial. De acordo com Conti (2002), este método considera as estimativas de precipitação para áreas que estão mais distantes do ponto medido, sem que haja qualquer indício físico sobre a precipitação ocorrida.

Um dos métodos de interpolação é o TOPO to RASTER, neste caso uma ferramenta do software ArcGIS, que foi utilizado para interpolar os dados das estações pluviométricas, indicados por Marcuzzo et al.(2011) como sendo o método mais adequado para interpolação de dados pluviométricos. Os dados são interpolados em grade regular, gerando grades menores, minimizando a rugosidade e a soma do quadrado dos resíduos, este método foi criado especificamente para Modelos Digitais de Elevação (DEM), baseados no programa ANUDEM desenvolvido por Hutchinson (1988, 1989), método também utilizado em modelos hidrológicos. Atualmente existem outros modelos disponíveis de interpolação matemática como o *Inverse Distance Weighted* – Ponderação do Inverso da Distancia (IDW), Krigagem e Spline de Tensão (MARCUIZZO et al. 2011).

O Cálculo do método TOPO to RASTER é dado pelas equações 2, 3 e 4, dada por (HUTCHINSON et al., 2009):

$$z_i = f(x_i, y_i) + w_i \varepsilon_i \quad (2)$$

onde:

$f(x,y)$ é a função de interpolação;

w_i representa o erro de discretização do ponto i , é uma constante positiva;

ε_i é a amostra de uma variável aleatória de média zero e desvio padrão igual a um.

w_i é localizada aleatoriamente na célula, sendo definida por:

$$w_i = \frac{hs_i}{\sqrt{12}} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n [(z_{1-f}(x_i, y_i) \div w_i)^2 + \lambda J(f)] \quad (4)$$

h é o espaçamento da grade;

si é a medida de inclinação da célula da grade associada com o ponto (x_i, y_i) ;

J é a função de suavização da função $f(x, y)$ e

λ é o parâmetro de suavização.

Estes arquivos das imagens das estações pluviométricas interpoladas, agora chamados mapas de chuvas das estações pluviométricas, compõem a banda 1 (um) do banco de dados.

A segunda fase constituiu na organização de uma base de dados primários a partir da aquisição das imagens TRMM que são disponibilizadas por meio do *site* da NASA¹. Os dados TRMM utilizados são produzidos a partir do algoritmo 3B42, versão 7, que estão armazenados no formato de dados hierárquico (.HDF), juntamente com os respectivos metadados. As imagens disponibilizadas compreendem faixas de intervalo de latitude 50° Norte e 50° Sul e longitude 180° Oeste e 180° Leste.

Posteriormente, foi realizado o pré-processamento das imagens TRMM que consistiu no recorte destas imagens, considerando os limites geográficos do Estado de Goiás, observando que os limites foram acrescidos em 40 quilômetros para não ocorrer escassez de informações em nenhuma área do perímetro analisado. Os dados pré-processados foram então armazenados em formato *Tagged Image File Format* (.TIFF).

Foram selecionados dados de estimativa de 14 anos de observações diárias, de Janeiro de 1998 a Dezembro de 2011, totalizando 5106 imagens que foram processadas por meio do *software* ArcGIS. É importante mencionar que, este procedimento também pode ser realizado em outros softwares de geoprocessamento, tais como o ENVI, SPRING, Supergeo, gvSIG, QuantumGIS, entre outros. Estes arquivos das imagens TRMM compõem a banda 2 do banco de dados.

Na terceira fase foi feita a comparação destes dados (análise das discrepâncias), mapas de chuvas das estações pluviométricas e mapas de chuvas do TRMM, resultando na geração de um mapa produto. Isso foi feito por meio de uma ferramenta que faz comparação entre os *pixels* dos mapas de chuvas de estações pluviométricas em relação aos *pixels* dos mapas de chuvas do TRMM. Obtendo as diferenças pluviométricas desses dados, foi possível verificar o melhor comportamento de chuva para cada dia, gerando um mapa produto híbrido (Banda 3).

Na ferramenta gerada para esta comparação, o usuário pode definir o limiar do seu estudo para toda série histórica, ou seja, a ferramenta traz maleabilidade para o usuário definir a partir de seus resultados o grau de confiança de sua análise. Neste trabalho foram adotados valores de 10% ou 0,1. Assim será verificado o comportamento dos dados:

se o TRMM for menor que 0,1 existe baixa dispersão: (dados homogêneos);

se o TRMM for maior que 0,1 existe alta dispersão: (dados heterogêneos).

No caso de dados com baixa dispersão, ou quando não houve diferenças entre os dados, foram utilizados valores do mapa de chuvas das estações pluviométricas. Nos casos onde houve diferenças maiores que 10%, então os *pixels* dos mapas de chuvas das estações pluviométricas foram desprezados e utilizados o valor dos *pixels* dos mapas de chuvas do TRMM.

Essa diferenciação na quantidade de precipitação entre mapas de chuvas de estações pluviométricas e mapas de chuvas do TRMM, pode ocorrer pelo fato das estações pluviométricas serem pontuais, isto é, só conseguem captar a precipitação ocorrida no local

¹ http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/data/datapool/TRMM_DP/

onde estão localizadas. Já as imagens TRMM, conseguem captar a presença de precipitação no seu *pixel*, que na região tropical mede 27 km, assim o *pixel* do TRMM mede aproximadamente 729 km². Então, quando os valores das imagens TRMM foram maiores que os valores das imagens dos mapas de chuvas das estações pluviométricas, pode ter ocorrido chuvas convectivas na região, assim a estação pluviométrica não conseguiu captar, mas o TRMM registrou esse quantitativo.

Por fim, a quarta fase constituiu na geração dos metadados. Conforme Lino e Martins (2012) estes são dados que descrevem as informações como: qualidade, conteúdo, e demais características destas informações. Esta fase compôs a banda 4 do banco de dados, onde a imagem descreve as quantidades e origens de *pixels* utilizados (estações pluviométricas e TRMM).

4. Resultados e Discussões

O banco de dados pluviométricos resultante dos processamentos descritos na metodologia, é integrado por imagens diárias de pluviometria, organizadas a partir do empilhamento sequencial de quatro mapas em estrutura matricial, para cada dia do intervalo de tempo considerado no trabalho, ilustrado pela figura 4. Cada mapa pluviométrico é composto por quatro bandas:

Primeira banda: constituem os mapas de chuvas das estações pluviométricas;

Segunda banda: constituem os mapas de chuvas do TRMM;

Terceira banda: constituem os mapas do produto (dados de mapas de chuva das estações pluviométricas e mapas de chuvas do TRMM);

Quarta banda: constitui o metadado.

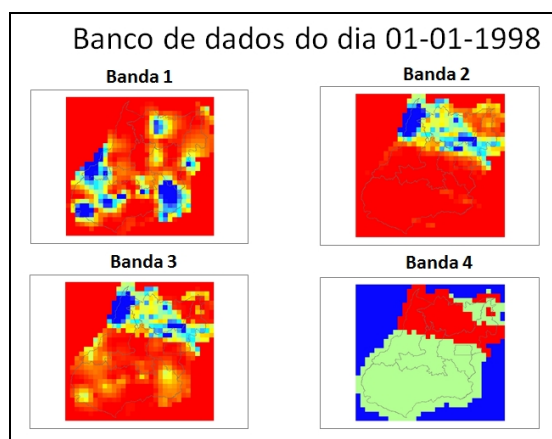


Figura 4 - Representação do banco de dados do dia 01-01-1998

Os resultados obtidos mostram as avaliações feitas entre a estimativa de precipitação por satélite TRMM (produto 3B42, Versão 7) e a precipitação oriunda da rede de estações pluviométrica da ANA, permitindo uma análise exploratória de todo o Estado de Goiás para os anos de 1998 a 2011.

Para exemplificar esta análise, foram montadas figuras que são compostas de uma planilha e dois gráficos para cada ano analisado, sendo um deste o diagrama de dispersão, o qual apresenta a correlação de pontos no espaço cartesiano XY. Estes pontos correspondem simultaneamente a duas variáveis, neste caso TRMM e estações pluviométricas, permitindo um quantitativo de correlação entre as duas incógnitas por meio de análise de regressão linear. O cálculo do valor médio da precipitação para cada mês registrado pelo TRMM no ano de 1998, quando comparado com os valores das estações pluviométricas, apresenta um comportamento semelhante, conforme poderá ser observado na figura 5, com diferenciação de

29,493mm a mais para as estações pluviométricas. Se forem considerados os valores médios de precipitação observados pelo sensor TRMM (\bar{X}_t), podemos observar que nos períodos secos, de abril a setembro, os valores TRMM corresponderam aos valores das estações pluviométricas (\bar{X}_e).

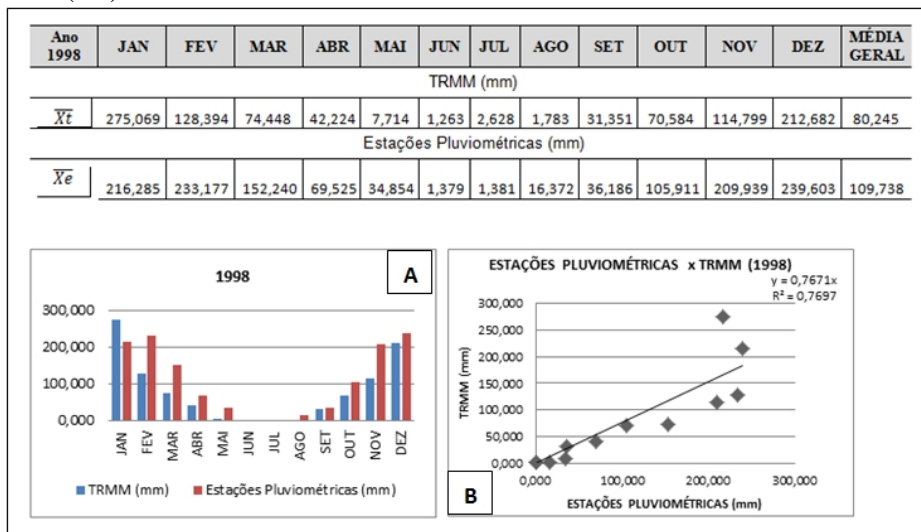


Figura 5 - Análise comparativa entre dados pluviométricos TRMM e de estações pluviométricas

A análise comparativa de todos os outros anos, apresentou resultados similares aos encontrados para 1998, ou seja, os meses mais discrepantes entre dados TRMM e estações são os meses chuvosos, onde o produto híbrido, gerado pela composição de dados TRMM e de estações pluviométrico recebe mais dados TRMM.

5. Conclusões

Os anos analisados mostraram uma concordância entre os dados de estações pluviométricas (banda 1) e TRMM (banda 2) no período de seca. Contudo, no período chuvoso a concordância entre os dados é menor. Em vários momentos, os valores do TRMM superestimaram aos valores das estações pluviométricas, mostrando que existem divergências.

Algumas das ferramentas disponíveis no *software* ArcGIS permitiram que a partir de uma planilha contendo o levantamento de pontos de pluviometria e seus quantitativos, fossem geradas imagens interpoladas, onde nenhuma área de estudo fosse desprezada. A partir destes dados, foi possível fazer comparações entre a estimativa de chuvas, das imagens TRMM e das estações pluviométricas, evidenciando diferenças relativas entre as mesmas, resultante da falta de informação das estações pluviométricas.

Estas informações dos mapas de chuvas, após a sua finalização, transformaram-se em uma única base de dados, permitindo que se apresentasse de forma dinâmica. Futuramente esta base de dados será atualizada sistematicamente, sendo que os produtos resultantes serão disponibilizados via Internet, e poderão ser utilizados em várias atividades, principalmente aquelas relacionadas com a hidrologia das bacias de captação de água para o abastecimento municipal

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de produtividade em pesquisa PQ2 ao segundo autor.

Os autores agradecem o apoio financeiro da FAPEG, por meio do projeto de pesquisa Sistema de Informações Geográficas das Bacias Hidrográficas de Captação para Abastecimento Público nos Municípios do Estado de Goiás - CH 05/2012.

6. Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) ANA. (2013) **HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>> Acesso em: 16 Jul. 2013.
- GUIMARÃES, M; DORADO, A.J.; COUTINHO, A.C.(2000) **Utilização de dados TM-Landsat para o mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal**. GISBRASIL 2000: Show de Geotecnologias, 6., A era da informação geográfica, 2000, Salvador. **Anais em CD-ROM**. Curitiba: Fator GIS, 2000. 8p.
- HUFFMAN, G. J.; ADLER R.F.; RUDOLF B.; SCHNEIDER U.; KEEHN P.R.; (1995) **Global precipitation estimates based on a technique for combining satellite-based estimates, rain gauge analysis, and NWP model precipitation information**. J. Climate, 8, 1284–1295.
- HUTCHINSON, M.F. (1988) **Calculation of hydrologically sound digital elevation models**. Third International Symposium on Spatial Data Handling, Sydney, International Geographical Union, Columbus, p.117- 133.
- HUTCHINSON, M.F. (1989) **A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits**. *Journal of Hydrology* n° 106: 211-232
- HUTCHINSON, M. F.; STEIN, JOHN A.; STEIN, JANET L.; XU, T. (2009) **Locally Adaptive Gridding of Noisy High Resolution Topographic Data**. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2014). **Estados**. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=go>> Acesso em: 25 Mar. 2014.
- IBGE -Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.(2010) Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Censo 2010** Disponível em:
<<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=6&uf=00> > Acesso em: 28 Jun. 2014.
- JOYCE, R.J.; JANOWIAK, P.A.; ARKIN, P.A.; XIE, P.; (2004) **CMORPH: A Method that Produces Global Precipitation Estimates from Passive Microwave and Infrared Data at High Spatial and Temporal Resolution**. *Jornaul Hydrometeor*, 5, 487–503.
- KUMMEROW, C.; BARNES, W.; TOSHIKI KOZU, SHIUE, J.; SIMPSON, J., (1998) **The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package**. *J. Atmos. Oceanic Technol.*,15, 809–817.
- MARCUZZO, F. F. N.; ANDRADE, L. R.; MELO, D. C. R.(2011) **Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso**. Revista Brasileira de Geografia Física, América do Norte, v.4, n.4, p. 696 - 710, 2011.
- MASSAGLI,G.O.; VICTORIA, D.C.;ANDRADE,R.G.(2011) **Comparação entre a precipitação medida em estações pluviométricas e estimada pelo satélite TRMM**. 5º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC 2011 9 a 11 de agosto de 2011 – Campinas, SP.
- NÓBREGA,R.S.; SOUZA E.P.; GALVÍNCIO J. D. (2008) **Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental**. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 25, no 1, jan/abr. 2008.
- REBOITA, M.; GAN, M., ROCHA, R., AMBRIZZI, T. (2010) **Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica**. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 25, p. 185-204, 2010.
- REIS, M.H.; GRIEBELER, N.P.; SARMENTO, P.H.L.; OLIVEIRA, L.F.C.; OLIVEIRA, J.M. (2005) **Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no estado de Goiás e Distrito Federal** . Anais XII, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia-Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p.229-236
- SEPLAN, Secretaria de Planejamento (2012). **Goiás em Dados - 2011**. Disponível em:<<http://www.seplan.go.gov.br/sepin/down/godados2011.pdf> >.Acesso em: 04 jul. 2012.