

Avaliação da seca de 2016 do Rio Javaés (bacia do Rio Araguaia) com uso de dados de múltiplos satélites

Ayan Santos Fleischmann¹
Camila Dalla Porta Mattiuzi^{1,2}
Elisa de Mello Kich¹
Germano Gondim¹
Anderson Ruhoff¹
Rodrigo Paiva¹

¹ Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS/IPH
Caixa Postal 91501-970, Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre, Brasil
ayan.fleischmann@gmail.com, camila.mattiuzi@cprm.gov.br, elisakich@gmail.com,
germano.gondim@ufrgs.br, andersonruhoff@gmail.com, rodrigocdpaiva@gmail.com

² Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM)
R. Costa, 55, Consolação, São Paulo, Brasil

Abstract. In 2016, a severe drought affected the Javaés river basin in central Brazil, leading to very low water levels and negative impacts on navigability, maintenance of ecosystems and agriculture irrigation. In this work, we present an integrated evaluation of the drought in the basin with remote sensing techniques, involving estimative of extension of sand beds (classification of LANDSAT-8 imagery), terrestrial water storage (GRACE), precipitation (TRMM anomalies) and evapotranspiration (SEBAL algorithm with LANDSAT-8 imagery). Results of GRACE and TRMM indicate a severe hydrological drought in the region, with the driest period occurring in 2016 in relation to previous years. Also, extension of sand beds was highest in Javaés river in this year, showing difficult navigability and very low water levels, and sand beds were visible earlier in the year than in the previous ones. Finally, SEBAL estimative indicate that agriculture areas are abstracting water at same rate as other years, what can increase drought impacts. Although our results are not conclusive in terms of the relative role of agriculture water abstraction and precipitation deficits in the Javaés drought due to a short time series that was analyzed, our study present important tools for the evaluation of such severe disasters.

Palavras-chave: drought, integrated hydrological analysis, remote sensing data, Javaés river basin, Araguaia river basin.

1. Introdução

Secas são eventos extremos que impactam o ambiente e a sociedade de diversas formas, podendo ser enquadradas em quatro classes de acordo com o fator deflagrador: Meteorológica; Agrícola; Hidrológica; Socioeconômica (UNISDR,2011; Wilhite,2000). Secas meteorológicas ocorrem a partir da falta de precipitação sob uma região por um período prolongado de tempo (Mishra e Singh,2010)); seca agrícola é originada a partir do déficit prolongado da água no solo de tal maneira que não é o suficiente para atender as demandas da vegetação (Sivakumar *et al*, 2010); a seca hidrológica está relacionada ao déficit prolongado de precipitação sob suprimento de águas superficiais e subterrâneas (vazão em rios, níveis de lagos e aquíferos) (Wilhite, 1992), e a seca socioeconômica está relacionada ao suprimento e demanda de algum bem ou serviço de valor econômico com elementos da seca meteorológica, hidrológica e agrícola (Wilhite, 2000).

No ano de 2016 pode-se perceber uma situação de seca na Bacia do Rio Javaés, conforme artigos de jornais e site do órgão ambiental do Estado do Tocantins (G1 2016a; Naturatins 2016a). A gravidade desta seca teve como consequência a suspensão da outorga de retirada de água em diversos rios do estado (Naturatins,2016b;G1, 2016b); assim, é de grande importância determinar a origem da seca que atinge a região. Neste trabalho, a seca de 2016 no Rio Javaés é estudada através de uma análise integrada com produtos de

sensoriamento remoto, envolvendo análise de armazenamento de água terrestre, extensão de bancos de areia e nível de rios, precipitação e evapotranspiração. Dada a dimensão espacial da bacia, e a dificuldade de acesso a algumas partes, o uso de sensores remotos torna-se fundamental para tais estudos.

2. Área de estudo

A Bacia do Rio Javaés pertence à Bacia do Rio Araguaia, localizada no Estado do Tocantins, na Região Norte do Brasil (Figura 1). O Rio Javaés, também conhecido como Braço Menor do Araguaia, nasce da defluência do Rio Araguaia; a partir desta defluência é formada a Ilha do Bananal, que é a maior ilha fluvial do mundo. Praticamente todos os rios que nascem dentro da ilha fluem para a margem esquerda do Rio Javaés; na margem direita deste, o mais importante tributário é o Rio Formoso.

A área de estudo pertence à região do Médio Araguaia (MMA, 2009), e está localizada no ecótono amazônia-cerrado, sendo predominante as características do bioma cerrado, composto por fisionomias como cerradão, cerrado típico, campo cerrado, campo sujo de cerrado e campo limpo. Precipitação anual é em torno de 1700mm, e o período de estiagem compreende os meses de junho a agosto, nos quais os totais pluviométricos mensais são inferiores a 10mm (MMA, 2009).

O ecótono amazônia-cerrado vem sofrendo um processo de desmatamento e queimadas, resultante da expansão da fronteira agrícola e da exploração madeireira; esta região exige um grande esforço de controle e combate ao desmatamento, incêndio e antropismos (MMA, 2009).

Conforme dados do Plano de Bacia, a área de irrigação no Médio Araguaia era em 2009 de 54.000 ha, sendo os principais municípios produtores Lagoa da Confusão, Pium, Formoso do Araguaia e Dueré (MMA, 2009). A vazão de retirada para uso consuntivo na Região Hidrográfica do Tocantins e Araguaia é de 95,1 m³/s, sendo a região do Médio Araguaia responsável pela demanda de 48%. Deste volume, 96% são destinados para o uso em irrigação, ou seja, em torno de 44 m³/s. Nesta região, a irrigação está concentrada na Bacia do Rio Javaés, onde existe cultivo de arroz por inundação desde a década de 1980.

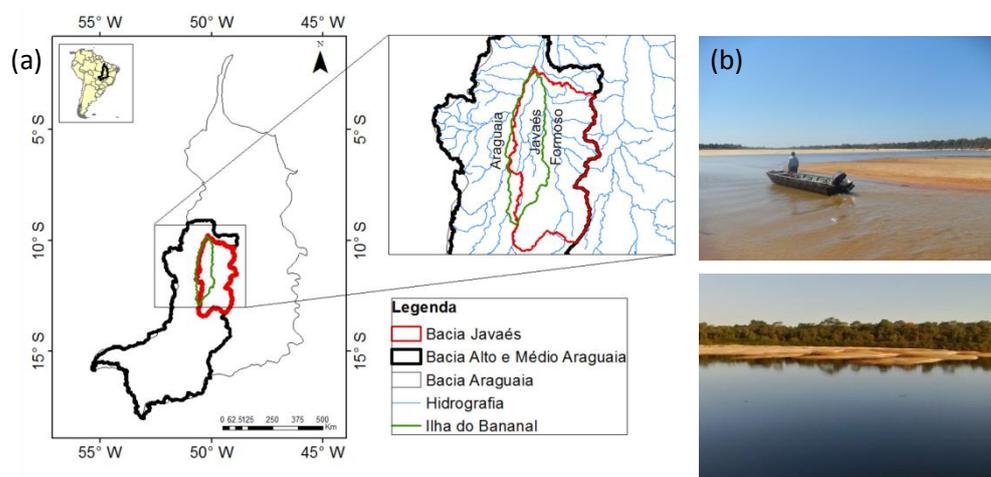


Figura 1. (a) Bacia do Rio Araguaia, do Alto e Médio Araguaia e do Rio Javaés. Detalhe para a região da Ilha do Bananal, formada pelos Rios Araguaia e Javaés, e para o Rio Formoso. (b) Fotos de bancos de areia expostos no rio (acervo pessoal dos autores).

3. Metodologia

3.1 GRACE

Lançado em 2002, a missão GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*, missão conjunta NASA e *German Space Center-DLR*) gera estimativas mensais de armazenamento de água terrestre para todo o globo em uma resolução espacial de 1 grau. Para obtenção da série histórica para a região do Rio Javaés, extraiu-se a série de um único pixel. Para cada mês é calculada a anomalia baseada na média e desvio padrão daquele mês para toda a série histórica do GRACE (2002-2016), a partir de três diferentes produtos GRACE, disponibilizados pelos centros *Jet Propulsion Laboratory (JPL)*, *Center for Space Research (CSR)* e *German Research Centre for Geosciences (GFZ)*.

3.2 Níveis de rio: bancos de areia e observações *in-situ*

Uma possível consequência de secas em um rio é o aumento da extensão de bancos de areia expostos, o que acarreta dificuldades para a navegabilidade e manutenção de certos ecossistemas. Assim, a variação temporal da extensão dos bancos de areia dos Rios Javaés e Araguaia foi estimada a partir de classificação não supervisionada de imagens LANDSAT 8 (2013 a 2016) na banda pancromática (devido à maior resolução espacial em relação às outras bandas, de 15 m), para as imagens de órbita-ponto 223-67 e 223-68. A classificação das imagens foi realizada utilizando o algoritmo *Iso Cluster Segmentation* do software ArcGIS, a partir de imagens da banda pancromática extraídas com uma máscara de rio, que foi obtida a partir de composição das bandas 4, 5 e 6 no período de águas altas. Para a imagem 223-068, foi obtido um total de 23 imagens sem cobertura de nuvens para o trecho do Javaés e 29 para o Araguaia, e para a órbita-ponto 223-067 um total de 24 imagens para o Javaés e 25 para o Araguaia.

Como o aumento da extensão de bancos de areia expostos pode ser resultante de alterações no ciclo hidrossedimentológico, e não apenas devido a níveis baixos do rio, é necessário validar o uso de extensão de bancos de areia como um proxy de níveis do rio. Para isto, a extensão dos bancos foi comparada com valores de observação *in-situ* da ANA da estação Barreira da Cruz (26800000; dados não consistidos), disponível no portal Hidroweb.

3.3 Índice SPI de precipitação

Avaliação da precipitação na região foi realizada com dados do produto TMPA a partir do produto TRMM 3B34 ("*TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis*"), para o período de 1998-2016. Cabe ressaltar que a partir de 2014 algumas mudanças ocorreram nas estimativas via micro-ondas, podendo haver não homogeneidade na série de observações. Entretanto, neste estudo foram avaliados acumulados mensais, sendo assumido coerente o uso do produto.

O Índice de Precipitação Padronizado (SPI; McKee *et al.*, 1993) utilizado para análise da seca foi calculado com a precipitação média mensal acumulada de 12 meses com dados provenientes do TRMM 3B43 para a Bacia do Javaés e do Araguaia (Figura 1). As séries são ajustadas em uma função Gama para definir a relação de probabilidade de cada valor de precipitação acumulada, e em seguida é aplicada a esta distribuição de probabilidades a função inversa Gaussiana. Diversos estudos mostraram a viabilidade de se utilizar produtos de precipitação do satélite TRMM para o cálculo desta métrica (e.g., Rhee *et al.*, 2010).

3.4 Estimativas de evapotranspiração por balanço de energia (SEBAL)

As estimativas de evapotranspiração ocorreram através do modelo de balanço de energia SEBAL (Bastiaanssen *et al.*, 1998), em um processo automatizado de calibração interna adaptado de Allen *et al.* (2013). A determinação da evapotranspiração diária foi realizada de acordo com a proposta de Bisht *et al.* (2005), em função senoidal do saldo médio de

radiação diária. Foram utilizadas 37 imagens multiespectrais e termais do LANDSAT 8 (OLI/TIRS), entre 2013 e 2016, para as quais foi aplicada uma máscara de nuvens com o software Fmask (Zhu e Woodcock, 2014). Após as estimativas de evapotranspiração, extraiu-se séries temporais para cinco classes de uso da terra: Mata do Mamão (extensa formação florestal existente no meio da Ilha do Bananal), cerrado, veredas, agricultura e planície de inundação do Araguaia.

4. Resultados

4.1 Armazenamento de água terrestre: GRACE

A anomalia do armazenamento de água terrestre indica as maiores anomalias negativas no período de 2002 a 2016 ocorrendo no ano de 2016, evidenciando a severidade da seca na região. Um único pixel do GRACE foi utilizado para a região de estudo, no entanto o mesmo comportamento é observado na anomalia média da bacia do Araguaia (Figura 2).

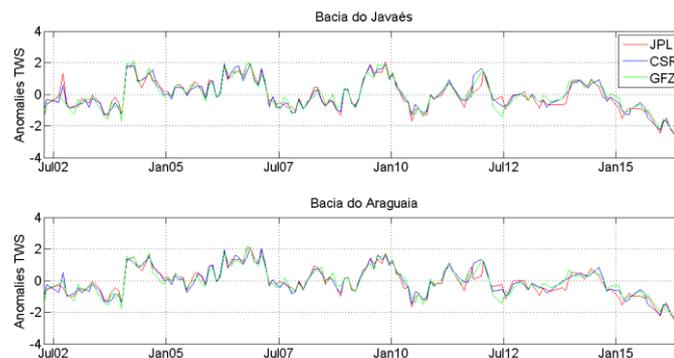


Figura 2. Série histórica de anomalia do GRACE.

4.2 Nível de rios: bancos de areia e observações *in situ*

O método empregado de classificação de imagem é de fácil aplicação, dado o grande contraste entre os bancos de areia e demais feições da região (Figura 3). Observações *in-situ* de níveis do rio indicam em 2016 o cotograma mais seco desde 2013 no Rio Javaés (Figura 4a). Por outro lado, a ótima correlação entre cota do rio e estimativa de extensão de bancos de areia (Figura 4b) indica que a área de bancos expostos no Javaés pode ser utilizado como proxy de níveis do rio, ou seja, que no período analisado os bancos de areia podem ser utilizados como um indicativo de seca. A variação destes revela mais os processos hidrológicos do que processos hidrossedimentológicos de transporte de sedimentos no rio. Em um período mais longo, que envolva por exemplo grandes cheias capazes de alterar a geomorfologia do rio, esta correlação talvez apresente valores menores.

A Figura 5 apresenta a variação temporal da extensão de bancos de areia para os Rios Javaés e Araguaia, para as duas imagens utilizadas (órbitas-pontos 223-68 e 223-67). A seca no Rio Javaés se manifesta através de (i) maior extensão de bancos de areia expostos e (ii) antecipação no tempo da aparição de bancos de areia (pontos pretos ocorrendo antes na Figura 5 para o ano de 2016), o que está de acordo com a descida mais rápida do cotograma de 2016 na Figura 4a. Por sua vez, a seca de 2016 não é manifestada nos bancos do Araguaia (áreas de bancos igual às áreas dos outros anos), apesar de os bancos de areia começarem a ocorrer meses antes que nos demais anos. Isto pode ocorrer devido a diferentes processos de transporte de sedimentos entre o Javaés e o Araguaia, sendo o segundo de maior porte e possuindo possivelmente uma dinâmica mais intensa de alteração dos bancos.

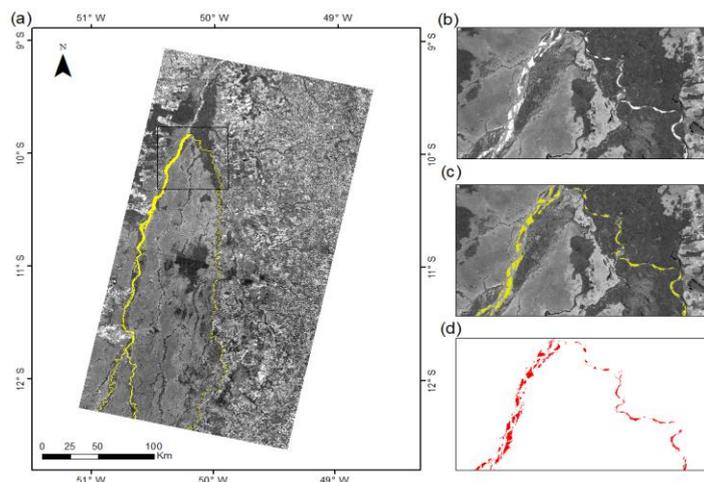


Figura 3. Classificação das imagens LANDSAT 8 para identificação de bancos de areia. (a) Máscaras de contorno dos Rios Araguaia e Javaés utilizados para delimitação dos bancos de areia (amarelo). Retângulo preto indica detalhe das figuras b, c e d. (b) Área da confluência entre Javaés e Araguaia. (c) e (d) Identificação dos bancos de areia.

Observa-se também que nos quatro gráficos da Figura 5 os últimos pontos de cada ano indicam uma diminuição dos bancos de areia, ou seja, que nestes pontos o nível do rio já está subindo e as áreas de bancos de areia começam a diminuir; a partir deste ponto, a existência de nuvens impede a estimativa de bancos nos meses seguintes. Imagens LANDSAT 8 posteriores a setembro de 2016 (última imagem utilizada na extração de bancos de areia), não utilizadas devido a alta cobertura de nuvens, indicam que os níveis do rio não foram menores que em setembro de 2016, evidenciando que os valores obtidos são de fato referentes às maiores extensões de bancos de areia ocorridas neste ano.

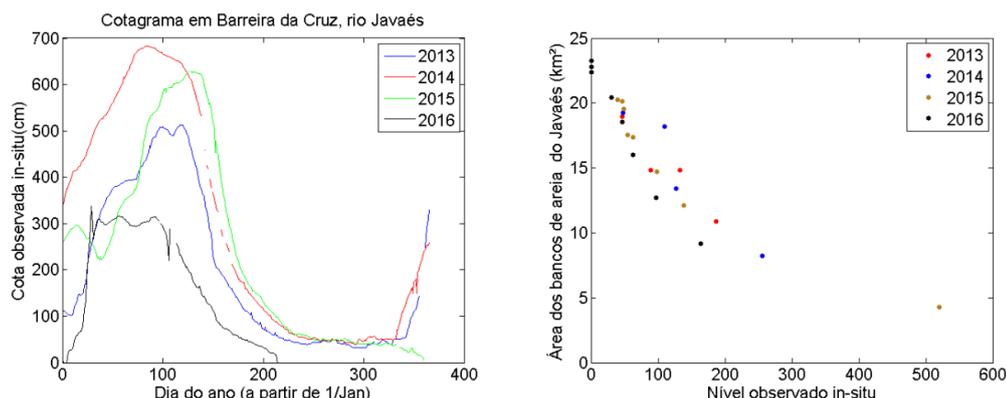


Figura 4. (a) Cotagrama em Barreira da Cruz, Rio Javaés. (b) Relação entre área de bancos de areia do Javaés e nível in-situ na estação Barreira da Cruz no Javaés.

Por fim, a classificação na imagem da porção sul gerou mais ruído, e um comportamento não tão distinto entre 2016 e os demais anos, possivelmente por haver mais áreas de plantações desenvolvidas próximas às margens do rio, dificultando a extração de série histórica de bancos de areia, enquanto a área da porção norte é mais preservada. Além disso, a área sul é menos afetada pela contribuição do Rio Formoso, cuja água tem sido intensamente utilizada para irrigação de lavouras.

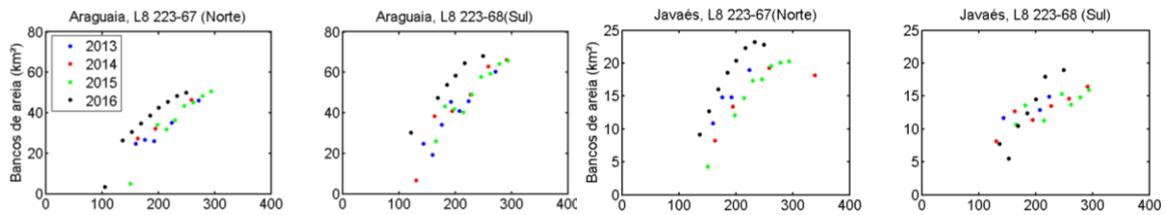


Figura 5. Evolução temporal de extensão de bancos de areia para o período 2013-2016, indicando maiores extensões e ocorrência antecipada dos bancos no ano de 2016. Resultados mostrados para imagens LANDSAT 223-67 (norte da Ilha do Bananal) e 223-68 (sul). Eixo x corresponde aos dias do ano a partir de 1/janeiro.

4.3 Precipitação: índice SPI

Os dados de precipitação do TRMM indicam uma forte seca hidrológica no ano de 2016, sendo este o ano mais seco do período desde 1998, o que está de acordo com estimativa de armazenamento de água terrestre com a missão GRACE (Seção 4.1). Os valores de precipitação acumulada mensal (Figura 6a) mostram que tanto a bacia do Javaés em estudo quanto toda a região do Araguaia têm sofrido com uma intensa seca, e que a maioria dos meses desde 2015 apresentaram índices pluviométricos bem inferiores aos outros anos. Isto é corroborado pelo índice SPI, onde valores tão baixos quanto “-3” foram obtidos para o meio do ano de 2016. Em todo o resto da série observada do TRMM, nenhum ano obteve valores menores que “-1.5”.

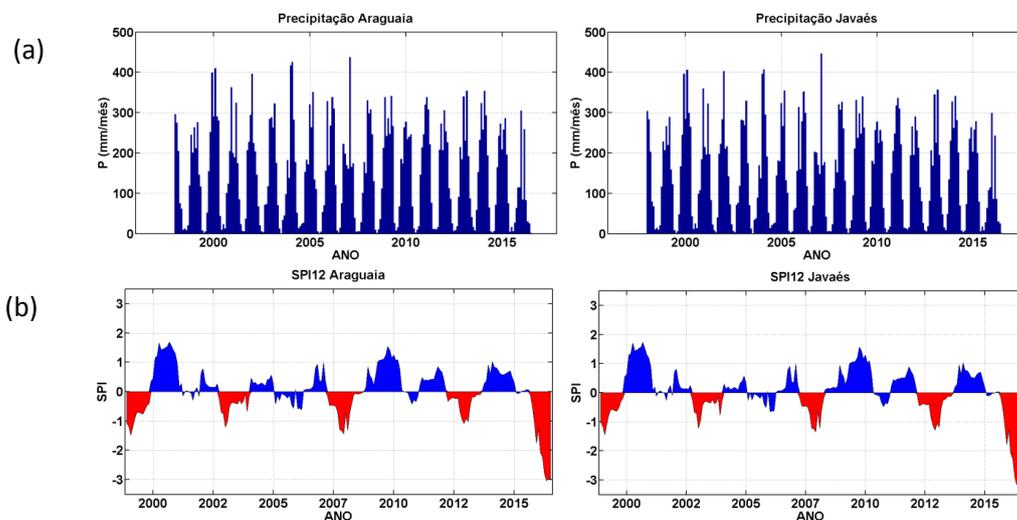


Figura 6. (a) Precipitação mensal e (b) SPI de 12 meses acumulados para o período 1998-2016 para as bacias do Araguaia e do Javaés. Valores de SPI menores que “0” estão destacados em vermelho.

4.4 Evapotranspiração: SEBAL

A estimativa de evapotranspiração (ET) com o algoritmo SEBAL permite avaliar a retirada de água para irrigação de lavouras, bem como a comparação da sazonalidade da ET entre diversos alvos. Assim, a Figura 7 apresenta as séries temporais de ET diária para cinco alvos distintos: agricultura, Mata do Mamão, cerrado, planície de inundação do Araguaia e veredas. De modo geral, ambientes com alta disponibilidade de água (mata, planície de inundação e veredas) apresentaram uma variação similar ao longo dos anos, com altas taxas de ET, e máximos ocorrendo em dezembro. O cerrado e a agricultura, por sua vez, apresentam padrões distintos, onde uma amplitude bem maior ocorre durante o ano, alcançando valores bem baixos de ET, possivelmente por falta de disponibilidade de água.

Períodos chuvosos não possuem estimativas de ET devido à cobertura de nuvens. Nos alvos de agricultura, observa-se que altas taxas de ET foram mantidas durante o ano de 2016, equivalentes aos valores observados nos demais anos da série. Quanto aos alvos naturais, os dados gerados são inconclusivos, visto não haver disponibilidade de imagens LANDSAT para o final do ano de 2016; não se pode afirmar, assim, que nestes alvos a ET foi menor em 2016 que nos demais anos devido a menor disponibilidade de água.

Por fim, deve-se salientar que há incerteza na definição dos alvos, especialmente relacionados a agricultura e cerrado, devido a possíveis mudanças de cobertura do solo, cultura plantada ou técnica de irrigação durante o período analisado. Assim, em trabalho futuro será realizada validação da ET estimada pelo SEBAL com dados observados in-situ.

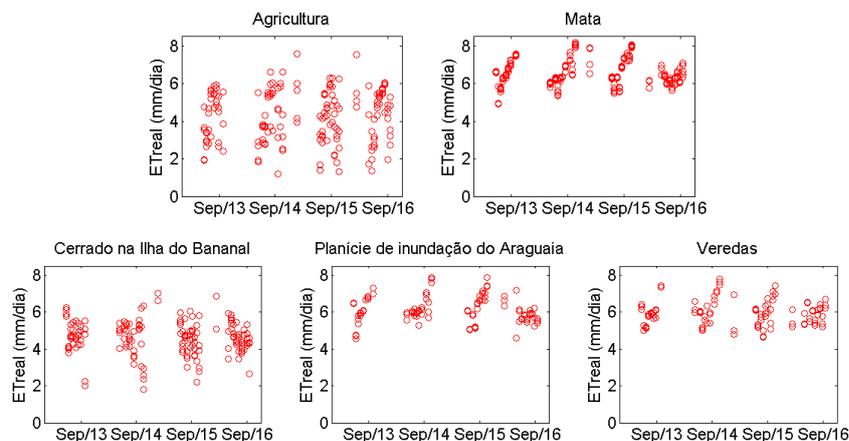


Figura 7. Séries históricas de evapotranspiração real estimada pelo algoritmo SEBAL para 37 imagens LANDSAT-8 órbita-ponto 223-68, para cinco alvos de cada uma das classes (a) agricultura, (b) Mata do Mamão, (c) cerrado (d) planície de inundação do Araguaia e (e) veredas.

4.5 Aspectos da seca de 2016 da bacia do Rio Javaés

Os resultados de produtos de sensoriamento remoto apresentados nas seções 4.1 a 4.4 podem ser utilizados em conjunto para compreensão da seca ocorrente na bacia do Rio Javaés em 2016. Há um menor armazenamento de água terrestre na região, como manifestado pelos dados do GRACE, e um impacto associado no aumento da extensão de bancos de areia do Rio Javaés e na diminuição no nível do rio, o que causa grandes dificuldades para navegação e manutenção de importantes ecossistemas.

Uma pronunciada seca hidrológica manifesta-se em toda a bacia devido a valores anômalos de precipitações mensais em toda a bacia do Rio Araguaia, indicadas pelos baixos valores de SPI obtidos e por precipitações acumuladas mensais anômalas.

A estimativa com o algoritmo SEBAL da evapotranspiração real (ET) de áreas de agricultura indicou que água vem sendo retirada do rio a taxas similares aos demais anos. Isto indica que, mesmo com a pronunciada seca existente, as áreas irrigadas mantiveram-se ativas. Neste caso, a seca hidrológica existente em 2016 seria agravada pelo uso intenso de água na agricultura. Recentemente, o órgão ambiental estadual do Tocantins restringiu as retiradas de água para irrigação (Naturatins, 2016b), a fim de preservar os rios da região, muitos já secos. Cabe salientar que o período de análise foi curto (2013-2016), e que uma extensão desta série histórica é importante para tornar os resultados obtidos mais conclusivos sobre o impacto da agricultura na seca do Javaés. Por fim, o estudo não é conclusivo em relação à ET de alvos naturais como veredas e a floresta da Mata do Mamão, devido a não disponibilidade de imagens do final de 2016, não sendo possível ainda identificar se houve padrões anômalos de ET neste ano.

5. Conclusão

Este trabalho avaliou a seca severa que ocorreu na bacia do Rio Javaés no ano de 2016 através da integração de dados de múltiplos satélites, envolvendo estimativas de armazenamento de água terrestre, extensão de bancos de areia, precipitação e evapotranspiração. A metodologia utilizada pode ser aplicada em outras bacias para avaliação e compreensão de impactos de seca.

A curta série de dados LANDSAT analisados (2013-2016) impede resultados conclusivos sobre os papéis relativos de baixa precipitação e alta retirada de água para irrigação na seca do Rio Javaés, mas apresenta elementos importantes para sua análise. A precipitação muito abaixo do normal evidencia uma seca hidrológica severa na bacia do Rio Javaés, bem como em grande parte do Brasil central (bacia do Rio Araguaia), enquanto estresses hídricos são acentuados por retiradas de água para irrigação de lavouras. Desenvolvimentos futuros deste estudo envolverão uma ampliação da série histórica analisada, de modo a aumentar a compreensão do fenômeno de seca existente em 2016 na bacia do Rio Javaés.

Referências

- Allen, R., Burnet, B., Kramber, W., Huntington, J., Kjaersgaard, J., Kilic, A., Kelly, C., Trezza, R. Automated Calibration of the Metric-Landsat Evapotranspiration Process. **Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)**, v. 49, n. 3, p. 563-576, 2013.
- Bastiaanssen, W.G.M.; *et al.* A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212-213, n. 1-4, p. 198-212, 1998.
- Bisht, G., Venturini, V., Islam, S., Jiang, L. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. **Remote Sensing of Environment**, v. 97, n. 1, p. 52-57, 2005.
- G1. MP pede suspensão da retirada de água dos rios formoso e urubu. Disponível em: <<http://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2016/08/mp-pede-suspensao-da-retirada-de-agua-dos-rios-formoso-e-urubu.html>>. Acesso em outubro de 2016. (2016b)
- G1. No Tocantins, agentes tentam salvar animais ameaçados pela seca. Disponível em: <<http://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2016/10/no-tocantins-agentes-tentam-salvar-animais-ameacados-pela-seca.html>>. Acesso em outubro de 2016. (2016a)
- McKee, T.B., N.J. Doesken and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: **Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology**, Anaheim, California, 17-22 January 1993. Boston, American Meteorological Society, 179-184.
- Mishra, A. K.; Singh, V. P.; A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1-2, p. 202-2016, 2010.
- Ministério do Meio Ambiente. **Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia**. 2009.
- Naturatins. Naturatins suspende a outorga de recursos hídricos. Disponível em: <<http://naturatins.to.gov.br/noticia/2016/8/23/naturatins-suspende-a-outorga-de-recursos-hidricos/>>. Acesso em outubro de 2016. (2016b)
- Naturatins. Operação do naturatins resgata nove botos na região do rio formoso. Disponível em: <<http://naturatins.to.gov.br/noticia/2016/8/29/operacao-do-naturatins-resgata-nove-botos-na-regiao-do-rio-formoso/>>. Acesso em outubro de 2016. (2016a)
- Rhee, J.; Im, J.; Carbone, G.J.; Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 2875-2887. 2010.
- Sivakumar, M.V.K., 2012. High-level Meeting on National Drought Policy. CSA News, December. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- UNISDR. 2011. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland.
- Wilhite, D.A., "Chapter 1 Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions" (2000). Drought Mitigation Center Faculty Publications. Paper 69.
- Zhu, Z. and Woodcock, C. E., Improvement and Expansion of the Fmask Algorithm: Cloud, Cloud Shadow, and Snow Detection for Landsats 4-7, 8, and Sentinel 2 images, **Remote Sensing of Environment**, v. 159, p. 269-277, 2014.