

## Quantificação de parâmetros da produtividade da água com imagens Landsat em condições de mudança de uso da terra no distrito de irrigação Nilo Coelho

Antônio Heriberto de Castro Teixeira<sup>1</sup>  
Hélio Leandro Lopes<sup>2</sup>  
Fernando Braz Tangerino Hernandez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Semiárido - CPATSA/Embrapa  
Caixa Postal 23 - 56302-970 - Petrolina - PE, Brasil  
heriberto.teixeira@embrapa.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF  
Caixa Postal 252 - 56310-406 - Petrolina - PE, Brasil  
heliovasf@hotmail.br

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo - UNESP  
Caixa Postal 34 - 13385-000- Ilha Solteira - SP, Brasil  
fbhttang@agr.feis.unesp.br

**Abstract.** The Nilo Coelho irrigation scheme, located in the semi-arid region of Brazil, is highlighted as an important agricultural irrigated perimeter. To analyze the land use change effects inside this perimeter, the large scale values of biomass production (BIO) and actual evapotranspiration (ET) were quantified from 1992 to 2011, under the naturally driest conditions along the year. Monteith's radiation model was applied for estimating the absorbed photosynthetically active radiation (APAR), while the SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) algorithm was used to retrieve ET. The highest incremental values of BIO as a consequence of the land use change happened in 1999 and 2005 when the average differences between irrigated crops and natural vegetation were more than 70 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Comparing the ET rates of 1992 (1,6 mm d<sup>-1</sup>) with those for 2011 (3,1 mm d<sup>-1</sup>), it was verified that the extra water consumption was doubled as a result of the increasing in irrigated areas. More uniformity along the years on both water productivity parameters occurred in natural vegetation, evidenced by the lower values of standard deviation when comparing to irrigated crops. The heterogeneity in ET values under irrigation conditions are due to the different crop stages, cultural and water managements. The models applied at the irrigation perimeter level are considered to be suitable for quantifying the land use change effects on regional biomass production and water consumption in the Brazilian semiarid region, however, to transfer them to other agro-ecosystems, probably, the regression coefficients of the equations should be calibrated.

**Palavras-chave:** evapotranspiration, biomass production, photosynthetically active radiation, surface resistance, evapotranspiração, produção de biomassa, radiação fotossinteticamente ativa, resistência da superfície.

### 1. Introdução

Em larga escala, a vegetação natural da região semiárida do Brasil, a Caatinga, vem sendo rapidamente substituída por culturas agrícolas nos perímetros irrigados. Entre os mais importantes destes perímetros está o Nilo Coelho, localizado na margem esquerda do Rio São Francisco. Sua construção foi finalizada em 1990 e desde então a agricultura irrigada vem crescendo, principalmente com fruteiras para mercado externo. A água é bombeada do rio e aplicada através de diferentes sistemas de irrigação, principalmente localizada, por micro aspersão ou gotejamento. O período chuvoso é concentrado de janeiro a abril com menores áreas irrigadas no período chuvoso em fevereiro e as maiores acontecendo no período naturalmente mais seco em julho (Bastiaanssen et al., 2001).

Considerando-se os efeitos das mudanças de uso da terra com nos perímetros de irrigação, torna-se importante o desenvolvimento e aplicação de ferramentas para quantificação dos parâmetros de produtividade da água avaliando-se a dinâmica dos agro-ecossistemas que compõem estes perímetros na bacia do Rio São Francisco. Os consumos hídricos das culturas

irrigadas nas condições semiáridas brasileiras excedem aquele para as espécies da Caatinga durante o período naturalmente mais seco, promovendo um aumento na produção de biomassa (BIO) e nas taxas da evapotranspiração atual (ET) em larga escala (Teixeira, 2009).

Para as estimativas da BIO, o conceito de eficiência de uso da luz baseado na interceptação da radiação solar pode ser aplicado (Prince, 1991), sendo o grau desta interceptação variável durante o ano e estágios das culturas (Tesfaye et al, 2006, Teixeira, 2009). O sensoriamento remoto por satélites é uma ferramenta eficiente para estas estimativas, provendo informações espaciais, localização e estado de diferentes agros-ecossistemas (Teixeira, 2009). A alta correlação entre a radiação nas bandas espectrais dos satélites e parâmetros biofísicos torna possível a quantificação e mapeamento da BIO em larga escala (Ahamed et al., 2011).

Dados de imagens do satélite MODIS combinados com os de precipitação, temperatura e elevação, foram processados para mapeamento de florestas na Califórnia (Baccine et al., 2004). O mesmo satélite foi utilizado em Guandong, China, para avaliação da BIO visando a introdução e mapeamento de espécies bioenergéticas (Shi et al., 2008). Na bacia do Submédio São Francisco, Brasil, estimativas preliminares da BIO foram realizadas com uso de imagens Landsat para o acesso da produtividade da água em larga escala (Teixeira, 2009).

O modelo proposto para estimativa da BIO baseado na radiação solar global (RG) e no desenvolvimento da copa das plantas tem precisão aceitável (Monteith, 1972), podendo ser usado remotamente com qualquer tipo de satélite em diferentes ecossistemas (Bastiaanssen e Ali, 2003, Teixeira, 2009). Além da BIO, para acessos à produtividade da água, deve-se quantificar também a ET. O sensoriamento remoto por imagens de satélites, excluindo a necessidade de quantificação de outros parâmetros hidrológicos complexos, é apropriado para determinação e mapeamento da ET em larga escala, tendo sido realizado em ecossistemas mistos sob diferentes condições climáticas (Teixeira 2009; Miralles et al. 2011; Pôças et al. 2013).

Considerando a simplicidade e operacionalidade, o algoritmo SAFER (*Simple Algorithm For Evapotranspiration Retrieving*) foi desenvolvido e validado com dados de experimentos de campo e imagens Landsat, envolvendo vegetação natural e culturas irrigadas nas condições semiáridas brasileiras (Teixeira 2012a). Outra vantagem do SAFER é que além de estações agrometeorológicas automáticas, as convencionais podem ser usadas, permitindo uma avaliação histórica da BIO e da ET. Um segundo modelo biofísico foi também elaborado para calcular a resistência da superfície aos fluxos hídricos ( $r_s$ ) em larga escala, o qual quando estabelecidos valores limites para  $r_s$ , é bastante útil para a classificação em culturas irrigadas e vegetação natural (Teixeira 2012b).

O objetivo do presente trabalho foi combinar o conhecido modelo de Monteith para estimativa da BIO com o algoritmo SAFER no caso de obtenção da ET, demonstrando que estes quando utilizado com imagens Landsat, são úteis para quantificação de parâmetros de produtividade da água em larga escala, com avaliação da dinâmica de agros-ecossistemas mistos compostos de vegetação natural e culturas irrigadas ao longo dos anos, em nível de perímetros irrigados na região semiárida do Brasil. O distrito de irrigação Nilo Coelho foi tomado como referência para aplicação dos modelos, sendo o sucesso de aplicação em outras áreas condicionado à calibração e validação dos coeficientes originais das equações.

## 2. Metodologia de trabalho

Uma estação agrometeorológica convencional e cinco automáticas foram usadas em conjunto com dez imagens Landsat para períodos naturalmente secos de 1992 a 2011. A Figura 1 apresenta a localização do perímetro de irrigação Nilo Coelho e as estações.

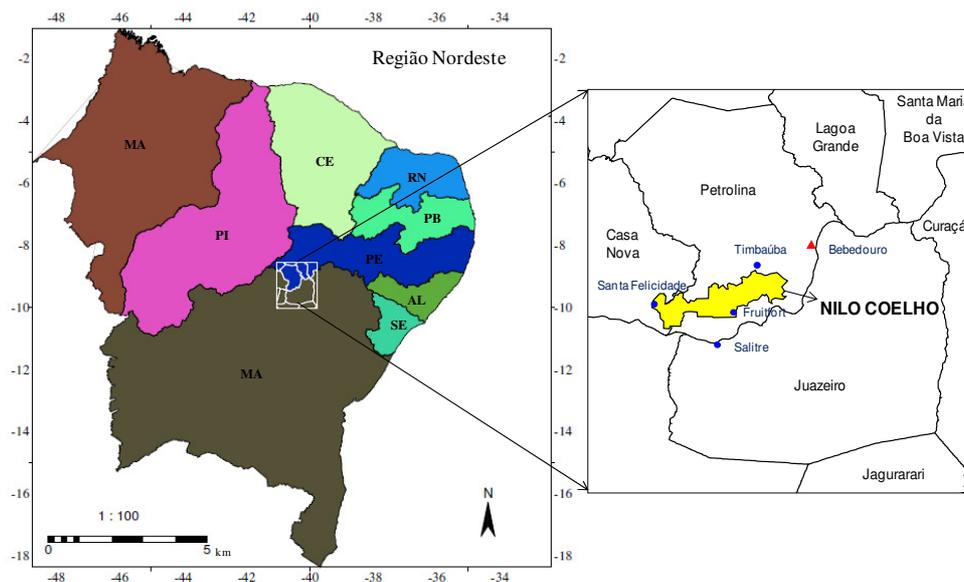


Figura 1. Localização do perímetro irrigado Nilo Coelho e das estações agrometeorológicas automáticas (Fruitfort, Santa Felicidade, Timbaúba, Salitre e Bebedouro) e da convencional (Bebedouro).

A estação convencional juntamente com outra automática situadas no mesmo local (Bebedouro) foi usada para estimativa dos dados climáticos antes de 2003, devido a ausência das estações automáticas, com aplicação de equações de regressão simples. Então, de 1992 a 2011 foi possível o uso de grades da radiação solar global (RG), temperatura do ar ( $T_a$ ) e da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), juntamente com os parâmetros obtidos por sensoriamento remoto para a modelagem da BIO e da ET em larga escala.

Os parâmetros calculados por sensoriamento remoto para entrada nos modelos foram o albedo da superfície ( $\alpha_0$ ), a temperatura da superfície ( $T_0$ ) e o NDVI.

A ET foi obtida com a aplicação do algoritmo SAFER (Teixeira, 2012a):

$$\frac{ET}{ET_0} = \exp \left[ a + b \left( \frac{T_0}{\alpha_0 NDVI} \right) \right] \quad (1)$$

onde os valores de  $ET_0$  foram calculados conforme Allen et al. (1998) e interpolados das cinco estações agrometeorológicas (Figura 1). Os coeficientes de regressão a e b foram 1,8 e -0,008, respectivamente para as condições semiáridas brasileiras.

Os valores diários do saldo de radiação ( $R_n$ ) podem ser obtidos pelo saldo de radiação de ondas curtas ( $R_{ns}$ ) na mesma escala de tempo, e o saldo de radiação de ondas longas ( $R_{nl}$ ) estimado através da transmissividade atmosférica ( $\tau$ ):

$$R_n = (1 - \alpha_0)RG - a_1\tau \quad (2)$$

onde  $a_1$  é o coeficiente de regressão entre  $R_{nl}$  e  $\tau$  na escala diária. Uma equação de regressão entre  $a_1$  e  $T_a$  foi usada para espacialização deste coeficiente (Teixeira, 2009).

Os mapas dos valores diários de RG foram usados para estimativa dos valores da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em larga escala:

$$PAR = aR_G \quad (3)$$

onde  $a = 0,44$  é o coeficiente de regressão encontrado nas condições semiáridas brasileiras (Teixeira, 2009).

A radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR) foi estimada da PAR:

$$APAR = fPAR \quad (4)$$

sendo os valores de f obtidos dos de NDVI:

$$f = a\text{NDVI} + b \quad (5)$$

considerando-se os coeficientes de regressão  $a$  e  $b$  como 1,257 e -0,161, respectivamente, de acordo com Bastiaanssen e Ali (2003).

BIO foi estimada através da seguinte equação:

$$\text{BIO} = \varepsilon_{\max} E_f \text{APAR} 0.864 \quad (6)$$

onde  $E_f$  (fração evaporativa) é a razão do fluxo de calor latente ( $\lambda E$ ) para  $R_n$ , sendo  $\lambda E$  obtido pela transformação da ET em unidades de energia;  $\varepsilon_{\max}$  é a eficiência de uso da luz máxima, a qual foi considerada  $2,5 \text{ g MJ}^{-1}$  pela maioria das espécies sendo C4 na região de estudo; e 0,864 é um fator de conversão (Teixeira, 2009)

Para a classificação em culturas irrigadas e vegetação natural, o modelo seguinte foi aplicado nas imagens Landsat para o período mais seco do ano (Teixeira, 2012b):

$$r_s = \exp \left[ a \left( \frac{T_0}{\alpha_0} \right) (1 - \text{NDVI}) + b \right] \quad (7)$$

onde  $a$  e  $b$  são coeficientes de regressão, com valores de 0,04 e 2,72, respectivamente, para as condições semiáridas do Brasil.

Para classificação da vegetação, aplicaram-se os limites de  $800 \text{ s m}^{-1}$  e  $10000 \text{ s m}^{-1}$  para  $r_s$  em conjunto com funções condicionais. Para valores abaixo ou igual ao limite inferior e NDVI acima de zero consideraram-se culturas irrigadas. Para  $r_s$  acima de  $800 \text{ s m}^{-1}$  e menor que o limite superior do intervalo, assumiu-se vegetação natural.

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta a variação espacial dos valores de NDVI no distrito de irrigação Nilo Coelho, envolvendo o período de 1992 a 2001, no momento da passagem do satélite Landsat, considerando-se o período mais seco do ano.

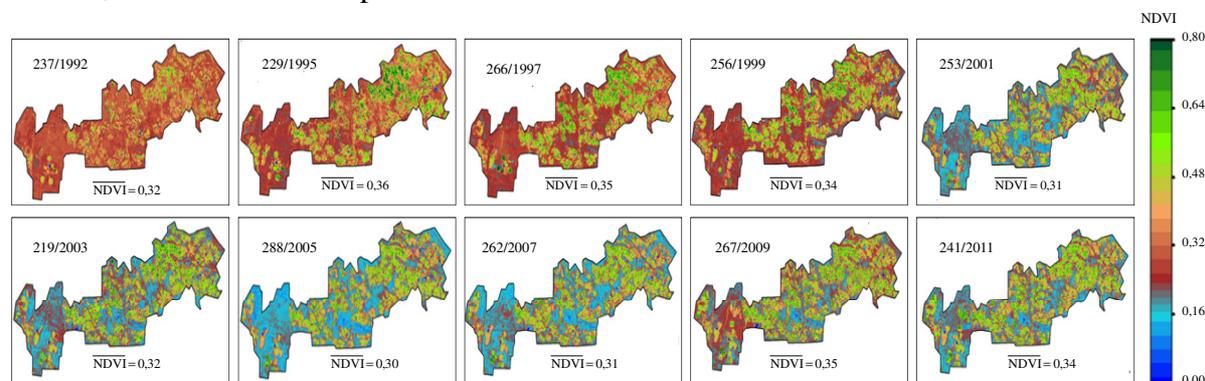


Figura 2. Distribuição espacial dos valores de NDVI para o momento da passagem do satélite Landsat no perímetro de irrigação Nilo Coelho, Brasil, durante o período mais seco do ano para cada Dia/Ano de 1992 a 2011. As barras significam valores médios dos pixels.

O aumento nos valores espaciais de NDVI ao longo dos anos é evidente, na medida em que as áreas irrigadas foram substituindo a vegetação natural, principalmente quando se observa as imagens para 1992 e 2011, as quais são para dias do ano próximos (Dia/Ano 237/1992 e 241/2011, respectivamente). Considerando todo o período representado na Figura 2, a média de NDVI para o perímetro foi de 0,33, embora áreas irrigadas apresentem valores chegando a 0,80. A heterogeneidade espacial também aumentou com os desvios padrões (DP) variando de 0,008 em 1992 a 0,17 em 2011.

A dificuldade de se quantificar as mudanças de uso da terra utilizando-se apenas NDVI está na variabilidade deste índice de vegetação com as condições de precipitação (P). Por outro lado, além do NDVI e P, a BIO também depende da radiação fotossinteticamente ativa

absorvida (APAR), a qual está condicionada aos níveis de RG. A Figura 3 apresenta a variação destes parâmetros ao longo dos anos analisadas.

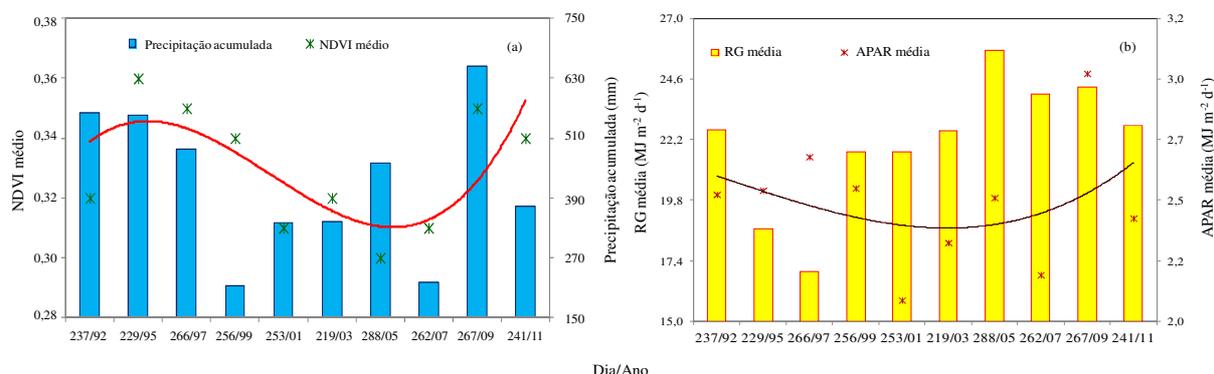


Figura 3. Médias dos indicadores de vegetação juntamente com parâmetros climáticos para o período de 1992 a 2011: (a) NDVI e totais acumulados de precipitação; (b) Radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR) e radiação solar global (RG). Os dados de precipitação foram da estação convencional de Bebedouro, enquanto para os outros parâmetros as médias dos pixels foram usadas.

Embora nos anos 1992, 1995 e 1997 tendo menores áreas irrigadas, uma grande quantidade de P durante o período chuvoso contribuiu para deixar úmida a zona radicular das espécies da Caatinga (Figura 3a). Por outro lado, os baixos valores de P entre os anos de 1999 e 2007 reduziram as médias de NDVI, com uma recuperação destas apenas em 2009, quando a quantidade de P acumulada foi elevada. A Figura 3b reforça a dependência da BIO com as condições de umidade, pois se observam elevados valores de APAR com baixos níveis de RG em 1997, por exemplo, a média maior de RG em 2005 não corresponde a mais alta de APAR, que ocorre em 2009, quando se tem elevados valores de ambos, P e RG.

A Figura 4 apresenta a variação espacial dos valores diários da BIO ao longo dos anos de 1992 a 2011 para Dia/Ano no período naturalmente mais seco do ano.

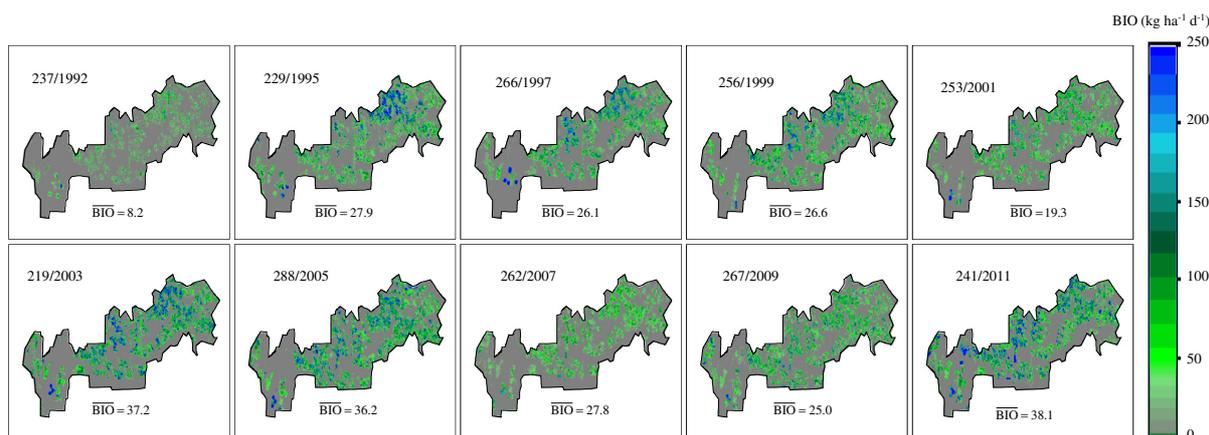


Figura 4. Distribuição espacial dos valores diários de produção de biomassa (BIO) durante os períodos mais secos do ano entre 1992 e 2011 para cada Dia/Ano no perímetro de irrigação Nilo Coelho, Nordeste do Brasil.

Com elevados níveis de APAR e ausência de chuvas nos períodos mais secos do ano, a vegetação natural apresentam baixa BIO enquanto que as culturas irrigadas produzem altos valores, causando um forte contraste entre estes ecossistemas. Em algumas áreas irrigadas a BIO chega a apresentar valores diários acima de  $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . Os valores médios dos pixels

variaram de 8 a 38 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> de 1992 a 2011, representando um incremento de 465% como resultado do aumento das áreas com culturas irrigadas. A variação espacial é larga, com os valores de desvio padrão (DP) passando de 21 a 70 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> neste período.

A Figura 5 mostra a distribuição espacial dos valores diários da ET nos períodos mais secos do ano de 1992 a 2011, no perímetro de irrigação Nilo Coelho, Nordeste do Brasil.

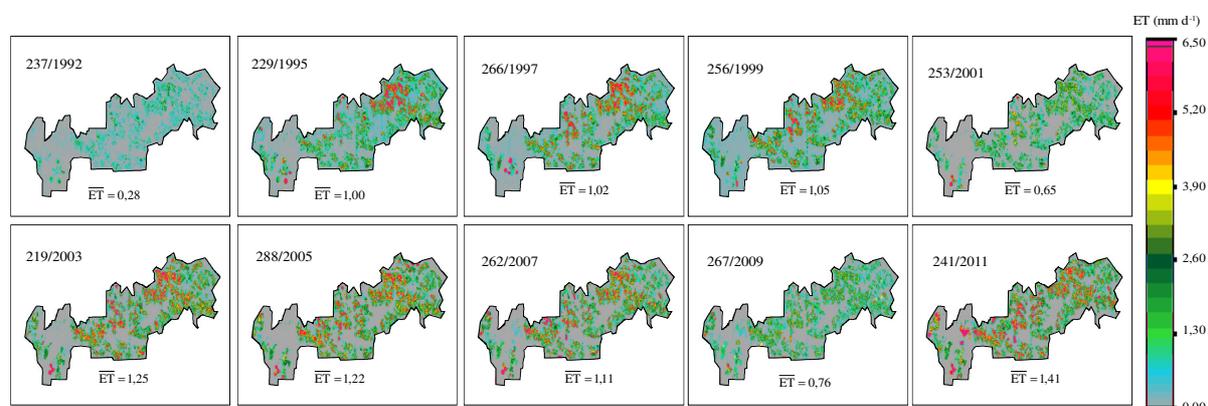


Figura 5. Distribuição espacial dos valores diários da evapotranspiração atual (ET) durante os períodos mais secos do ano entre 1992 e 2011 para cada Dia/Ano no perímetro de irrigação Nilo Coelho, Nordeste do Brasil.

Novamente, claramente podem-se distinguir as áreas irrigadas da Caatinga pelos valores de ET mais elevados no primeiro ecossistema. Considerando-se todo o perímetro, os incrementos ao longo dos anos são evidentes, em torno de 350% quando se compara o ano de 1992 com o de 2011. Como uma consequência das maiores partes da energia disponível para as espécies da Caatinga ser usada para o fluxo de calor sensível no período naturalmente mais seco do ano, estas apresentam valores de ET abaixo de 1,0 mm d<sup>-1</sup>, enquanto que para as culturas irrigadas estes se apresentam acima de 3,5 mm d<sup>-1</sup>.

Os valores médios de BIO e ET para todo o distrito Nilo Coelho (Figuras 4 e 5) são baixos, devido à heterogeneidade dos diferentes tipos de vegetação. Para ambas as condições, irrigadas e de vegetação natural, a variação das médias e dos valores de DP foram analisadas ao longo dos anos (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios diários e desvios padrões dos parâmetros de produtividade da água para o período seco de 1992 a 2011, no perímetro de irrigação Nilo Coelho, Pernambuco (PE), Nordeste do Brasil: Produção de biomassa (BIO) e evapotranspiração atual (ET).

| Dia/Ano | BIO<br>(kg ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> ) |           | ET<br>(mm d <sup>-1</sup> ) |         |
|---------|---|-----------|-----------------------------|---------|
|         | CI  | VN        | CI                          | VN      |
| 237/92  | 12,6 ± 24,7                                   | 8,5±21,9  | 1,8±0,8                     | 0,2±0,3 |
| 229/95  | 42,5 ± 70,3                                   | 23,0±51,8 | 2,8±1,8                     | 0,4±0,6 |
| 266/97  | 33,3 ± 61,9                                   | 25,7±53,2 | 3,5±1,6                     | 0,4±0,5 |
| 256/99  | 73,2 ± 63,7                                   | 2,1±3,2   | 2,7±1,5                     | 0,2±0,2 |
| 253/01  | 28,8 ± 47,1                                   | 21,8±41,3 | 2,6±1,0                     | 0,5±0,5 |
| 219/03  | 41,0 ± 71,5                                   | 34,8±69,0 | 3,0±1,8                     | 0,2±0,4 |
| 288/05  | 88,5 ± 73,7                                   | 1,1 ±2,8  | 2,9±1,6                     | 0,1±0,2 |
| 262/07  | 30,2 ± 57,2                                   | 28,8±58,7 | 3,3±1,8                     | 0,4±0,6 |
| 267/09  | 98,0 ± 56,7                                   | 11,0±11,0 | 2,6±1,1                     | 0,5±0,4 |
| 241/11  | 42,1 ± 72,7                                   | 37,4±70,2 | 3,4±1,9                     | 0,3±0,6 |

\*CI - Culturas irrigadas; VN - Vegetação natural

Considerando culturas irrigadas, os valores médios da BIO ao longo do ano foram entre 10 e 100 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> sendo abaixo de 25 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> apenas no ano de 1992. Os mais elevados ocorreram em 2009, porém a maior variação espacial, determinada pelos valores de DP, foi em 2011. Para a Caatinga, há uma maior oscilação da BIO, ficando a média entre 1 e 40 kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, com menores valores tanto da BIO como de DP ocorrendo em 1999 e 2005, destacando-se o ano de 2011 o de maior valor médio.

Comparando-se os menores valores da BIO nos anos de 1999 e 2005 para vegetação natural com as condições climáticas da Figura 3, percebe-se que no primeiro ano este foi consequência das baixas quantidades de chuvas, porém, com relação ao segundo, o valor baixo da BIO ocorreu mesmo P e RG elevados. Pela Equação 6 percebe-se que a E<sub>f</sub>, incluindo as condições de umidade do solo, também exerce um papel importante na magnitude da BIO. O menor valor de E<sub>f</sub> em vegetação natural para o período analisado, com média de 0,02 em 2005, indica que apenas 2% de R<sub>n</sub> foi usado na ET, sendo é a razão do declínio da BIO para este ano nas espécies da Caatinga.

Com relação às taxas da ET, pode-se ver que estas quase duplicaram quando se compara o ano de 1992 e 2011. Já para a Caatinga as taxas diárias são mais estáveis e baixas com esta vegetação natural convertendo a maior parte da energia disponível para aquecimento do ar nos períodos mais secos dos anos.

Comparando-se as diferenças em ET entre as culturas irrigadas e vegetação natural, percebe-se que a evapotranspiração incremental, representada pela diferença nas taxas dos dois ecossistemas variou em média de 1,6 em 1992 a 3,1 mm d<sup>-1</sup> em 2011, duplicando os consumos extras causados pela introdução de culturas agrícolas comerciais. Pelos valores de DP nas culturas irrigadas e vegetação natural percebe-se uma maior heterogeneidade no consumo hídrico do que nas espécies naturais devido aos diferentes manejos e estágios das culturas agrícolas.

#### **4. Conclusões**

O uso conjunto de imagens Landsat com dados de estações agrometeorológicas permitiram a quantificação e análises das tendências dos parâmetros de produtividade da água no perímetro de irrigação Nilo Coelho, Nordeste do Brasil, durante o período de 1992 a 2011. As análises podem subsidiar um melhor entendimento da dinâmica das propriedades biofísicas dos agros-ecossistemas, importantes para avaliação dos efeitos da mudança de uso da terra nos recursos hídricos.

Do ponto de vista de produção de biomassa em larga escala, pôde-se concluir que, os valores são mais fortemente dependentes da precipitação acumulada que dos níveis de radiação solar global. As médias da BIO apresentaram um incremento de 465% durante o período analisado como resultado do aumento das áreas com culturas irrigadas. Como há uma relação entre BIO e ET, tendências similares ao longo dos anos foram verificadas com aumento de 350% nas taxas evapotranspiratórias.

Analisando-se a evapotranspiração incremental, os consumos extras causados pela introdução de culturas agrícolas duplicou a retirada de água do Rio São Francisco considerando-se o período mais seco do ano no perímetro de irrigação Nilo Coelho.

#### **Agradecimentos**

Ao CNPq pelo suporte financeiro ao projeto sobre produtividade da água, processo 472973/2011-8.

#### **5. Referências bibliográficas**

Ahamed, T.; Tian, L.; Zhang, Y.; Ting, K. C. A review of remote sensing methods for biomass feedstock production. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 2455-2469, 2011).

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998.

Baccine, A.; Friedl, M. A.; Woodcock, C. E.; Warbington, R. Forest biomass estimation over regional scales using multisource data. **Geophysical Research Letters**, v. 31, p. 1-4, 2004.

Bastiaanssen, W.G.M.; Brito, R.A.L.; Bos, M.G.; Souza, R.A.; Cavalcanti, E.B.; Bakker, M.M. Low cost satellite data for monthly irrigation performance monitoring: Benchmarks from Nilo Coelho, Brazil, **Irrigation and Drainage Systems**, v. 15, p. 53-79, 2001.

Bastiaanssen, W.G.M.; Ali, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 94, p. 32-340, 2003.

Monteith, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, v. 9, p. 747-766, 1972.

Miralles, D.G.; Holmes, T.R.H.; De Jeu, R.A.M.; Gash, J.H.; Meesters, A.G.C.A.; Dolman, A.J. Global land-surface evaporation estimated from satellite-based observations. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, p. 453-469, 2011.

Pôças, I.; Cunha, M.; Pereira, L.S.; Allen, R.G. Using remote sensing energy balance and evapotranspiration to characterize montane landscape vegetation with focus on grass and pasture lands, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, p.159-172, 2013.

Prince, S. D. A model of regional primary production for use with coarse-resolution satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 12, p. 1313-1330, 1991.

Shi, X.; Elmore, A.; Li, X.; Gorence, N.J.; Jin, H.; Zhang, X. Using Spatial Information Technologies to Select Sites for Biomass Power Plants: A Case Study in Guangdong, China. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, p. 35-43, 2008.

Teixeira, A.H. de C. **Water productivity assessments from field to large scale: a case study in the Brazilian semi-arid region**. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2009, 226p.

Teixeira, A.H. de C. Modelling evapotranspiration by remote sensing parameters and agro-meteorological stations. In: Neale, C.M.U.; Cosh, M.H. (Org.). **Remote Sensing and Hydrology**. IAHS Press, 2012a. 352, p. 154-157.

Teixeira, A.H. de C. Determination of surface resistance to evapotranspiration by remote sensing parameters in the semi-arid region of Brazil for land-use change analyses. In: Neale, C.M.U.; Cosh, M.H. (Org.). **Remote Sensing and Hydrology**. IAHS Press, 2012b. 352, p. 167-170.

Tesfaye, K.; Walker, S.; Tsubo, M. Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. **European Journal of Agronomy**, v. 25, p. 60-70 2006.