

## Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia

Gustavo D'Angiolella<sup>(1)</sup>, Vânia Lúcia Dias Vasconcellos<sup>(2)</sup> e José Wilson Corrêa Rosa<sup>(3)</sup>

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Técnico de Agrometeorologia do Instituto Nacional de Meteorologia. Eixo Monumental Via S/1. CEP. 70.680-900. Brasília, DF. E-Mail: gustavo@inmet.gov.br

<sup>2</sup> Geog<sup>a</sup>., Dr<sup>a</sup>. Prof<sup>a</sup>. Adjunta da Fac. de Agr. e Méd. Vet./FAV/UnB. Caixa Postal 04508, CEP. 70.910-970. Brasília-DF. E-Mail: vdias@unb.br.

<sup>3</sup> Geólogo, Ph.D. Prof. Adjunto do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Campus Darcy Ribeiro, CEP. 70.710-900. Brasília, DF. E-Mail: jwfunds@pop.com.br.

**Resumo** - Utilizou-se o Sistema de Informação Geográfica *ArcView* para realizar o cálculo do balanço hídrico preconizado por Thornthwaite & Mather (1955), adotando-se uma capacidade de água disponível (CAD) de 100mm, a partir da evapotranspiração estimada pelo método de Thornthwaite (1948), para a mesorregião sul da Bahia. Os resultados demonstraram a ocorrência de taxas potenciais de evapotranspiração superiores a 1000mm.ano<sup>-1</sup>, atingindo 1500mm.ano<sup>-1</sup> na zona litorânea, com a evapotranspiração real se mantendo em níveis potenciais ao longo do ano, com valores entre 900mm.ano<sup>-1</sup> na porção noroeste e sudeste, e 1500mm.ano<sup>-1</sup> no litoral norte da região. O excedente hídrico acompanha as linhas de precipitação, cujos maiores volumes ocorrem no nordeste da mesorregião sul da Bahia, decrescendo para sudeste, com valores de 1000mm.ano<sup>-1</sup> a 100mm.ano<sup>-1</sup> respectivamente. A deficiência se comporta de forma oposta apresentando os maiores valores no sudeste da região, chegando a atingir 225mm.ano<sup>-1</sup>, nas proximidades da divisa com os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. A disponibilidade hídrica anual é satisfatória ao desenvolvimento dos cultivos em grande parte da região exceto no extremo sudoeste, nas proximidades das divisas com os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, onde são encontrados valores do índice de disponibilidade de água "R", inferiores a 0.6 nos meses de junho, agosto e outubro.

**Palavras-chave:** Balanço hídrico; Sistema de Informação Geográfica; Bahia.

## Estimate and the area range of the water balance in the south meso-region of Bahia State

**Abstract** - The ArcView Geographic Information System was used to the water balance calculation, by adopting an water availability capacity of 100mm, and by using the Thornthwaite method to estimate the evapotranspiration, for the South Meso-Region of Bahia State. The water balance demonstrated that studied area presents potential rates of evapotranspiration between 1000mm.year<sup>-1</sup> in the interior, and 1500mm.year<sup>-1</sup> in the coast. This is caused by the high energetic potential in the region. The real evapotranspiration can be kept in potential levels in almost all region during the year, with amounts between 900mm.year<sup>-1</sup> in the Northwest and Southeast, and 1500mm.year<sup>-1</sup> in the North Coast of the region. The water surplus follows the precipitation lines, which greater volumes occur in the Northeast of the region, decreasing to the Southeast, with amounts between 1000mm.year<sup>-1</sup> and 100mm.year<sup>-1</sup> respectively. The lack of water has a inverse characteristic, and presents the greatest amounts in the Southeast of the region, reaching 225mm.year<sup>-1</sup> near the border with Minas Gerais and Espirito Santo States. The annual hydric availability is satisfactory to the development of the cultivations in a large part of the region, except in the Southwest end, in the proximities of the border with the states of Minas Gerais and Espirito Santo, where are found values of water availability "R" index inferior to 0.6 in the months of June, August and October.

**Index terms** - Water balance, Geographical Information System, Bahia State.

## 1. Introdução

Em um planeta em que a água potável está se tornando cada vez mais escassa, o estudo das perdas hídricas assume importância relevante. O conhecimento da distribuição espacial e temporal da disponibilidade hídrica estabelece diretrizes para a implementação de políticas de planejamento e execução para o uso racional deste recurso.

Além disso, a crescente demanda de água, a limitação dos recursos hídricos, os conflitos entre alguns usos e os prejuízos causados pelo excesso e pela escassez, exigem que tanto o planejamento como a gestão da sua utilização ocorram em termos racionais e otimizados.

Uma maneira prática e acessível de se obter essa informação é a aplicação do princípio físico de conservação de massa, mediante a estimativa do balanço hídrico.

O balanço hídrico surgiu da necessidade de se contabilizar a chuva e a evapotranspiração que ocorre em um ecossistema, com o objetivo de se conhecer a disponibilidade de água para as plantas, ao longo do ano. Visando equacionar esta relação, surgiram diferentes métodos de se calcular o balanço hídrico. Dentre estes, o que apresentou maior difusão foi o de Thornthwaite & Mather (1955), por considerar que a disponibilidade de água no solo diminui à medida que o armazenamento é reduzido, estabelecendo assim, o solo como um ingrediente ativo no seu cálculo.

O balanço hídrico, portanto, é facilmente entendido como um método climático utilizado para estimar o teor de água existente no solo disponível à comunidade vegetal.

Para a agricultura, as informações do balanço hídrico estão relacionadas ao conhecimento do regime hídrico de uma região; da época mais apropriada ao longo do ano para o preparo do solo, semeadura e plantio e a viabilidade de implantação de sistemas de irrigação ou drenagem. O balanço hídrico permite também definir os períodos de deficiência hídrica em que há necessidade de irrigação suplementar e a identificação dos períodos de excesso, os quais poderão ser aproveitados para o armazenamento superficial da água da chuva.

O balanço hídrico possui diversas aplicações possibilitando a obtenção de informações diferenciadas a depender da periodicidade estabelecida para o estudo.

Bergamaschi et al. (1992), comenta que quando realizado em seqüência, em escala diária ou decenal, o balanço hídrico possibilita determinar, através do monitoramento da umidade do solo, o melhor momento da semeadura dentro da estação de plantio e a lâmina líquida a ser aplicada via irrigação suplementar. Este autor considera ainda que, o balanço hídrico é uma ferramenta capaz de determinar a ocorrência e a magnitude dos períodos secos e chuvosos. Do ponto de vista agrônomo, o balanço hídrico define as condições hídricas sob as quais a cultura se desenvolveu (Lordello Neto, 1998). Para Sentelhas (1998), o balanço hídrico climatológico tem sua principal função estabelecida na caracterização regional quanto à disponibilidade hídrica. Tubelis (2001) afirma que o balanço hídrico pode ser usado na determinação do período de repouso necessário a algumas culturas perenes, o que pode ser atingido com a seca, de forma a proporcionarem floradas intensas e conseqüentemente colheitas concentradas.

O desenvolvimento tecnológico e científico possibilitou o acesso a diversas informações que compõem em um grande volume de dados para serem interpretados e analisados. Este fato levou ao uso de sistemas informatizados que se tornaram importantes ferramentas de trabalho, tanto para análise quanto para extração de novas informações. Assim, foram criados sistemas computacionais denominados Sistema de Informação Geográfica - SIG, cuja principal função é analisar informações espaciais e seus atributos descritivos (modificado - Carmelo, 1999).

A aplicação do Sistema de Informação Geográfica – SIG, em um estudo de balanço hídrico, aponta para o uso de um ferramental relativamente novo, capaz de demonstrar as características, o comportamento e a variação espacial e temporal da disponibilidade hídrica de uma determinada região auxiliando assim, a tomada de decisão.

O SIG permite a interpolação de dados espaciais para locais onde não se dispõe de dados observados, e possibilita a manipulação e interpretação de dados, inclusive com a programação de novas metodologias de tratamento de dados.

A partir da utilização do SIG e da aplicação dos conceitos do balanço hídrico, Giacomoni (2002), elaborou o sistema de Suporte à Outorga de Direito do Uso da Água – SODUA, de forma a estabelecer a necessidade de água para determinada área cultivada e a disponibilidade de tal recurso no ponto de captação, de acordo com o sistema de irrigação utilizado.

Este trabalho teve como principal objetivo utilizar o Sistema de Informação Geográfica, na geração de informações sobre a disponibilidade hídrica da mesorregião sul da Bahia, principalmente para os locais onde não se dispõe de dados observados.

## 2. Material e Métodos

O presente trabalho foi desenvolvido na mesorregião sul da Bahia, conforme a Malha Municipal Digital do Brasil (IBGE, 1999), em escala de 1:2.500.000, compreendida entre as latitudes 13°09' e 18°24'S e Longitudes 38°46' e 40°41' W.

Para a estimativa da evapotranspiração mensal adotou-se o método de Thornthwaite (1948), utilizando dados meteorológicos mensais de temperatura média do ar para o período de 1984 a 1993, das localidades de Valença, Uruçuca, Ilhéus, Una, Jussari, Porto Seguro, Itabela e Itapetinga (Tabela 1), cedidos pelo Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC).

De forma a conferir um melhor resultado na espacialização, foram utilizadas informações meteorológicas médias mensais das localidades de Salvador, Cruz das Almas, Itiruçu, Vitória da Conquista, Ilhéus, Canavieiras e Caravelas na Bahia; São Mateus no Espírito Santo; e Pedra Azul, Araçuaí e Serra dos Aimorés em Minas Gerais. As informações climáticas dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo foram cedidas pelo 5° e 6° Distritos de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, respectivamente. Os demais dados da Bahia foram obtidos das Normais Climatológicas (INMET, 1992).

A estimativa da evapotranspiração de referência foi realizada utilizando o método de Thornthwaite (1948), por meio da seguinte equação:

O cálculo do balanço hídrico climatológico foi realizado segundo a metodologia de Thornthwaite & Mather (1955), sendo efetuado mediante programação de dois *scripts* na linguagem *Avenue*, pertencente à plataforma do Sistema de Informação Geográfica *ArcView*, versão 3.2a, da empresa *Environmental System Research Institute* (ESRI, 1997).

Neste trabalho, foram utilizados os *scripts* desenvolvidos por Giacomoni (2002), os quais, a partir de um tema de pontos, que representam as estações meteorológicas e sua tabela de atributos, calcula a evapotranspiração mensal, atualizando-a e, posteriormente, calcula o balanço hídrico criando, para cada estação, uma nova tabela com os resultados.

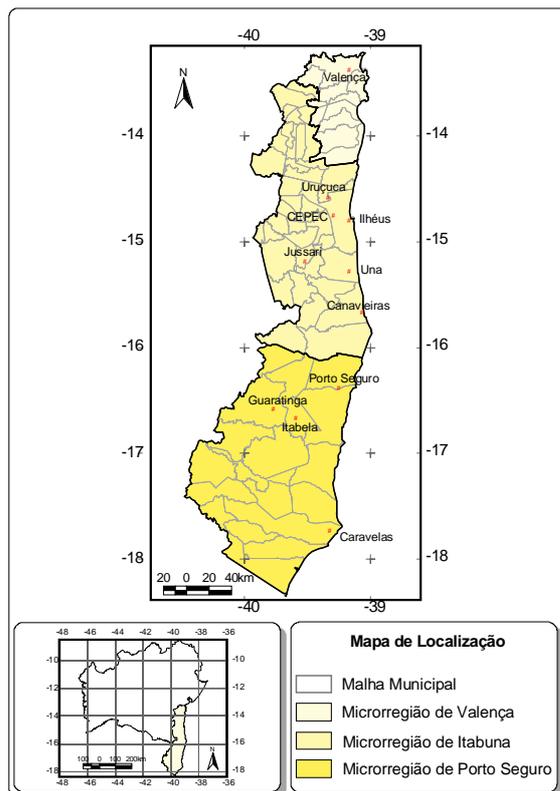
Adotou-se uma capacidade de água disponível (CAD) de 100mm, capaz de atender as culturas exploradas na região, a qual corresponde o intervalo entre o máximo (CC) e o mínimo (PMP) teor de água de um solo, a partir da seguinte equação:

Para a determinação da disponibilidade hídrica foi utilizado índice “R” proposto por Yao (1968), sendo definido como a razão entre a evapotranspiração real e a potencial, cujos valores variam de zero – nenhuma disponibilidade hídrica, a um – disponibilidade hídrica plena. O valor do índice “R” igual a 0.6 indica o ponto crítico da umidade do solo necessário ao desenvolvimento dos cultivos. Desta forma, a ocorrência de valores superiores a 0.6 demonstra que o solo apresenta condições de umidade favorável ao desenvolvimento das culturas, enquanto que valores inferiores a 0.6 indicam um déficit de umidade (Accioly et al., 2001).

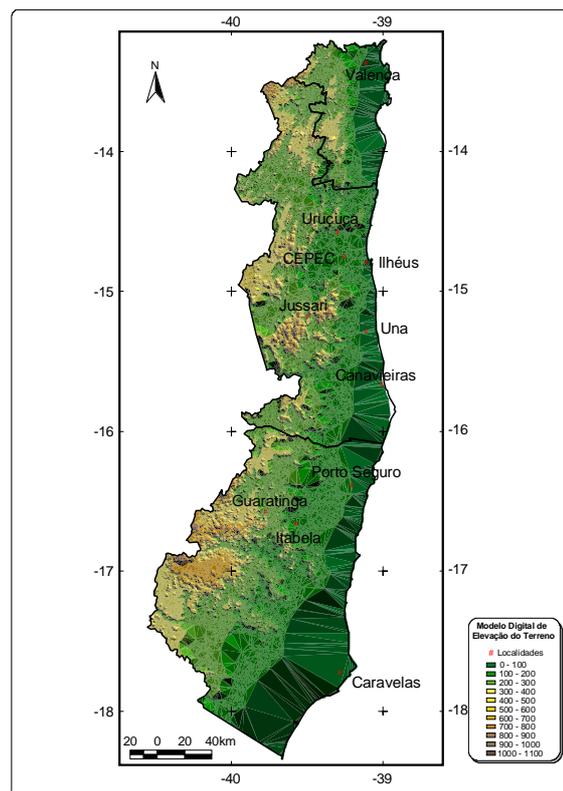
Para a espacialização das informações do balanço hídrico, utilizou-se a divisão político-administrativa mesorregional da Bahia, da Malha Municipal Digital do Brasil (IBGE, 1999), na escala de 1:2.500.000 (**Figura 1**).

Mediante as curvas de nível digitalizadas a partir das Cartas do Brasil ao Milionésimo (ANA, 2001) na escala de 1:1.000.000, foram montadas coberturas das estradas, hidrografia, curvas de nível e pontos cotados de forma a elaborar o modelo digital de elevação do terreno, para a mesorregião sul da Bahia, utilizando a ferramenta *TIN* do *ArcView* (**Figura 2**).

Para auxiliar a interpretação dos resultados, associando-os às variações de relevo (**Figura 2**) e à cobertura vegetal, foi utilizada uma composição colorida (RGB 543) do mosaico de imagens do satélite LANDSAT/TM-7, do ano de 2001 (**Figura 3**).



**Figura 1.** Divisão político-administrativa da mesorregião sul da Bahia.

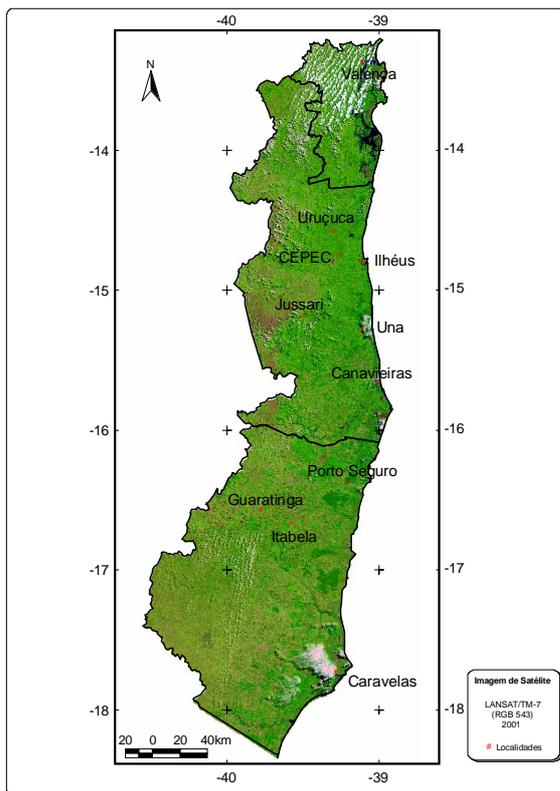


**Figura 2.** Modelo digital de elevação do terreno da mesorregião sul da Bahia.

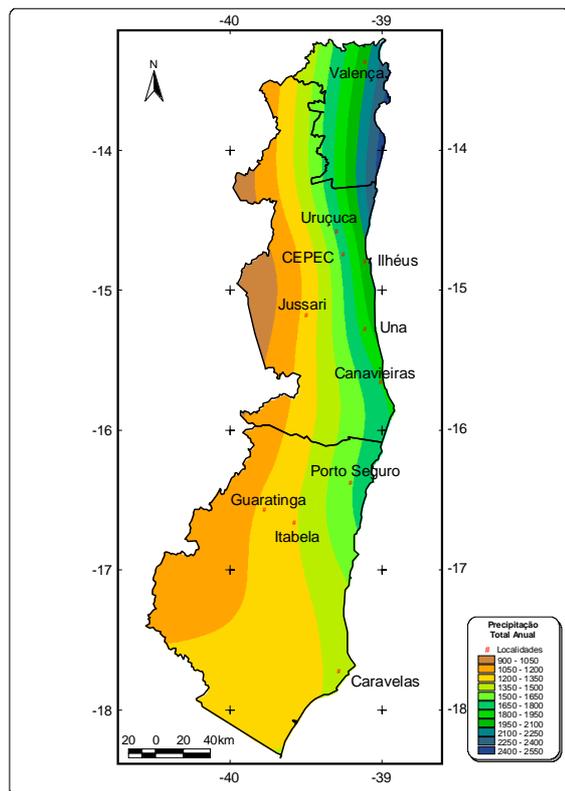
Para espacialização do balanço hídrico, foi utilizado o método de interpolação *Spline*, pela valorização dos pontos originais e pela garantia da continuidade dos mesmos, para as informações de precipitação, evapotranspiração potencial e real, deficiência, excedente e disponibilidade hídrica, sendo gerados mapas dos totais anuais para a mesorregião sul da Bahia, em formato *Grid*.

### 3. Resultados e Discussão

O sul da Bahia é uma mesorregião com aproximadamente 111.000km<sup>2</sup>, com moderada densidade de estações meteorológicas (**Figura 1**), e escassez de informações sobre o comportamento do clima. A utilização do Sistema de Informação Geográfica possibilitou gerar informações pontuais sobre a distribuição da precipitação, evapotranspiração potencial e real, deficiência, excedente, e disponibilidade hídrica para toda a mesorregião sul da Bahia, a partir da espacialização dos resultados do balanço hídrico.



**Figura 3.** Composição colorida (RGB 543) do mosaico de imagens do satélite LANDSAT/TM-7 (2001).



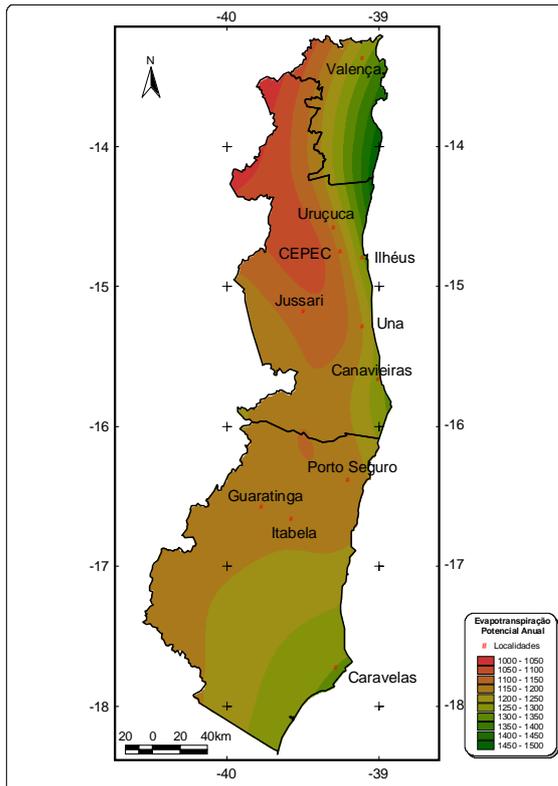
**Figura 4.** Totais anuais de precipitação pluviométrica na mesorregião sul da Bahia.

Na região, a precipitação varia de acordo com a longitude e com a latitude, apresentando valores em torno de  $2000\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$  no nordeste da região e de  $900\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$  no sudoeste (**Figura 4**). De uma forma geral a região litorânea apresenta-se mais chuvosa ao longo do ano com os maiores índices ocorrendo nos meses março a setembro na porção norte e outubro a dezembro na porção sul. Esta diferenciação se deve a atuação sazonal diferenciada dos sistemas sinóticos conforme descrito por Roeder (1975).

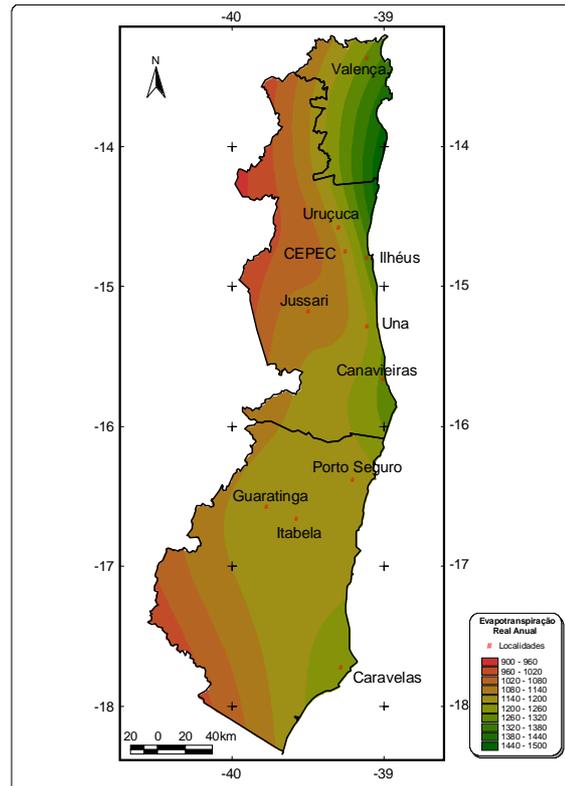
A evapotranspiração potencial anual apresenta valores entre  $1500\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$  na costa litorânea e zona da mata, a  $1000\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$  no noroeste da região, devido às variações do relevo e à proximidade com a caatinga (**Figura 5**). O comportamento mensal acompanha a sazonalidade estacional com valores mais elevados no verão e redução no inverno. As taxas evapotranspirométricas máximas ocorrem no mês de março no litoral norte, com valores em torno de  $140\text{mm}$  devido certamente à baixa altitude e às temperaturas mais elevadas, e mínimos em torno de  $50\text{mm}$  no oeste, se estendendo para o centro da região em julho.

A deficiência hídrica anual apresenta distribuição regional inversa à precipitação e ao excedente hídrico com ocorrência de valores máximos de  $225\text{mm}$  nas proximidades das divisas com Minas Gerais e Espírito Santo, e valores mínimos de  $3.2\text{mm}$  em Valença. Em grande parte da região não há deficiência hídrica e quando esta ocorre, é de magnitude tão pequena que não chega a afetar o rendimento dos cultivos (**Figura 7**).

O excedente hídrico anual (**Figura 8**), possui configuração semelhante à precipitação, com ocorrência de valores de até  $1000\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$  em Valença, localizada na parte nordeste da região, e redução à medida que há aumento da latitude e da longitude, atingindo valores de apenas  $65\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ , na localidade de Guaratinga, no sudoeste da região.



**Figura 5.** Totais anuais da evapotranspiração potencial na mesorregião sul da Bahia.



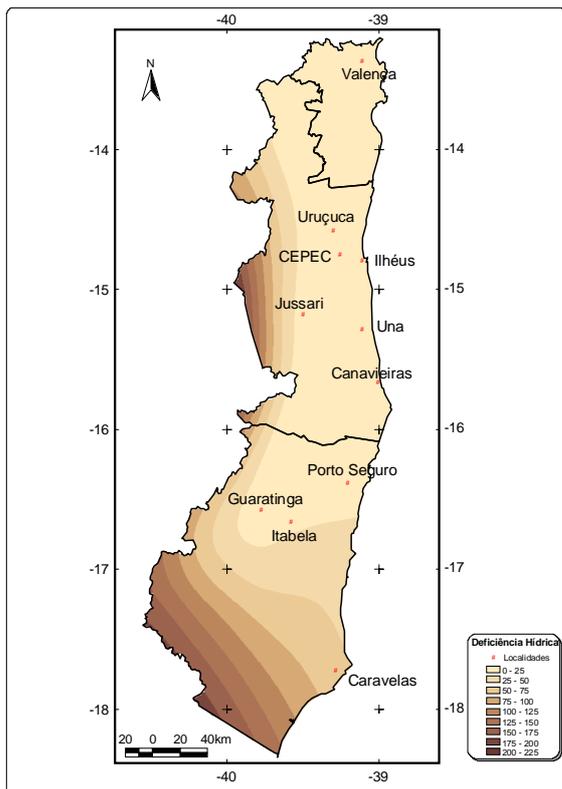
**Figura 6.** Totais anuais da evapotranspiração real na mesorregião sul da Bahia.

A disponibilidade hídrica anual (**Figura 9**), é satisfatória ao desenvolvimento dos cultivos em grande parte da região exceto no extremo sudoeste, nas proximidades das divisas com os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, onde são encontrados valores do índice de disponibilidade de água “R”, inferiores a 0.6 nos meses de junho, agosto e outubro, o que indica uma situação crítica de disponibilidade de água às culturas. Este comportamento pode ser explicado pela proximidade com a caatinga e pela atuação da Massa Equatorial Atlântica, responsável pela prolongada estiagem observada em quase todo o país, ocasionando redução das precipitações e conseqüentemente da evapotranspiração real no inverno e, elevação da temperatura e da evapotranspiração potencial na primavera.

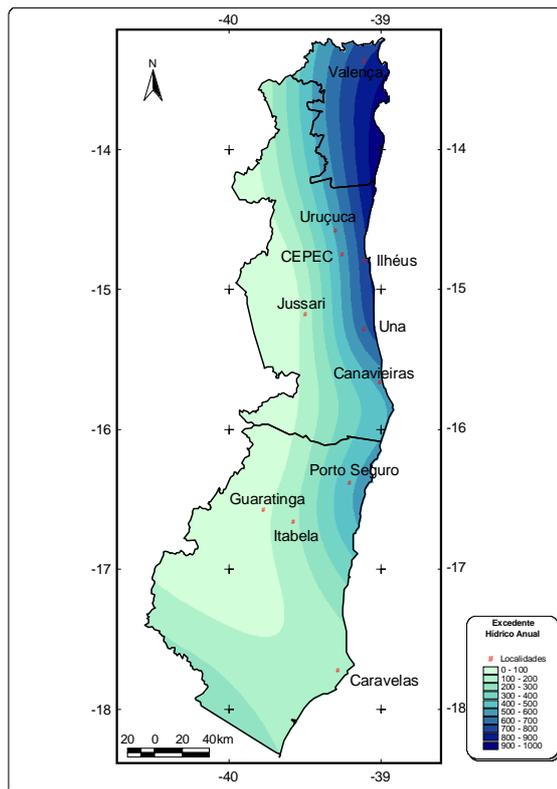
A microrregião de Valença, localizada ao norte da região, apresenta uma disponibilidade hídrica satisfatória ao bom desenvolvimento dos cultivos ao longo do ano, com uma ligeira redução nos meses de janeiro e fevereiro, atingindo 80% da capacidade de água disponível no solo.

Uruçuca, Ilhéus (CEPEC), Ilhéus, Una e Canavieiras, localizadas na parte litorânea da microrregião de Itabuna, apresentam uma disponibilidade hídrica plena ao longo do ano com valores do índice de disponibilidade de água “R” igual a 1.0 em todos os meses, com excedente hídrico de 530, 556, 764, 677 e 535mm respectivamente. Jussari, localizada na parte interior da região, apresenta uma disponibilidade hídrica uniforme com ocorrência de valores mínimos de “R” igual a 0.97 nos meses de março, maio e setembro.

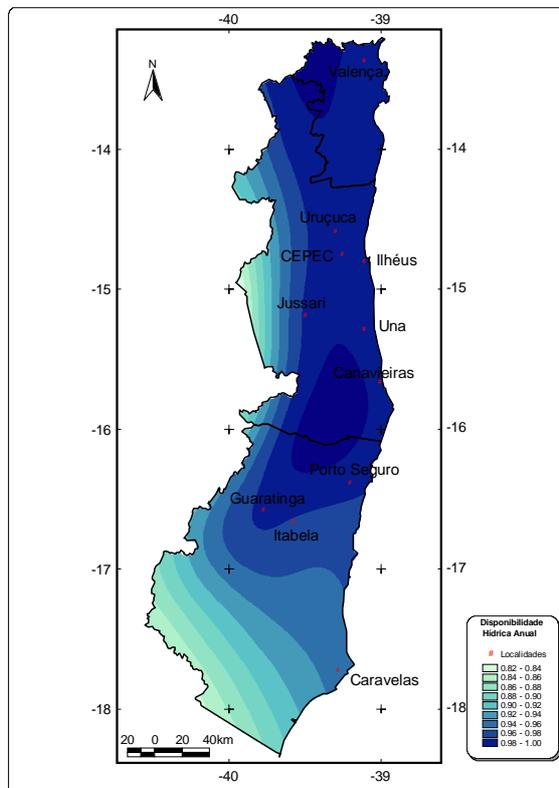
Na microrregião de Porto Seguro, a disponibilidade hídrica mensal é reduzida em fevereiro e março no litoral do extremo sul, devido às altas temperaturas do verão e à redução das chuvas em fevereiro, não chegando a representar problema de deficiência para os cultivos.



**Figura 7.** Totais anuais da deficiência hídrica na mesorregião sul da Bahia.



**Figura 8.** Totais anuais da excedente hídrico na mesorregião sul da Bahia.



**Figura 9.** Disponibilidade hídrica anual da mesorregião sul da Bahia.

#### 4. Conclusões

- O Sistema de Informação Geográfica mostrou-se uma ferramenta eficiente, prática e útil para o cálculo e espacialização do balanço hídrico, possibilitando determinar a disponibilidade hídrica para locais onde não se dispõe de informações meteorológicas coletadas;
- O uso do Sistema de Informação Geográfica possibilitou determinar que a disponibilidade hídrica na mesorregião sul da Bahia é satisfatória ao desenvolvimento de cultivos, exceto no extremo sudoeste da região, nas proximidades das divisas com Minas Gerais e Espírito Santo, nos meses de junho, agosto e outubro;
- A aplicação do balanço hídrico e do Sistema de Informação Geográfica possibilita interagir os resultados com as informações sobre o uso atual do solo, gerando estudos sobre outorga de direito do uso da água e estimativa da produtividade potencial das culturas zoneando assim, áreas aptas à implantação de novos cultivos.

#### 5. Referências Bibliográficas

- Accioly, C.V.; Srinivasan, V.S.; Ramana Rao, T.V. **Regionalização agroclimatológica para o estado de Pernambuco baseado no índice R**. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12, 2001, Fortaleza. Anais... Fortaleza: SBA/FUNCEME, 2001. p.9-10.
- Bergamaschi, H. (Coordenador). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. 1.ed. Porto Alegre: Editora Universitária/UFRGS, 1992. 125p.
- Carmelo, A.C. **Desenvolvimento de uma metodologia de integração de dados geofísicos e de sensoriamento remoto para o estudo de aquíferos no domínio fissural, no quadrante nordeste do Distrito Federal**. Brasília: UnB, 1999. 66p. Exame de Qualificação.
- Environmental Systems Research Institute. **Getting to know Arcview GIS**. 2.ed. Redlands: ESRI Press, 1997.
- Giacomini, M.H. **Utilização de sistemas de informação geográfica para subsidiar sistemas de outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Brasília: UnB, 2002. 71p. Trabalho de conclusão de Graduação.
- ANA. Hidrogeo – **Mosaicos Georreferenciados. Região Nordeste**. Agência Nacional de Águas – ANA. 2001. CD-Rom.
- IBGE. **Malha municipal digital do Brasil, Situação em 1997**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999. CD-Rom.
- Lordello Neto, A.V. **Evapotranspiração e coeficiente de Cultivo (Kc) da cultura do fumo (*Nicotiana tabacum* L.) na região de Cruz das Almas, BA**. Cruz das Almas: UFBA, 1998. 55p. Dissertação de Mestrado.
- Instituto Nacional de Meteorologia. Normais Climatológicas 1961 – 1990. Brasília: INMET, 1992. 84p.
- Roeder, M. **Diagnóstico socioeconômico da região cacaeira**. Reconhecimento climatológico, v.4. Rio de Janeiro: Carto-Gráfica Cruzeiro do Sul, 1975. 89p.
- Sentelhas, P.R.; Pereira, A.R.; Angelocci, L.R. **Meteorologia agrícola**. 1.ed. Piracicaba: ESALQ, 1998. 131p.
- Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. **The water balance**. Publications in climatology. Laboratory of Climatology, New Jersey, v.8, 1955, 104p.
- Thornthwaite, Warren. **An approach toward a rational classification of climate**. Geographical Review. v.38, n.1, 1948.
- Tubelis, A. **Conhecimentos práticos sobre clima e irrigação**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 215p.
- Yao, A.Y.M. **The R index for plant water requirement**. Agr. Meteorology, v.6. p.259-273, 1968.