

# USO AGRÍCOLA DA ÁGUA

POR THAYSE HERNANDES & SIMONE TONI CORRÊA

EMBORA OS VALORES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO SEJAM ELEVADOS E A DINÂMICA DOS COMPONENTES DO BALANÇO HÍDRICO DEPENDA DE FATORES ATMOSFÉRICOS, A SUBSTITUIÇÃO DE CULTURAS ANUAIS E PASTAGENS POR CANA-DE-AÇÚCAR PARECE REGULAR O REGIME DE ESCOAMENTO

LÁ DE CIMA: ESCALA 1:500.000. BACIA FAZENDA MONTE ALEGRE  
VISTA DO SATÉLITE LANDSAT (REPRODUÇÃO: HERNANDES/CORRÊA)

# BALANÇO HÍDRICO

## EVAPOTRANSPIRAÇÃO E PEGADA HÍDRICA

Entende-se por Balanço Hídrico (BH) o saldo entre as entradas e saídas de água de um sistema que ocorre em diversas escalas, sendo amplamente utilizado em agricultura, hidrologia e meteorologia. Dessa maneira, suas aplicações variam desde a caracterização da disponibilidade hídrica regional (ciclo hidrológico); análise dos períodos de seca e seus efei-



Evapotranspiração: forma como a água chega à atmosfera (Foto: Caliandra do Cerrado)

tos em agricultura e micro bacias; planejamento agrícola com base no zoneamento agroclimático; bem como na tomada de decisões, como a viabilidade de implantação de sistemas de irrigação ou drenagem.

O **Balanço Hídrico** de uma cultura (BH de cultura) objetiva calcular as entradas e saídas de água levando-se em consideração o tipo específico de vegetação e seu desenvolvimento fenológico, bem como as características do solo. Partindo-se do suprimento natural de água para o solo (chuvas) e pela demanda atmosférica (simbolizada pela Evapotranspiração da Cul-

tura, (ETc), e com um armazenamento máximo apropriado para a planta cultivada, o **BH de cultura** fornece estimativas do armazenamento de água no solo, evapotranspiração real, da deficiência hídrica e do excedente hídrico em diferentes escalas de tempo.

Nesse tocante, a estimativa da evapotranspiração – forma pela qual a água da superfície terrestre passa

para a atmosfera no estado de vapor – é um fenômeno de extrema importância quando consideramos que cerca de 70% do volume de água precipitada sobre a superfície terrestre retorna à atmosfera pelos efeitos da evaporação (água de superfícies livres) e transpiração das plantas.

Sendo assim, sua mensuração é fundamental para: determinar o consumo hídrico das culturas, auxiliando na estimação de produtividade; analisar a dinâmica de **Mudanças no Uso da Terra (MUT)**, que acarretam uma série de alterações na dinâmica do escoamento e utilização da água e; auxiliar



Por *Dra. Thayse Fernandes<sup>1</sup>* e *Dra. Simone Toni Corrêa<sup>2</sup>*.

projetos de irrigação, fornecendo o volume e o momento ideais de aplicação de água, maximizando o uso dos recursos hídricos de uma região.

### TIPOS DE PEGADA HÍDRICA

Um importante indicador que analisa os quesitos hídricos de culturas é a **Pegada Hídrica (PH)**, conceitualizada em 2002 por Hoekstra.

Entende-se por PH de um produto o volume de água doce utilizado para produção daquele bem, e no local onde foi utilizado. Esse quesito hídrico da cultura é o total acumulado da evapotranspiração (Etc) durante seu ciclo.

A **PH azul** refere-se ao consumo de água superficial e subterrânea (irrigação); a **PH verde** tem como base o consumo de água proveniente da precipitação e; a **PH cinza** é definida como o volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes, a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade da água existentes.

Diversos trabalhos envolvendo a aplicação de modelos que possuem em sua estrutura o BH de cultura e cálculo da evapotranspiração têm sido conduzidos pela equipe de modelagem agroambiental do CTBE. Confira alguns dos trabalhos mais recentes, desenvolvidos em parceria com Esalq, Unicamp, Embrapa, APTA e Universidade do Texas.

## MUDANÇAS DO USO DA TERRA (MUT) E IMPLICAÇÕES NO BALANÇO HÍDRICO

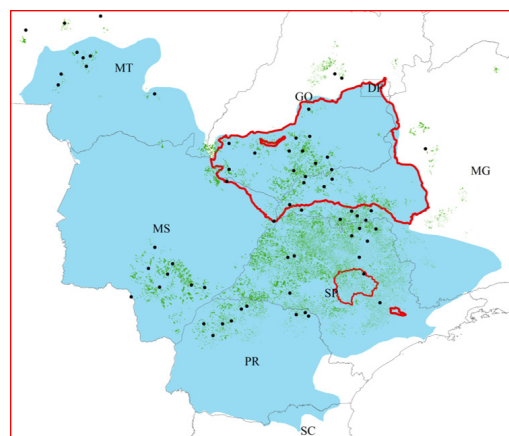
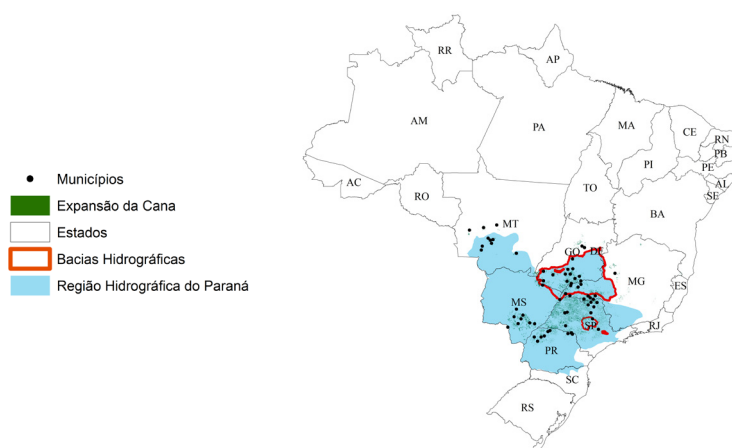
A produção de **bioenergia** a partir de diferentes fontes de **biomassa** é um fenômeno global, sendo o principal fator para o crescimento geral da demanda agrícola em décadas. Esse aumento levou à expansão das áreas de cana-de-açúcar, segundo diferentes dinâmicas, escalas e substituindo diferentes usos do solo.

Na **última safra** (2015/2016), a produção de etanol de cana no Brasil atingiu um volume de 30,5 milhões de m<sup>3</sup>, contando com 666 milhões de toneladas e passando de

e escoamento, levantando assim questionamentos sobre possíveis impactos na disponibilidade de água. Dados do **Canasat** mostram que 95% da cana é cultivada na **Região Hidrográfica do PR**, onde ocorreu também 95% da expansão da cana no Centro-sul entre 2006 e 2013. Aliado ao fato desta ser a região hidrográfica com maior índice de problemas de qualidade e quantidade de água, a concentração da expansão nesta região indica a grande necessidade de estudos, monitoramento e gerenciamento

ção a disponibilidade de água e as condições regionais, como a demanda e a vazão da bacia no local avaliado, além das características locais do solo, do clima e da cobertura do solo.

No caso de bacias hidrográficas, a evapotranspiração é contabilizada como um componente do balanço hídrico na bacia, para todas as coberturas do solo. Estudos recentes apontam para uma maior pressão sobre a disponibilidade dos recursos hídricos, já que pastagens e culturas anuais, principais clas-



*Aumento de área plantada de cana: expansão de 2006 a 2013 (Thayse Hernandez/CTBE)*

4,8, em 1990, para 8,7 milhões de hectares de área colhida. A expansão ocorreu principalmente no Estado de São Paulo e em áreas tradicionalmente cultivadas; entretanto, houve uma expansão significativa no bioma Cerrado nos estados de MG, GO, MT e MS. As áreas com cana substituíram diversos usos do solo e essas mudanças na cobertura do solo podem alterar a partição da água na superfície terrestre, afetando o balanço hídrico e processos hidrológicos como evapotranspiração, infiltração, recarga de água subterrânea, fluxo de base

dos recursos hídricos, de modo a garantir a disponibilidade de água para todos os fins.

Pesquisas atuais sobre a expansão da cana e a disponibilidade de recursos hídricos no Brasil focaram principalmente na avaliação da evapotranspiração, nas necessidades de irrigação e déficit hídrico e na **Pegada Hídrica** para a produção de cana-de-açúcar e outras culturas.

A avaliação dos impactos das mudanças de uso da terra sobre a disponibilidade dos recursos hídricos deve sempre levar em considera-

ses de uso onde a cana se expandiu nos últimos anos, geralmente evapotranspiram menos do que a cana-de-açúcar. Entretanto, uma maior taxa de evapotranspiração não necessariamente leva a uma diminuição na vazão, visto que o volume evapotranspirado volta para a bacia ou para os arredores em forma de chuva, por exemplo. Deste modo, é preciso olhar para todos os componentes do balanço hídrico e avaliar os efeitos na disponibilidade real de água nas bacias.

## PEGADA HÍDRICA DOS BIOCOMBUSTÍVEIS BRASILEIROS: AVALIANDO DIFERENÇAS REGIONAIS<sup>(a)</sup>

A expectativa de expansão dos biocombustíveis no Brasil provocou preocupações sobre suas implicações na disponibilidade dos recursos hídricos.

Como a disponibilidade de água no território brasileiro é desigual, a expansão dos biocombustíveis pode representar impactos diferentes sobre os recursos hídricos de diferentes regiões.

Dessa maneira, o estudo avaliou, em níveis municipal e estadual, (i) a **Pegada Hídrica (PH)** (**verde** e **azul**) dos principais biocombustíveis líquidos produzidos no Brasil (etanol de cana-de-açúcar e

biodiesel); (ii) os impactos das estratégias de irrigação integral e de salvamento na PH da cana-de-açúcar; e (iii) a demanda de água para diferentes cenários de uso de terras agrícolas.

Constatou-se que, para os estados de **SP, MG e GO**, a PH do etanol de cana foi avaliada em torno de 71 L MJ<sup>-1</sup>, enquanto que no estado do PR, a PH foi de 100 L MJ<sup>-1</sup>. Já para o biodiesel, os valores variaram entre 40 e 50 L MJ<sup>-1</sup>. A PH azul foi insignificante para ambos os biocombustíveis, já que o uso da irrigação - hoje - ainda é limitado no Brasil.

O estudo também mostrou que as estratégias de irrigação plena e de salvamento conduziram a menores PHs em todos os estados considerados, embora à custa de maiores volumes da PH **azul**. Em relação à mudança do uso da terra, os resultados sugerem que a evapotranspiração adicional está ocorrendo devido à expansão da cana-de-açúcar. No entanto, dada a situação atual das bacias hidrográficas brasileiras, não há evidências de que a expansão da cana-de-açúcar nessas áreas leve a uma pressão crítica sobre os recursos hídricos.

## EFEITOS DAS PRÁTICAS DE MANEJO DA PH NO BRASIL: AVALIAÇÃO BACIA TIETÊ-JACARÉ<sup>(b)</sup>

O objetivo deste estudo foi realizar a avaliação da **Pegada Hídrica (PH)** na bacia do Tietê-Jacaré, analisando sua situação geral, bem como sugerir proposta para reduzir a PH utilizando vinhaça para fertirrigação. Para estimativa da PH, utilizou-se informações de produtividade de cinco ciclos de cultivo, dois regimes hídricos (sequeiro e irrigação por gotejamento), combinados com duas taxas de fertilizantes nitrogenados (zero e 150 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). O potencial de vinhaça para fertirrigação foi considerado como substituição do déficit hídrico médio da bacia, limitado sua aplicação em 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

As PH **verde**, **azul** e **cinza** encontradas foram, respectivamente, 145, 38 e 18 m<sup>3</sup> Ton<sup>-1</sup> – valores significativamente inferiores quando comparados à resultados obtidos em outros países produtores de

cana-de-açúcar. Observou-se que, mesmo com um regime de chuvas adequado, houve ganho em rendimento utilizando a fertirrigação, promovendo, assim, uma melhor utilização dos recursos hídricos. Em cenário considerando toda a área de cana equipada com irrigação na bacia (9750 ha) e a fertirrigação com vinhaça substituindo parte do volume de água necessário para a irrigação por gotejamento, observou-se um aumento da retirada de água rural por irrigação de apenas 17%, contra um aumento de 47% na produção de cana-de-açúcar.

Assim, concluiu-se que, mesmo em regiões onde o regime de chuvas é suficiente para o bom desempenho da cana, o aumento do rendimento promovido pela irrigação por gotejamento se mostrou significativo. Desta forma, entende-se que a ir-

rigação deve ser considerada, sobretudo em regiões com grande disponibilidade hídrica e crescente pressão quanto ao uso da terra.

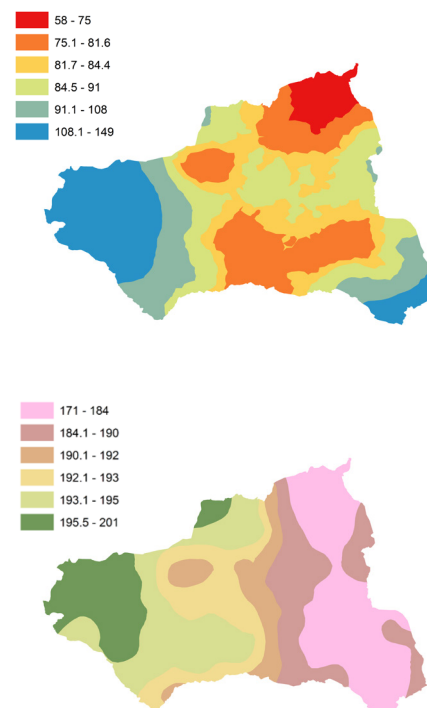


Figura X: Produtividade de cana bacia do Paranaíba sob os regimes: (a) sequeiro e; (b) irrigado; média de trinta e três anos

# AVALIAÇÃO DA MUDANÇA DO USO DA TERRA E DOS RECURSOS<sup>(c)</sup>

## HÍDRICOS EM ÁREAS DE EXPANSÃO DA CANA NO BRASIL

Este estudo buscou avaliar e sugerir ferramentas e indicadores que orientem a expansão da cana-de-açúcar na bacia do Paranaíba por meio de estimativas de produtividades (potencial e atingível), necessidade hídrica e custos de produção, tanto para condição de sequeiro quanto de lavouras irrigadas.

Essas estimativas foram realizadas por intermédio de combinações de três ferramentas: **Método do zoneamento agroclimático (FAO)** adaptado, **Pegada Hídrica (PH)** (verde e azul) e **Canasoft** (análise econômica).

No presente contexto, a primeira ferramenta estima a produtivida-

de potencial e a depleção em função do déficit hídrico, além de calcular o suprimento de irrigação – neste caso, 100% da demanda; já o segundo calcula a eficiência da utilização da água pela cultura, levando-se em conta a evapotranspiração (Etc) e produtividade obtidas.

Como principais resultados, pode-se observar que a maior parte da cana-de-açúcar estava distribuída espacialmente na área central da bacia - que já possui problemas de disponibilidade hídrica - e que apresentou menor ganho de rendimento considerada a irrigação.

A expansão da cana foi identificada sobretudo na região Oeste da área

de estudo, com menor extensão para região sudeste. Em ambas as regiões, as condições edafoclimáticas para produção são propícias e, por conseguinte, apresentaram os menores valores de PH e custo de produção, sob manejo irrigado. Também foi possível identificar que, mesmo em regiões onde a produtividade de sequeiro é considerada satisfatória (porção oeste – **Figura X**, p. 4), a irrigação levou a um significativo aumento da produtividade. Esse aumento refletiu na avaliação dos custos de produção, indicando que em algumas regiões da bacia, a viabilidade econômica só é possível com uso da irrigação.

## IMPLICAÇÕES DA EXPANSÃO DA CANA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS<sup>(d)</sup>

O objetivo principal da tese foi abordar as implicações da MUT associada à expansão da cana-de-açúcar na disponibilidade dos recursos hídricos, visando a obtenção de um esquema de avaliação viável e de resultados mais conclusivos sobre o tema. O modelo **SWAT (Soil and Water Assessment Tool)** foi calibrado e validado para duas bacias brasileiras, uma em SP (Monte Mor) e outra em GO (Fazenda Monte Alegre), e os componentes do balanço hídrico foram avaliados de forma integrada. A avaliação integrada dos componentes do balanço hídrico possibilitou a obtenção de respostas mais conclusivas relacionadas aos efeitos das MUT sobre os recursos hídricos, deixando claro

que não só a expansão da cana-de-açúcar, mas todas as MUT devem ser consideradas na avaliação dos impactos. Na bacia de SP, em cenários onde somente o aumento da cana foi considerado, mantendo o restante dos parâmetros e variáveis inalterados, a expansão prevista para a cana em 2030 não gerou impactos sobre a vazão. Cenários com expansão mais intensa apresentaram aumentos na vazão, porém sem mudanças na vazão de referência (Q90), valor utilizado pela Agência Nacional de Águas na avaliação de concessão de outorgas. Na bacia Fazenda Monte Alegre, a substituição das áreas com cultura anual e pastagem por cana aumentou a regularidade da vazão, já que foram observados

aumentos na estação seca e diminuições na estação chuvosa. A vazão de referência também foi positivamente impactada. As simulações mostraram que, em geral, a expansão da cana favoreceu a disponibilidade de água nas bacias avaliadas, desde que áreas de vegetação nativa e matas ciliares não sejam afetadas. Embora os valores de evapotranspiração sejam elevados e a dinâmica dos componentes do balanço hídrico dependam de fatores atmosféricos, a substituição de culturas anuais e pastagens por cana parece regular o regime de escoamento, diminuindo os picos de vazão e consequentemente o risco de inundação, e aumentando a disponibilidade de água durante a estação seca.

## REFERÊNCIAS E LEITURAS ADICIONAIS

### AUTORAS

<sup>1</sup>**Thayse Dourado Hernandez**, Pesquisadora, Coordenadora Associada da Divisão Agrícola no CTBE.

<sup>2</sup>**Simone Toni Ruiz Corrêa**, Pesquisadora, Analista de Desenvolvimento Tecnológico no CTBE.

### REVISÃO

**Erik Nardini**, Jornalista, Especialista em Jornalismo Científico, Analista de Comunicação no CTBE.

### ARTIGOS CITADOS

a – **HERNANDES, T.A.D.**; **BUFON, V.B.**; **SEABRA, J.E.A.** (2014), *Water footprint of biofuels in Brazil: assessing regional differences*. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*, 8: 241–252. doi:10.1002/bbb.1454

b – **SCARPARE, F.V.**; **HERNANDES, T.A.D.**; **RUIZ-CORRÊA, S.T.**; **KOLLN, O.T.**; **GAVA, G.J.C.**; **SANTOS, L.N.S.**; **VICTORIA, R.L.** (2016), *Sugarcane water footprint under different management practices in Brazil: Tietê/Jacaré watershed assessment*. *Journal of Cleaner Production*, 112: 4576–4584. doi:10.1016/j.jclepro.2015.05.107

c – **SCARPARE, F.V.**; **HERNANDES, T.A.D.**; **RUIZ-CORRÊA, S.T.**; **PICOLI, M.C.A.**; **SCANLON, B.R.**; **CHAGAS, M.F.**; **DUFT, D.G.**; **CARDOZO, T.de F.** (2016), *Sugarcane land use and water resources assessment in the expan-*

*sion area in Brazil*. *Journal of Cleaner Production*, 133: 1318–1327. doi:10.1016/j.jclepro.2016.06.074

d – **Thayse Hernandez** - Tese de doutorado defendida em 27 de janeiro de 2017, na Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP.

### BIBLIOG. CONSULTADA

Adami et al., 2012, Remote Sensing Time Series to Evaluate Direct Land Use Change of Recent Expanded Sugarcane Crop in Brazil.

Agência Nacional de Águas (ANA), Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013.

Chico et al., 2015, Increasing efficiency in ethanol production: Water footprint and economic productivity of sugarcane ethanol under nine different water regimes in north-eastern Brazil.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) - www.conab.gov.br

Fachinelli & Pereira Jr., 2015, Impacts of sugarcane ethanol production in the Paranaíba basin water resources.

Flach et al., 2016, Towards more spatially explicit assessments of virtual water flows: linking local water use and scarcity to global demand of Brazilian farming commodities.

Guarenghi & Walter, 2016, ). Assessing potential impacts of sugar-

cane production on water resources: A case study in Brazil.

Hoekstra et al., 2002 - The Water Footprint Assessment Manual - Setting the Global Standard.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) - www.ibge.gov.br

Lin et al., 2007, Impacts of land use change scenarios on hydrology and land use patterns in the Wu-Tu watershed in Northern Taiwan.

Nassar et al., 2008, Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In: Sugarcane ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment.

Rudorff et al., 2010, Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data.

Scanlon et al. , 2005, Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US.

da Silva, 2015, O serviço ambiental hidrológico das áreas de proteção permanente: um estudo de caso com modelagem numérica em pequena e mesoescala na bacia do Rio Piracicaba.

Watkins Jr. et al., 2015, Bioenergy Development Policy and Practice Must Recognize Potential Hydrologic Impacts: Lessons from the Americas.