

# Uso e disponibilidade hídrica no Semiárido do Brasil<sup>1</sup>

Rogério Barbosa Soares<sup>2</sup>  
Kilmer Coelho Campos<sup>3</sup>

**Resumo** – A água é um fator limitante da produção agrícola dos trabalhadores rurais, e o consumo de produtos agrícolas está ligado a uma cadeia de impactos sobre os recursos hídricos. Assim, o objetivo deste artigo foi avaliar o consumo de água agrícola com o conceito de “pegada de água”, estimando-se as pegadas de água verde e azul em uma pequena bacia do Semiárido do Brasil, com base em cinco cenários de precipitação, para verificar a utilização e a disponibilidade de água como um elemento chave no desenvolvimento sustentável da agricultura familiar. Depois do cálculo da pegada hídrica de milho e feijão, sob condições de sequeiro, percebeu-se que as famílias da bacia são dependentes da água verde para produção de subsistência e geração de renda, uma vez que as relações do volume de água verde e azul por quilograma ( $m^3/kg$ ) e renda gerada ( $m^3/R\$$ ) variaram de acordo com a produção agrícola nos diversos cenários. Portanto, essas informações ajudam os usuários a ter uma ideia do volume de água necessário para o desenvolvimento de suas atividades, permitindo, assim, comparar a demanda por água das atividades agrícolas e viabilizar uma escolha eficiente da atividade, bem como obter melhor disponibilidade hídrica.

**Palavras-chave:** Ceará, pegada hídrica verde e azul, produtos agrícolas.

## Use and availability of water in the semi-arid region of Brazil

**Abstract** – Water is a limiting factor in agricultural production of farm workers, and the consumption of agricultural products is linked to a chain of impacts on water resources. Thus, the objective of this paper was to evaluate the agricultural water consumption with the water footprint concept, estimating the green and blue water footprints in a small basin of Brazil’s semi-arid region, based on five scenarios of precipitation, to verify the use and availability of water as a key element in sustainable family farming. After the calculation of water footprint of corn and bean under dryland conditions, it was noticed that the basin’s families are dependent on green water for subsistence production and income generation, since the relationship of green and blue water volume per kilogram ( $m^3/kg$ ) and generated income ( $m^3/R\$$ ) varied according to the agricultural production in the different scenarios. Therefore, these pieces of information help users get an idea of the volume of water needed for the

<sup>1</sup> Original recebido em 15/5/2013 e aprovado em 17/6/2013.

<sup>2</sup> Engenheiro-agrônomo, Mestre em Economia Rural pela Universidade Federal do Ceará. E-mail: Rogeriosoares77@gmail.com

<sup>3</sup> Graduado em Administração pela Universidade Federal do Ceará, Doutor em Economia Aplicada, professor adjunto do Departamento de Economia Agrícola da Universidade Federal do Ceará. E-mail: kilmer@ufc.br

development of their activities, thus enabling them to compare water demand of agricultural activities, to make an efficient choice of their activities, as well as to achieve better water availability.

**Keywords:** Ceará, green and blue water footprint, agricultural products.

## Introdução

As regiões áridas e semiáridas do globo constituem aproximadamente um terço da superfície da Terra (EZZAHAR et al., 2007), e concentram mais de dois terços da população pobre das áreas rurais. Nessas áreas a escassez de recursos hídricos é um dos principais entraves para o desenvolvimento agropecuário (DESCHEEMAER et al., 2010).

Nessas regiões, a configuração do meio ambiente é resultado do múltiplo uso e ocupação do solo e dos processos que nele atuam, em que a escassez hídrica está associada a uma complexa sinergia de fatores que concorrem para a depredação da base de seus recursos naturais. Vale salientar que o regime pluviométrico anual altamente concentrado em poucos meses do ano, altas evaporações, e solos rasos e predominantemente cristalinos contribuem para a intermitência dos rios, dificultando ou até inviabilizando a produção de bens agrícolas, principalmente em áreas rurais localizadas em vazios hídricos (ALADOS et al., 2011).

O déficit hídrico dessas áreas cresce a cada ano, em virtude: i) do crescimento da população, com maior demanda de água para consumo, além de mudanças no ciclo hidrológico induzidas pelo uso e ocupação inadequados do solo; ii) das modificações no estilo de vida da população local e da urbanização; e iii) das alterações climáticas, que levam à escassez hídrica, propiciando, assim, o aumento na competição por água entre a agricultura, indústrias e cidades (ALI; TALUKDER, 2008).

Dessa forma, o uso da água depende de sua disponibilidade, a qual em regiões semiáridas apresenta uma variabilidade tanto em escala temporal quanto espacial, como é o caso de pequenas bacias hidrográficas, onde a disponibilidade de água pode não ser abundante, dependendo

dos usos múltiplos em seu território (POKHAREL, 2007). De acordo com Burte (2008), o monitoramento e avaliação dessas bacias hidrográficas, que estão localizadas de forma difusa dentro das grandes bacias, ainda é incipiente, sendo esse um espaço importante para o planejamento e gestão das águas, interligado às diversidades climáticas, demográficas (DESCHEEMAER et al., 2010), sociais, culturais (BURTE et al., 2009) e econômicas (SPEELMAN et al., 2008).

Nesse contexto, a água é recurso natural essencial para a sustentação da vida em regiões áridas e semiáridas e, portanto, vem sendo motivo de preocupação mundial pelos sinais evidentes de crescente escassez e deterioração. O crescimento populacional e o dos setores produtivos, entre os quais a agricultura, são responsáveis pelo maior consumo de água e têm contribuído para o agravamento desses impactos. Essa situação tem conduzido a uma reformulação na concepção da conservação e gerenciamento no uso da água, apresentando desafios a toda a sociedade (YU et al., 2010).

No caso da agricultura, a irrigação tem sido utilizada para proporcionar o incremento da produção de alimentos, utilizando-se uma menor quantidade de água, e para aumentar o nível de renda dos agricultores em regiões áridas e semiáridas. No entanto, essa técnica tem provocado inúmeros problemas ambientais, como a salinização de solo e de aquífero e declínio da biodiversidade, o que implica um conflito entre o incremento da produção agrícola – como forma de melhorar a produtividade da água e mitigar a escassez hídrica – e a preservação do meio ambiente.

Nesse contexto, os gestores têm a difícil tarefa de utilizar com eficiência esse recurso natural, pois ele tem capacidade finita de renovação diante das necessidades de usos múltiplos a que se destina (MORALES; ANTÔNELLO, 2004).

Assim, acredita-se que a busca pelo aumento da produtividade da água em regiões semiáridas é uma abordagem que visa atenuar a escassez de água e reduzir custos ambientais ligados à escassez hídrica, gerados à medida que a humanidade amplia sua capacidade de interferir na natureza, para atender a suas necessidades e anseios crescentes, em que uma de suas feições é expressa pela exaustão dos recursos hídricos, acarretando consequências socioeconômicas, que se acentuam em épocas de estiagem (RÊGO, 2008; SILVA et al., 2009).

Desse modo, a produtividade da água é um indicador útil para a avaliação da água nos sistemas produtivos, decisões comerciais, e adoção de tecnologias mais eficientes para ampliar e melhorar a disponibilidade e o uso da água, proporcionando um ambiente de intervenção regido pelo enfoque da sustentabilidade dos recursos hídricos, tanto em nível regional quanto internacional (ALI; TALUKDER, 2008).

Assim, na maioria dos países áridos e semiáridos, a gestão de recursos hídricos é tratada por vários especialistas como o grande desafio da atualidade, principalmente onde a escassez desse recurso acarreta graves consequências socioeconômicas e ambientais, causadas tanto pela escassez física de água quanto pela má gestão desse recurso. Quanto a isso, muitos pesquisadores têm apontado o conceito “pegada hídrica” como uma ferramenta de gestão dos recursos hídricos de uma região, ao indicar a quantidade de água necessária para produção de bens e serviços, fornecendo um quadro adequado para encontrar possíveis soluções e contribuir para uma melhor gestão dos recursos hídricos, particularmente em regiões áridas ou semiáridas (HOEKSTRA, 2009; ZEITOUN et al., 2010).

De acordo com Hoekstra (2009), a pegada hídrica possui três componentes: a pegada hídrica verde, a azul e a cinza. A pegada hídrica verde é tida como a evaporação do fornecimento de água da chuva na produção agrícola, ou seja, em termos mais precisos, o uso de água verde na agricultura é considerado como o volume de água de chuva evapotranspirada na produção

agrícola. A pegada hídrica azul é a evaporação da água utilizada pelos sistemas de irrigação fornecida de fontes superficiais e fontes renováveis de água no solo; e a pegada hídrica cinza é o volume de água necessária para diluir fontes poluidoras no processo de produção de água da bacia hidrográfica (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2011; HUANG, 2010).

O conceito de pegada hídrica vem sendo aplicado por vários pesquisadores na avaliação do consumo da água em vários países, como na produção de manga na Austrália; produtividade agrícola de culturas irrigadas e de sequeiro no Irã; consumo de água entre as várias atividades econômicas do Reino Unido (YU et al., 2010); perspectivas globais de consumo; produção global de alimentos e energia; escassez hídrica no globo; produção de tomate na Espanha (CHAPAGAIN; ORR, 2009); produtos agrícolas comercializados entre a Holanda e Marrocos; produção de café na Holanda; produção de algodão e consumo de água em cidades da China; e consumo e produção de algodão em vários países.

Desse modo, o presente artigo objetivou analisar a água como fator limitante para a produção agrícola na bacia do Forquilha, localizada no município de Quixeramobim, no Ceará, segundo diferentes cenários climáticos, verificando-se o uso e a disponibilidade hídrica como um dos elementos essenciais ao desenvolvimento sustentável da agricultura familiar no Semiárido nordestino.

## Metodologia

### Área geográfica de estudo

A área de estudo é a Microbacia do Forquilha, município de Quixeramobim, Ceará, e tem uma área de 221 km<sup>2</sup>. Sua população possui cerca de 720 famílias, com uma média de 4,1 pessoas por família, sendo 85% dessas famílias compostas por agricultores familiares com pequenas propriedades (1 ha a 2 ha). Segundo a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos

Hídricos (Funceme), a região possui um clima semiárido com precipitação média anual de 732,1 mm para o período de 1975–2010. A atividade principal é a agricultura de sequeiro com a produção de feijão e milho, juntamente com a pecuária extensiva.

### Cálculo da pegada hídrica

A estimativa da pegada hídrica verde (PHV) e da pegada hídrica azul (PHA) referente à produção de feijão, milho, goiaba, mamão, maracujá, pimentão, tomate e capim-elefante, na bacia hidrográfica de Forquilha, foi calculada com base na metodologia utilizada por Chapagain e Hoekstra (2011) que faz o cálculo do balanço hídrico diário do solo, observando os seguintes parâmetros culturais: época de semeadura; duração do ciclo; coeficiente de cultivo nos estágios de desenvolvimento; necessidades hídricas das culturas; evapotranspiração das culturas; produtividades (R\$/ha e kg/ha); e, com base no consumo de água dessas culturas, por meio dos fluxos de água virtual relacionados com a produção, comércio e as necessidades de consumo das famílias.

#### Balanço hídrico do solo

O balanço hídrico do solo será calculado utilizando-se o Modelo de Umidade do Solo para Atividades Agrícolas, o MUSAG (MOLINAS; ANDRADE, 1992, 1993), e seguirá os seguintes critérios:

$$USf = USi + Vi - Vp - V_{evt} \quad (1)$$

$$V_{esc} = Pr - Vi \quad (2)$$

em que

$USf$  = umidade do solo no final.

$USi$  = umidade do solo no início do período em estudo (dia).

$Vi$  = volume de água infiltrado.

$Vp$  = volume percolado.

$V_{evt}$  = volume evapotranspirado com base no tanque classe A e na equação de Penman-Monteith.

$V_{esc}$  = volume de água escoado.

$Pr$  = precipitação observada.

Todas as variáveis são medidas em mm/dia.

A evapotranspiração real (mm/dia) das culturas será determinada com base na evapotranspiração potencial do solo, no calendário agrícola e no coeficiente da cultura de acordo com seu estágio de desenvolvimento.

$$ET[t] = Kc[t] \cdot ETo[t] \quad (3)$$

em que

$ET[t]$  é a evapotranspiração da cultura no tempo (mm/dia).

$Kc$  é o coeficiente da cultura de acordo com seu estágio de desenvolvimento.

$ETo[t]$  é a evapotranspiração potencial do solo (mm/dia).

#### Pegada hídrica verde e pegada hídrica azul

Os cálculos da pegada hídrica verde (PHV) e da pegada hídrica azul (PHA) das culturas exploradas na bacia do Forquilha foram expressos, respectivamente, em R\$/m<sup>3</sup> e em kg/m<sup>3</sup>, utilizando as seguintes fórmulas:

$$PHV = \frac{Y}{ET} \quad (4)$$

$$PHA = \frac{Y}{ET} \quad (5)$$

em que

$Y$  = representa a produtividade média de cada cultura, expressa em R\$/ha e em kg/ha, para PHV e PHA, respectivamente, considerando-se

os meses nos quais ocorre precipitação pluviométrica na bacia.

*ET* é a evapotranspiração real por hectare referente ao consumo de água verde e azul, expressa em m<sup>3</sup>/ha.

#### *Dados de produção agrícola*

Os dados de produção agrícola (kg), área colhida (ha), produtividade física (kg/ha) e produtividade monetária (R\$/ha) foram obtidos da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM); da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) do IBGE para o município de Quixeramobim; do Cadastro do Agricultor Familiar do Programa Garantia Safra da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Ceará (Ematerce); de estudos realizados na bacia hidrográfica do Forquilha (ALBUQUERQUE, 2006; BURTE, 2008; BURTE et al., 2011); por meio do uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG), mediante uso do software computacional de análise de imagem de satélites; e, ainda, por meio de imagens do Google Earth.

A determinação do Turno de Rega (TR) para cada estágio de desenvolvimento das culturas foi obtida por meio da seguinte equação:

$$TR = \frac{DRA \cdot Z}{ET_c} \quad (6)$$

em que

*TR* é dado em dias.

*DRA* é a disponibilidade real de água no solo (mm/cm<sup>3</sup>) de acordo com sua textura.

*Z* é a profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

*ET<sub>c</sub>* é a evapotranspiração da cultura em análise (mm/dia).

#### *Construção de cenários climáticos para a pegada hídrica verde e azul*

O cálculo da pegada hídrica verde e azul foi realizado de acordo com o comportamento da pluviometria dessa bacia por meio da construção de cinco cenários:

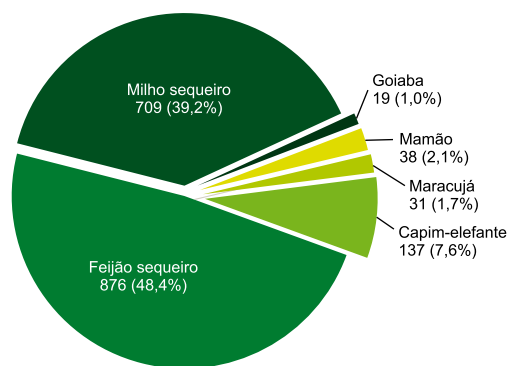
- Muito seco (chuva até 464 mm/ano).
- Seco (chuva de 465 a 607 mm/ano).
- Normal (chuva de 608 a 806 mm/ano).
- Úmido (chuva de 807 a 1.067 mm/ano).
- Muito úmido (chuva acima de 1.067 mm/ano).

Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos no posto de Quixeramobim, monitorado pela Funceme no período de 1974–2010, localizado próximo à bacia. Segundo Cadier (1996), esses dados podem ser usados para representar a área pluviométrica, em estudo, considerada homogênea em longo prazo, embora haja variabilidade espacial da chuva na região. Em estudo realizado por Cadier (1996), a precipitação média do Semiárido do Nordeste do Brasil é de 800 mm por ano – 25% dessa área apresenta uma precipitação média anual inferior a 600 mm, e 2% abaixo de 400 mm. Portanto, em virtude dessa variabilidade espacial e temporal da ocorrência de chuvas na região, optou-se por fazer uma análise da região com base em uma tipologia de anos.

## **Resultados e discussão**

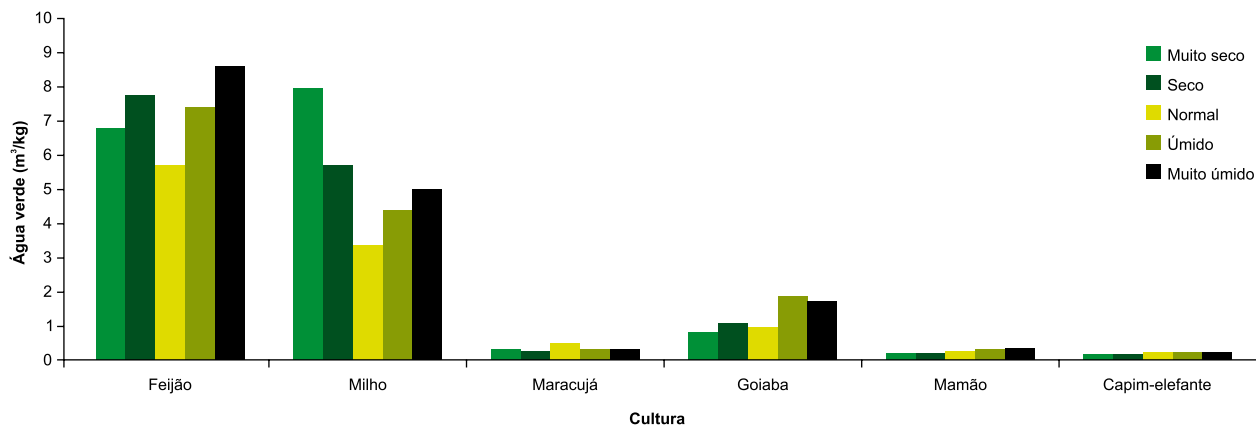
A bacia hidrográfica do Forquilha foi ocupada e explorada economicamente pela agricultura familiar, baseada no regime de sequeiro e na pecuária em pequena escala, sempre seguindo parâmetros determinados pelo clima e pelo solo do Semiárido cearense. Em 1998, foi implantado o projeto produtivo Pingo D'água, composto por 29 pequenos produtores agrícolas familiares voltados para a agricultura irrigada, com base na produção de frutas e hortaliças. Os produtos gerados pela agricultura irrigada, apesar de possibilitarem uma melhor renda aos agricultores para cada m<sup>3</sup> de água, geram riscos à saúde dos produtores e consumidores, e ao meio ambiente, necessitando, portanto, de uma melhor gestão (ALBUQUERQUE, 2006; GEBREGZIABHER et al., 2009).

A referida bacia possui uma área de 1.269 ha cultivados com milho, feijão, goiaba, mamão, tomate, pimentão, maracujá e capim-elefante, sendo o último fornecido aos rebanhos bovino, caprino e ovino, que, juntos, consomem cerca de 1,833 milhão de m<sup>3</sup> de água verde por ano e 558 mil m<sup>3</sup> de água azul por ano. Conforme a Figura 1, quanto ao uso do solo para a agricultura, entre as culturas que mais consomem água verde estão o feijão (876 mil m<sup>3</sup>) e o milho (709 mil m<sup>3</sup>), e entre as culturas que consomem mais água azul estão o capim-elefante (137 mil m<sup>3</sup>), o mamão (38 mil m<sup>3</sup>) e o maracujá (31 mil m<sup>3</sup>).



**Figura 1.** Quantidade de água verde (mil m<sup>3</sup>, em %) por atividade na bacia do Forquilha em Quixeramobim, CE, em 2010.

De acordo com a Figura 2, verificou-se que a pegada hídrica verde da produção de grãos (milho e feijão) na bacia do Forquilha apre-



**Figura 2.** Água verde (m<sup>3</sup>/kg) por atividade e cenários na bacia do Forquilha em Quixeramobim, CE, em 2010.

sentou valores diferenciados para anos muito secos, secos, normais, úmidos e muito úmidos, nos quais há uma variabilidade temporal e espacial da quantidade de água disponível para a planta. Essa mesma constatação foi também verificada em vários estudos de Yu et al. (2010) sobre pegada da água.

Estudos sobre a pegada hídrica de diversos tipos de grãos, em condições de sequeiro no Brasil, indicam um consumo de água verde de 2,6 m<sup>3</sup>/kg e 0,79 m<sup>3</sup>/kg para as culturas do algodão e do arroz, respectivamente (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2011); e de 1,27 m<sup>3</sup>/kg de água verde para a produção de trigo no mundo (HOEKSTRA, 2009). Esses valores são inferiores à quantidade de água verde das culturas do milho e feijão da bacia do Forquilha, em um ano normal, que são respectivamente de 3,35 m<sup>3</sup>/kg e 5,69 m<sup>3</sup>/kg.

Quanto à produção de frutas da bacia do Forquilha, considerando-se um cenário de anos normais, a pegada de água verde do mamão e da goiaba, conjuntamente, foi de 0,96 m<sup>3</sup>/kg e a do maracujá foi de 0,48 m<sup>3</sup>/kg. De acordo com um estudo realizado pela Unesco-IHE (Institute for Water and Education), a média mundial da pegada hídrica verde para a produção de frutas é de 1,19 m<sup>3</sup>/kg, com a goiaba apresentando 1,31 m<sup>3</sup>/kg, e o mamão 0,39 m<sup>3</sup>/kg (MEKONNEN; HOEKSTRA, 2010).

Na Figura 3, ao analisar-se a pegada hídrica verde na produção das principais culturas

de sequeiro, como milho e feijão, a estimativa global média para um ano considerado com precipitação normal foi de 3,03 m<sup>3</sup>/R\$ para o milho e de 5,48 m<sup>3</sup>/R\$ para o feijão, com variabilidade de 37,7% em torno da média.

A pegada hídrica verde do feijão apresentou um coeficiente de variação maior quanto à geração de renda com o uso da água (m<sup>3</sup>/R\$), enquanto a cultura do milho mostrou-se mais sensível à quantidade de água utilizada na produção física (m<sup>3</sup>/kg). Cabe ressaltar que a cultura do feijão é mais resistente à escassez hídrica do que a do milho. No que concerne ao valor da produção, os preços de mercado do feijão sofrem influência maior com sazonalidade de mercado do que os preços de milho.

Verificou-se que em anos secos e muito secos, embora tenha ocorrido o problema de quebra de safra em relação a um ano normal, em virtude da escassez hídrica, não houve prejuízo econômico para a bacia de Forquilha. Isso ocorreu porque tanto a cultura do feijão quanto a do milho apresentaram um acréscimo no valor bruto da produção acima de 20%, tendo em vista que a escassez desses produtos no mercado fez que seus preços ficassem mais elevados, o que amenizou a perda de produtividade da água em termos de produção física.

Cabe ressaltar que as culturas do feijão e do milho são utilizadas pelas famílias rurais como fonte de subsistência, ou seja, consumo humano e alimentos para animais. Observou-se que nos

anos muito secos e secos, toda a produção de milho e feijão foi consumida pelas famílias da bacia do Forquilha, tendo havido ainda uma demanda insaciada quanto à produção dessas culturas, o que gerou uma perda de capital socioeconômico para as famílias ali instaladas.

Analisando-se o cenário de anos normais, o consumo verificado na bacia para essas culturas foi de 82,3% para o feijão e de 70,8% para o milho, valores próximos aos verificados no Censo Agropecuário de 2006. Nesse Censo, o valor médio de consumo de feijão produzido em anos normais foi de 86,1%, e o de milho foi em torno de 65,1%, tendo o restante da produção sido comercializado. Isso mostra que a maior parte da água verde utilizada na bacia é consumida localmente, gerando renda agrícola e demonstrando um elevado grau de dependência das famílias, que praticam agricultura de sequeiro, quanto à produção de água verde na bacia principalmente para os cenários de anos secos e muito secos.

Observando-se a demanda de água azul na Figura 4, percebe-se que a cultura do maracujá apresentou maior necessidade de água que a cultura da goiaba. Ressalta-se que apresentaram necessidade hídrica de água azul superior a 20%, mesmo considerando-se anos muito úmidos. Esses resultados podem ser explicados pela variabilidade climática típica da região semiárida, onde ocorrem frequentemente veranicos mesmo em anos muito chuvosos (ALADOS et al., 2011; SAHRAWAT et al., 2010).

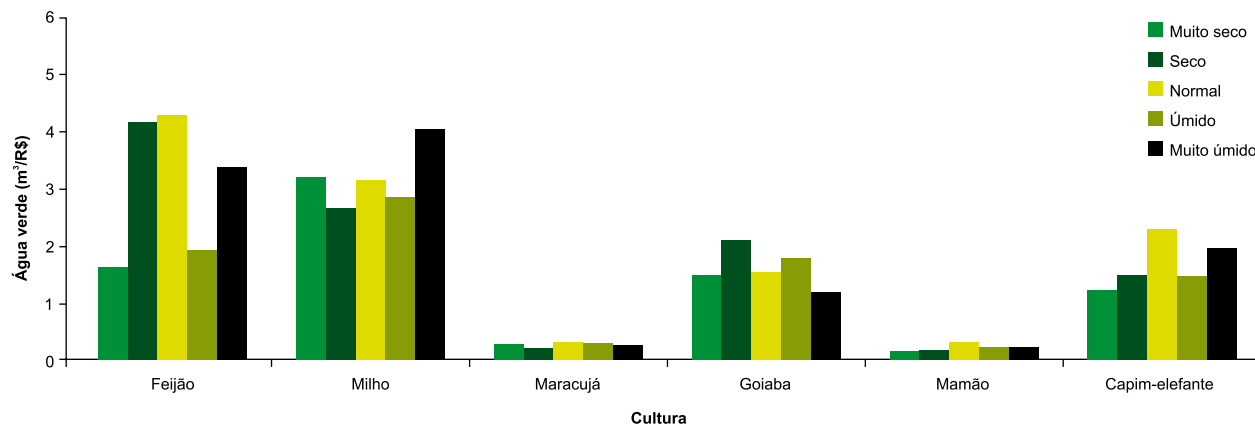
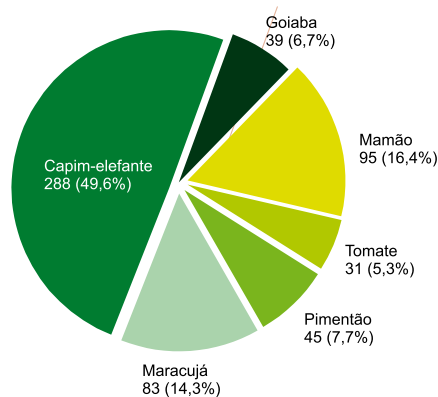


Figura 3. Água verde (m<sup>3</sup>/R\$) por atividade e cenários na bacia do Forquilha em Quixeramobim, CE, em 2010.



**Figura 4.** Quantidade de água azul (mil m<sup>3</sup>, em %) por atividade na bacia do Forquilha em Quixeramobim, CE, em 2010.

Entre as culturas irrigadas, a que apresentou maior necessidade de água azul foi o capim-elefante, com um volume de água de 288 mil m<sup>3</sup> em um ano normal, e de 319 mil m<sup>3</sup> em um ano seco. Essa cultura apresentou necessidade de água azul superior a 49%, mesmo em anos muito chuvosos, o que demonstra a variabilidade espacial e temporal das chuvas na bacia.

De acordo com a Figura 5, verificou-se o consumo de água azul de 1,50 m<sup>3</sup>/kg para o maracujá, de 1,44 m<sup>3</sup>/kg para a goiaba, e de 0,78 m<sup>3</sup>/kg para o mamão, aproximadamente, considerando-se o cenário muito seco. Logo, constatam-se valores diferenciados para os anos muito seco, seco, normal, úmido e muito úmido, nos quais há uma variabilidade temporal e espacial da quantidade de água disponível para a planta.

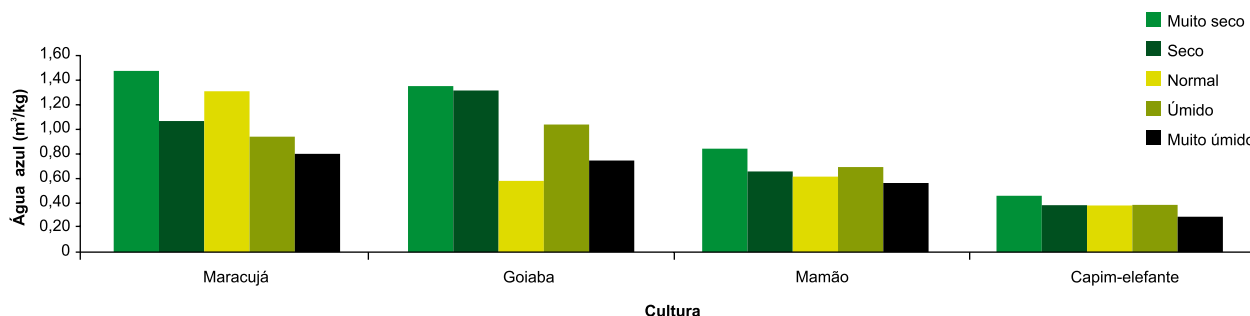
Cabe ressaltar que as médias de consumo de água azul das referidas culturas foram superior-

res às médias mundiais, que foram de 0,20 m<sup>3</sup>/kg para o maracujá, 0,36 m<sup>3</sup>/kg para a goiaba, e 0,04 m<sup>3</sup>/kg para o mamão, fato explicado por uma precipitação que, além de ser baixa, apresenta uma má distribuição espacial e temporal (BATISANI; YARNAL, 2010; MEKONNEN; HOEKSTRA, 2010).

Conforme a Figura 6, a pegada hídrica azul (m<sup>3</sup>/R\$) foi maior do que a pegada hídrica verde para as culturas em análise, pois a água azul foi utilizada em um período do ano que possui maior evapotranspiração, o que acontece de agosto a dezembro para as diversas culturas no período normal: maracujá, com 0,40 m<sup>3</sup>/R\$ (água verde) e 0,85 m<sup>3</sup>/R\$ (água azul); goiaba, com 1,95 m<sup>3</sup>/R\$ (água verde) e 2,68 m<sup>3</sup>/R\$ (água azul); e mamão, com 0,26 m<sup>3</sup>/R\$ (água verde) e 0,47 m<sup>3</sup>/R\$ (água azul).

## Conclusão

Como indicador de sustentabilidade, a pegada hídrica é capaz de monitorar o impacto da produção e consumo humano sobre o meio ambiente. A pegada hídrica das culturas do milho e do feijão em condições de sequeiro da bacia do Forquilha indicou que as famílias são dependentes de água verde produzida na bacia tanto para a subsistência humana e animal quanto para a geração de renda. As relações de volume de água verde e azul por quilograma (m<sup>3</sup>/kg) e de volume de água verde e azul para gerar R\$ 1,00 (m<sup>3</sup>/R\$) são alteradas de acordo com a classificação dos anos em seco, normal ou úmido.



**Figura 5.** Água azul (m<sup>3</sup>/kg) por atividade e cenários na bacia do Forquilha em Quixeramobim, CE, em 2010.



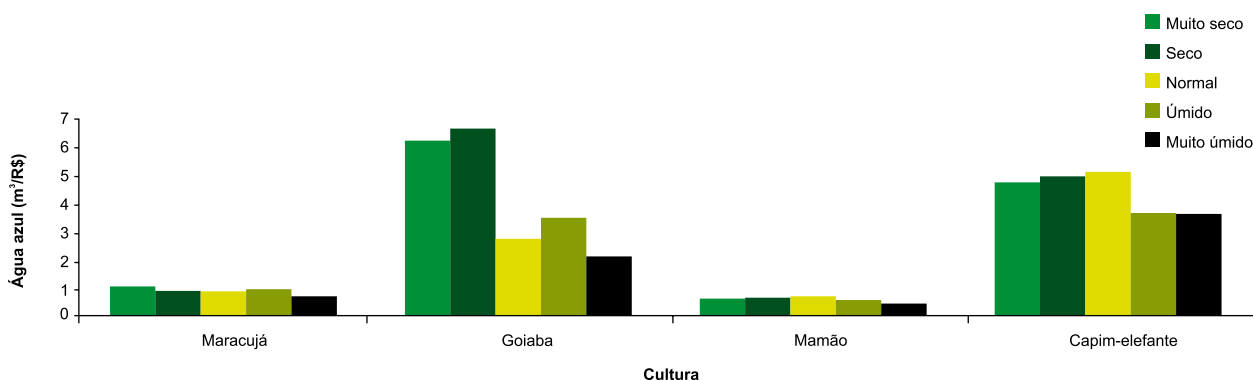


Figura 6. Água azul ( $m^3/R\$$ ) por atividade e cenários na bacia do Forquilha em Quixeramobim, CE, em 2010.

Em relação a isso, tais relações são indicadores que permitem aos usuários da bacia ter uma noção do volume de água necessário para o desenvolvimento de suas atividades, possibilitando uma melhor avaliação da disponibilidade hídrica da região, bem como melhorar a capacidade produtiva dependente de tais recursos, permitindo ao agricultor optar de forma sustentável e eficiente pelo tipo de exploração das culturas locais.

Existem fortes indícios de esgotamento de águas subterrâneas, diminuição da vazão dos rios e deterioração da qualidade da água. Logo, este artigo tenta, por meio da identificação do volume de água verde e azul utilizadas nas culturas de grãos e frutas, conscientizar agricultores, agentes públicos e sociedade quanto à utilização sustentável da água associada ao conhecimento de pegada hídrica.

Há necessidade do desenvolvimento de processos de educação ambiental sustentável voltados para o uso responsável e sustentável dos recursos hídricos, objetivando a redução do consumo e poluição da água. Também se deve fomentar a mobilização social por meio de ações desenvolvidas pelo poder público e por toda a sociedade civil com empenho em projetos de educação ambiental e programas educacionais.

Entre as políticas públicas que contribuiriam para a redução da pegada hídrica, podem-se citar a adoção e capacitação, por parte dos produtores, de técnicas de produção que exi-

gem menos água por unidade de produto, e a mudança nos padrões e hábitos de consumo da população. A produtividade na agricultura pode ser melhorada por meio da aplicação de técnicas avançadas de água da chuva e de irrigação suplementar.

A cobrança pelo uso da água ou o aumento de preço da água nas cidades e nas agroindústrias afetaria a maneira como todos os usuários encaram sua utilização, ou seja, seria uma medida para o uso mais eficiente da água. A concessão de incentivos para aqueles que fazem o reuso da água também contribuiria para a conservação dos recursos hídricos na agricultura e pecuária.

## Referências

- ALADOS, C. L.; PUIGDEFABREGAS, J.; MARTINEZ-FERNANDEZ, J. Ecological and socio-economical thresholds of land and plant-community degradation in semi-arid Mediterranean areas of southeastern Spain. *Journal of Arid Environments*, London, v. 75, n. 12, p. 1368-1376, Dec. 2011.
- ALBUQUERQUE, W. F. **Tipificação dos produtores e dos sistemas produtivos do Vale do Forquilha em Quixeramobim – Ce.** 2006. 66 f. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- ALI, M. H.; TALUKDER, M. S. U. Increasing water productivity in crop production: a synthesis. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 95, n. 11, p. 1201-1213, Nov. 2008.
- BATISANI, N.; YARNAL, B. Rainfall variability and trends in semi-arid Botswana: implications for climate change adaptation policy. *Applied Geography*, Oxford, v. 30, n. 4, p. 483-489, Dec. 2010.

- BURTE, J. D. P. **Os pequenos aquíferos aluviais nas áreas cristalinas semi-áridas: funcionamento e estratégias de gestão.** Estudo de caso no Nordeste brasileiro. 2008. 191 f. Tese (Doutorado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- BURTE, J. D. P.; COUDRAIN, A.; MARLET, S. Use of water from small alluvial aquifers for irrigation in semi-arid regions. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 42, n.3, p. 635-643, July/Sept. 2011.
- BURTE, J.; JAMIN, J. -Y.; COUDRAIN, A.; FRISCHKORN, H.; MARTINS, E. S. Simulations of multipurpose water availability in a semi-arid catchment under different management strategies. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 8, p. 1181-1190, Aug. 2009.
- CADIER, E. Small watershed hydrology in semi-arid north-eastern Brazil: basin typology and transposition of annual runoff data. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 182, n. 1-4, p. 117-141, July 1996.
- CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 70, n. 4, p. 749-758, Feb. 2011.
- CHAPAGAIN, A. K.; ORR, S. An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: a case of spanish tomatoes. **Journal of Environmental Management**, London, v. 90, n. 2, p. 1219-1228, Feb. 2009.
- DESCHEEMAEKER, K.; MAPEDZA, E.; AMEDE, T.; AYALNEH, W. Effects of integrated watershed management on livestock water productivity in water scarce areas in Ethiopia. **Physics and Chemistry of the Earth**, Oxford, v. 35, n. 13-14, p. 723-729, 2010.
- EZZAHAR, J.; CHEHBOUNI, A.; HOEDJES, J. C. B.; ER-RAKI, S.; CHEHBOUNI, A.; BOULET, G.; BONNEFOND, J. M.; DE BRUIN, H. A. R. The use of the scintillation technique for monitoring seasonal water consumption of olive orchards in a semi-arid region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 89, n. 3, p. 173-184, May 2007.
- GEBREGZIABHER, G.; NAMARA, R. E.; HOLDEN, S. Poverty reduction with irrigation investment: an empirical case study from Tigray, Ethiopia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 12, p. 1837-1843, Dec. 2009.
- HOEKSTRA, A. Y. Human appropriation of natural capital: a comparison of ecological footprint and water footprint analysis. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 68, n. 7, p. 1963-1974, May 2009.
- HUANG, F.; LI, B. G. Assessing grain crop water productivity of China using a hydro-model-coupled-statistics approach: Part I: method development and validation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 7, p. 1077-1092, July 2010.
- MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products.** Amsterdam: UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2010.
- MOLINAS, P. A.; ANDRADE, F. C. M. Modelo de umidade do solo para atividades agrícolas (MUSAG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 10.; SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CONE SUL, 1., 1993, Gramado. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 1993. v. 3, p. 136-145.
- MOLINAS, P. A.; ANDRADE, F. C. M. Um modelo de umidade do solo como ferramenta para avaliação e previsão de atividades agrícolas. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 1., 1992, Recife. **Anais...** Recife: Ed. da UFPE; Grupo de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, 1992. v. 2, p. 307-316.
- MORALES, N.; ANTÔNELLO, S. L. Gestão das águas subterrâneas com uso de ferramentas de geoprocessamento. **Revista Ciência em Extensão**, São Paulo, v. 1, p. 167, 2004. Suplemento.
- POKHAREL, S. Water use opportunities and conflicts in a small watershed- a case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 11, n. 6, p. 1288-1299, Aug. 2007.
- RÊGO, T. C. C. **Proposta metodológica para gestão de secas: o caso da Bacia do Alto Jaguaribe, Ceará.** 2008. 193 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- SAHRAWAT, K. L.; WANI, S. P.; PATHAK, P.; REGO, T. J. Managing natural resources of watersheds in the semi-arid tropics for improved soil and water quality: a review. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 3, p. 375-381, Mar. 2010.
- SILVA, T. B.; ROCHA, W. de J. S. da F.; DIAS, A. B. Indicadores socioeconômicos associados ao processo de desertificação na região norte e nordeste do Estado da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 2341-2348.
- SPEELMAN, S.; D'HAESE, M.; BUYSSE, J.; D'HAESE, L. A measure for the efficiency of water use and its determinants, a case study of small-scale irrigation schemes in North-West Province, South Africa. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 98, n. 1, p. 31-39, July 2008.
- YU, Y.; HUBACEK, K.; FENG, K. S.; GUAN, D. B. Assessing regional and global water footprints for the UK. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 69, n. 5, p. 1140-1147, Mar. 2010.
- ZEITOUN, M.; ALLAN, J. A.; MOHIELDEEN, Y. Virtual water 'flows' of the Nile Basin, 1998-2004: a first approximation and implications for water security. **Global Environmental Change**, Oxford, v. 20, n. 2, p. 229-242, May 2010.