

Estimativa do Volume de Água Contaminada por Herbicidas como Indicador da Sustentabilidade da Cana-de-Açúcar

Lourival Costa Paraíba

Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340, Km 127,5, Tanquinho Velho, Jaguariúna, São Paulo, 130820-000 - E-mail: lourival@cnpma.embrapa.br

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, o maior exportador mundial de açúcar de cana-de-açúcar e o maior produtor mundial de etanol derivado de cana-de-açúcar. As diferentes condições edafoclimáticas das regiões brasileiras produtoras de cana-de-açúcar, associadas às práticas agrônomicas adotadas pelos sistemas convencionais de produção para o controle eficiente de plantas daninhas, impõem a utilização de diversos tipos de herbicidas, pois a concorrência entre plantas daninhas e plantas de cana-de-açúcar por espaço e nutrientes reduz significativamente a produtividade da cana-de-açúcar e pode aumentar em mais de 30% os custos de produção (LORENZI, 1995).

Atualmente, o Brasil assumiu o posto de maior consumidor mundial de agrotóxicos. A venda de agrotóxicos no Brasil em 2011, segundo a Associação Nacional de Defesa Vegetal (ANDEF) e o Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Sanitária (SINDAG), atingiu a marca de US\$ 8,488 bilhões (Informativo Grupo Cultivar de 20/04/2012 <http://www.grupocultivar.com.br/site/content/noticias/?q=26374>). Os números da ANDEF e do SINDAG comprovam que entre as classes dos agrotóxicos os herbicidas ocupam 33% do volume total de vendas. Neste mesmo ano, a cana-de-açúcar consumiu 12% do volume total de agrotóxicos comercializados no Brasil.

A sustentabilidade na agronomia, definida como o uso contínuo de práticas e técnicas agrícolas necessárias à produção agrícola eficiente e à conservação da qualidade dos compartimentos ambientais para as futuras gerações, pode ser avaliada por indicadores que quantificam o impacto dessas práticas e técnicas nos compartimentos ambientais. Portanto, em qualquer sistema agrícola sustentável as águas subterrâneas e superficiais são compartimentos ambientais que devem ser protegidos e conservados com qualidade, para a manutenção da vida em todas as suas dimensões.

Baseado no conceito de água virtual proposto por ALLAN (1993), ALLAN (1994) e ALLAN et al., (1998) o conceito de pegada hídrica foi introduzido por HOEKSTRA et al. (2002) como um indicador numérico que expressa o volume de água usada em toda a cadeia de produção e consumo de um determinado produto agrícola.

O volume de água de um produto agrícola, calculado por meio da pegada hídrica, é o volume de água necessário para a produção agrícola no local onde este foi produzido (HOEKSTRA et al., 2007; CHAPAGAIN et al. 2004). O volume de água da pegada hídrica pode ser calculado para um produtor individual ou para grupos de produtores organizados em famílias, vilas, cidades, províncias, estados, federações ou nações ou para grupos de produtores organizados em cooperativas, empresas, setores econômicos, organizações privadas ou públicas.

Vários estudos calcularam a pegada hídrica de uma grande variedade de produtos agrícolas. EMPINOTTI (2008) estimou a pegada hídrica do cultivo de cana-de-açúcar para a produção de açúcar e etanol no Brasil. ALDAYA et al. (2010), por meio da pegada hídrica, estimaram o volume de água necessário para que os italianos consumissem macarronada e pizza. BULSINK et al. (2010) calcularam a pegada hídrica relacionada ao consumo de produtos agrícolas de comunidades da Indonésia. CHAPAGAIN et al. (2009) elaboraram um estudo sobre

o consumo local de tomates na Espanha, associado à utilização de recursos hídricos na produção de tomates por dois sistemas distintos de produção. GERBENS-LEENES et al. (2009) apresentaram um estudo detalhado sobre o volume de água associado a várias formas convencionais de bioenergia e calcularam a pegada hídrica de cultivos voltados à produção de biocombustíveis. DEURER et al. (2011) direcionaram seus estudos aos fertilizantes, para observar o impacto da produção de kiwifruit na Nova Zelândia, e utilizaram a pegada hídrica como um indicador do impacto da produção sobre a escassez e a qualidade da água. Outros estudos foram feitos e foram determinadas a pegada hídrica de produtos agrícolas tais como algodão (CHAPAGAIN et al., 2006), arroz (CHAPAGAIN et al., 2011), trigo (MEKONNEN et al., 2010), chá e café (CHAPAGAIN et al., 2007), manga (RIDOUTT et al., 2010), carne e seus derivados (pecuária) (RIDOUTT et al., 2012) e azeitona e azeite de oliva (SALMORA et al., 2011).

Nos cálculos da pegada hídrica determinam-se os volumes de água verde (evapotranspiração), água azul (irrigação) e água cinza (contaminação) (ALDAYA et al., 2009). O volume de água cinza da pegada hídrica de um cultivo agrícola é definido como o volume de água necessário para diluir a carga de agrotóxicos e fertilizantes utilizados na produção agrícola, mantendo a água em padrões de qualidade definidos como aceitáveis para a manutenção da vida.

Esta palestra apresentará um método que estima o volume de água cinza necessário para diluir a toxicidade na água da carga de herbicidas utilizados em uma região para o cultivo de cana-de-açúcar. O método que será apresentado pode ser usado como um indicador da sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar, pois estima o volume de água necessário para diluir a contaminação, e manter a qualidade da água, decorrente de uma prática agrícola caracterizada pelo uso de herbicidas no preparo de condições agronômicas para a condução sustentável da produção de cana-de-açúcar. No cálculo do volume da água cinza se supõe que a água (subterrânea e superficial) é contaminada pela mistura dos herbicidas utilizados no cultivo de cana-de-açúcar.

Para diluir o efeito tóxico na água da mistura dos herbicidas, o método requer o conhecimento de concentrações dos herbicidas com efeitos agudos em algas, daphnias, peixes e plantas aquáticas. Para estimar as concentrações dos herbicidas na água superficial, devido ao escoamento superficial, foi utilizado o modelo Soilfug (DI GUARDO et al., 1994; FINIZIO et al., 2005) e para estimar as concentrações dos herbicidas na água subterrânea, devido à lixiviação, foram utilizados o fator de atenuação e o fator de retardo (RAO et al., 1985; PARAIBA et al., 2002). Durante eventos sucessivos de chuva em um período e região, o modelo SoilFug utiliza o conceito de fugacidade para estimar o reparto dos herbicidas entre os compartimentos solo e água superficial (FINIZIO et al., 2005).

No Brasil, segundo CHRISTOFFOLETI et al. (2005), os cultivos de cana-de-açúcar utilizam dois tipos de herbicidas. Os herbicidas com características físico-químicas apropriadas para condições edafo-climáticas caracterizadas pela baixa umidade do solo, classificados como herbicidas de épocas secas, e os herbicidas com características físico-químicas apropriadas para condições edafo-climáticas caracterizadas por média ou alta umidade do solo, classificados como herbicidas de épocas úmidas.

Na preparação da área para o cultivo de cana-de-açúcar infestado com plantas daninhas e solo seco, CHRISTOFFOLETI et al. (2005) sugerem utilizar herbicidas de épocas secas como glyphosate + imazapyr, glyphosate + imazapic, glyphosate + isoxaflutole ou glyphosate + carfentrazone. Em épocas com o solo úmido infestado de espécies de plantas daninhas e com a planta de cana-de-açúcar no estágio de esporão, CHRISTOFFOLETI et al. (2005) sugerem utilizar herbicidas de épocas úmidas como tebuthiuron, clomazone, sulfentrazone, hexazinone + diuron, trifloxissulfuron + ametryne, clomazone + ametryne, metribuzin, ametryne, trifluraline, pendimethalin e suas combinações. Além disso, o herbicida trifluraline pode ser empregado em solos úmidos para a expansão de cana-de-açúcar sobre áreas de pastagens com infestação de gramíneas.

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (USEPA, 1986), uma mistura de relevância toxicológica é definida como qualquer combinação de duas ou mais substâncias químicas que pode afetar uma população alvo. Vários estudos têm demonstrado a ocorrência simultânea de diversos agrotóxicos na água superficial e subterrânea (BATTAGLIN et al., 2011; SQUILLACE et al., 2002; FAVA et al., 2010), caracterizando a contaminação como uma contaminação por misturas de agrotóxicos (FINIZIO et al., 2005; VERRO et al., 2009). Portanto, devido ao número de combinações possíveis no uso de herbicidas em

Estimativa do volume de Água Contaminada por Herbicidas como Indicador da Sustentabilidade da Cana-de-Açúcar

cultivos de cana-de-açúcar e de relatos de ocorrências simultâneas de diversos herbicidas em corpos hídricos, decidimos estimar o volume de água cinza da cana-de-açúcar pelo cálculo do volume de água necessário para diluir a contaminação provocada pela mistura na água dos herbicidas recomendados para o seu cultivo.

A modelagem do cálculo da água cinza utiliza a metodologia de FINIZIO et al. (2005), desenvolvida para analisar o impacto na qualidade da água de misturas de contaminantes, utilizando o conceito de Löewe de Concentration Addition, que foi desenvolvido para estimar o efeito das misturas de substâncias na toxicidade aguda em organismos. O "Concentration Addition" supõe que o efeito tóxico da mistura em organismos ou a potência tóxica da mistura é a soma algébrica dos efeitos tóxicos de cada componente da mistura, em separado, onde a potência tóxica é representada pela proporção tóxica de cada componente da mistura. Esta suposição é sempre válida quando cada uma das substâncias componentes da mistura tem o mesmo modo de ação toxicológica no organismo (BACKHAUS et al., 2003).

Hipoteticamente, o volume total de água cinza da mistura calculado foi o necessário para diluir a concentração na água, dos herbicidas utilizados em cana-de-açúcar, à concentrações na água que não causem efeitos tóxicos observáveis em organismos aquáticos. Desta forma, o método proposto foi utilizado para estimar a água cinza da mistura na água dos herbicidas ametryn, amicarbazone, carfentrazone-ethyl, clomazone, diuron, glyphosate, hexazinone, imazapic, imazapyr, isoxaflutole, metribuzin, oxyfluorfen, pendimethalin, sulfentrazone, tebuthiuron, trifloxysulfuron e trifluralina. O volume de água cinza de cada herbicida variou entre $1,69 \times 10^2$ para o glyphosate e $4,64 \times 10^8$ para o trifloxysulfuron, ambos em metros cúbicos por hectare, e o volume total da água cinza da mistura dos herbicidas, ou a água contaminada pelos herbicidas, foi de $5,09 \times 10^8$ metros cúbicos por hectare. Conclui-se que um sistema de cultivo de cana-de-açúcar é sustentável, quando o volume de água contaminada pelos herbicidas utilizados pelo sistema é menor do que o volume de água cinza estimado, ou seja, quando concentrações de herbicidas observadas experimentalmente na água são menores do que as concentrações de herbicidas na água estimadas utilizando o volume de água cinza da mistura dos herbicidas.

Bibliografia

ALDAYA, M.M. et al. *Water Footprint Accounting for Water Quality*, 2009. http://www.worldwaterweek.org/documents/WWW_PDF/2009/sunday/K24/CEO/Aldaya-Stockholm-16Aug2009_Kompatibilitetslge.pdf.

ALDAYA, M.M. et al. *The water needed for Italians to eat pasta and pizza*. *Agricultural Systems*, v.103, n.6, p.351-360, 2010.

ALLAN, J.A. *Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible*. In: *Priorities for water resources allocation and management*, ODA, London, p.13-26, 1993.

ALLAN, J.A. *Overall perspectives on countries and regions*. In: *Rogers P, Lydon P (eds) Water in the Arab World: perspectives and prognoses*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, p.65-100, 1994.

ALLEN, R.G. et al. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. *Irrigation and Drainage Paper 56*, FAO, Rome, Italy, 1998. <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm>

BACKHAUS, T. et al. *The BEAM-project: prediction and assessment of mixture toxicities in the aquatic environment*. *Continental Shelf Research*, v.23, n.17-19, p.1757-1769, 2003.

BATTAGLIN, W.A. et al. *Occurrence of Azoxystrobin, Propiconazole, and Selected Other Fungicides in US Streams, 2005-2006*. *Water Air and Soil Pollution*, v.218, n.1-4, p.307-322, 2011.

- BULSINK, F. et al. *The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products*. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.14, n.1, p.119-128, 2010.
- CHAPAGAIN, A.K. et al. *An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: a case study of Spanish tomatoes*. *Journal of Environmental Management*, v.90, n.2, p.1219-1228, 2009.
- CHAPAGAIN, A.K. et al. *Water Footprints of nations. Value of Water Research Report Series n.16*, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands. 2004. <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf>.
- CHAPAGAIN, A.K. et al. *The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries*. *Ecological Economics*, v.60, n.1, p.186-203, 2006.
- CHAPAGAIN, A.K. et al. *The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives*. *Ecological Economics*, v.70, n.4, p.749-758, 2011.
- CHAPAGAIN, A.K. et al. *The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands*. *Ecological Economics*, v.64, n.1, p.109-118, 2007.
- CHRISTOFFOLETI, P.J. et al. *Manejo de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar: novas moléculas herbicidas In: II Simpósio de Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar, 2005, Piracicaba. Anais em CD do II Simpósio de Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar. Piracicaba: ESALQ/POTAFOS, 2005.*
- DEURER, M. et al. *Trends and Interpretation of Life Cycle Assessment (LCA) for Carbon Footprinting of Fruit Products: Focused on Kiwifruits in Gyeongnam Region*. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, v.29, n.5, p.389-406, 2011.
- DI GUARDO, A. et al. *Simulation of pesticide runoff at Rosemaund Farm (UK) using the SoilFug model*. *Environmental Science and Pollution Research*, v.1, n.3, p.151-160, 1994.
- EMPINOTTI, V. *Biofuels in the context of water scarcity threats: a critical examination of the water footprint of sugar cane ethanol in Brazil*. 2008. 54 f. *Dissertation (MSc) Environment and Development* - Department of Geography and Environment, the London School of Economics and Political Science.
- FAVA, L. et al. *Pesticides and their metabolites in selected Italian groundwater and surface water used for drinking*. *Annali dell Istituto Superiore di Sanita*, v.46, n.3, p.309-316, 2010.
- FINIZIO, A. et al. *Predicting pesticide mixtures load in surface waters from a given crop*. *Agriculture Ecosystems & Environment*, v.111, n.1-4, p.111-118, 2005.
- HOEKSTRA, A.Y. et al. *Water footprint manual: state of the art 2009*. Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.
- HOEKSTRA, A.Y. et al. *Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*. *Value of Water Research Report Series n.11*, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands, 2002. <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf>
- HOEKSTRA, A. Y. et al. *Water Footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern*. *Water Resources Management*, v.21, n.1, p.35-48, 2007.
- GERBENS-LEENES, W. et al. *The water footprint of bioenergy*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v.106, n.25, p.10219-10223, 2009.
- LORENZI, H. *Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional*. 5.ed. Nova Odessa: Plantarum, 2000. 339 p.
- MEKONNEN, M. M. et al. *A global and high resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat*, *Hydrology and Earth System Sciences*, v.14, n.7, p.12590-1276, 2010.
- PARAÍBA L.C. et al. *Soil temperature effect in calculating attenuation and retardation factors*. *Chemosphere*, v.48, n.9, p.905-912, 2002.
- RAO, P.S.C. et al. *Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater*. *Proceedings of Soil & Crop Science Society of Florida*, v.44, p.1-8., 1985.
- RIDOUTT, B.G. et al. *The water footprint of food waste: case study of fresh mango in Australia*. *Journal of Cleaner Production*, v.18, n.16-17, p.1714-1721, 2010.
- RIDOUTT, B.G. et al. *Water footprint of livestock: comparison of six geographically defined beef production systems*. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v.17, n. 2, p.165-175, 2012.
- SALMORAL, G. et al. *The water footprint of olives and olive oil in Spain [La huella hídrica de las aceitunas y aceite de oliva en España]*. *Spanish Journal of Agricultural Research*, v.9, n. 4, p.1089-1104. 2011.
- SQUILLACE, P.J. et al. *VOCs, pesticides, nitrate, and their mixtures in groundwater used for drinking water in the United States*. *Environmental Science & Technology*, v.36, n.9, p.1923-1930, 2002.
- USEPA. *Guidelines for the Health Risk Assessment of Chemical Mixtures*. p.38, 1986. <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=22567#Download>
- VERRO, R. et al. *Predicting Pesticide Environmental Risk in Intensive Agricultural Areas. II: Screening Level Risk Assessment of Complex Mixtures in Surface Waters*. *Environmental Science & Technology*, v.43, n.2, p.530-537, 2009.