



**HAL**  
open science

**Avaliação da sustentabilidade hídrica da cultura canavieira  
através do uso de indicadores extraídos de modelos espaciais  
Water sustainability assessment for sugarcane based on  
spatial indicators RESUMO**

Ferraz Rodrigo, Margareth Simoes Penello Meirelles, Vincent Dubreuil

► **To cite this version:**

Ferraz Rodrigo, Margareth Simoes Penello Meirelles, Vincent Dubreuil. Avaliação da sustentabilidade hídrica da cultura canavieira através do uso de indicadores extraídos de modelos espaciais Water sustainability assessment for sugarcane based on spatial indicators RESUMO. Revista brasileira de ciências ambientais, 2013, pp.76-86. <halshs-01094282>

**HAL Id: halshs-01094282**

**<https://shs.hal.science/halshs-01094282v1>**

Submitted on 15 Dec 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY 4.0 - Attribution - International License

# Avaliação da sustentabilidade hídrica da cultura canavieira através do uso de indicadores extraídos de modelos espaciais

## Water sustainability assessment for sugarcane based on spatial indicators

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação analítica do potencial de sustentabilidade hídrica para a cultura da cana-de-açúcar para quatro microrregiões do Estado de Goiás, Brasil: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte; a partir da utilização de índices derivados de dados secundários públicos ou dados extraídos de modelos simples através de técnicas de geoprocessamento em um sistema de informação geográfica (SIG). Esses índices compõem o Sistema de Indicadores de Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica e Monitoramento da Atividade de Canavieira - SISH-Cana (FERRAZ, 2012). Os resultados mostram que as microrregiões do Sudoeste de Goiás e Quirinópolis constituem aquelas com a maior favorabilidade, do ponto de vista da sustentabilidade hídrica, pois, possuem áreas onde a cultura pode ser cultivada em sistema de sequeiro e ainda dispõem de volumes hídricos mais elevados e regulares para suprir a demanda do cultivo da cana-de-açúcar nas áreas de irrigação obrigatória.

**PALAVRAS-CHAVE:** Indicadores ambientais; Disponibilidade hídrica; Demanda hídrica da cultura da cana-de-açúcar

### ABSTRACT

The objective of this paper has been perform an analytical assessment of the potential for sugarcane water sustainability for four microregions of Goiás State in Brazil: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis and Meia Ponte; from the use of indices derived from public secondary data or data extracted from simple models through geoprocessing techniques in a Geographic Information System (GIS). These indexes comprise indicators of the Indicators System of Sugarcane Water Sustainability Assessment - SISH-Cana (Ferraz, 2012). The results show that the Sudoeste de Goiás and Quirinópolis microregions exhibit higher favorability, from the point of view of water sustainability because there are areas where culture can be grown in dry system and still rely on available higher and regular water volumes to supply the demand of sugarcane cultivation in the areas of compulsory irrigation.

**KEYWORDS:** Environmental indicators; Water availability; Sugarcane water demand

**Rodrigo P. Demonte Ferraz**  
Engenheiro Agrônomo, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Solos  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
rodrigo,@cnps.embrapa.br

**Margareth Simões**  
Doutora em Geografia,  
Programa de Pós-Graduação Meio Ambiente – Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Embrapa, Programa LabEx Europa  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
margaret @cnps.embrapa.br

**Vincent Dubreuil**  
Doutor em Climatologia,  
Université Rennes2  
Rennes, França  
vincent.dubreuil@uhb.fr

## INTRODUÇÃO

Historicamente, durante o processo de desenvolvimento do Brasil, diversos ciclos agroecônômicos, baseados na expansão da área produtiva, consumo e esgotamento dos recursos naturais, têm se sucedido, gerando, conseqüentemente, notáveis mudanças na geografia da agricultura brasileira. Atualmente, evidencia-se no país, um novo ciclo de expansão da atividade canavieira, devido às políticas nacionais do setor de agroenergia e às exigências ditadas pelo contexto geopolítico internacional, quanto às políticas e acordos de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais. Carvalho (2006), a partir de cenários do mercado futuro para o ano agrícola de 2012-2013, destacou a potencialidade do crescimento dos mercados, tanto externo quanto interno, para o etanol e açúcar brasileiros e projetou a necessidade do Brasil produzir cerca de 685 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para uma produção projetada de 35,7 milhões de metros cúbicos de etanol. Deste modo, considerando o fortalecimento das cadeias produtivas dos biocombustíveis pode-se conceber um cenário futuro-próximo com grande alteração do uso das terras e acentuada expansão da cultura da cana-de-açúcar nas regiões tradicionais e também noutras, antes periféricas, que vêm se convertendo em foco (*hotspots*) da expansão contemporânea da atividade canavieira.

Atualmente, a atividade canavieira no Brasil ainda se apresenta bastante concentrada, com mais de 85% da produção situada na região Centro-Sul do país, majoritariamente no Estado de São Paulo (IBGE, 2010). No entanto, os dados do Projeto CANASAT (INPE) têm demonstrado e acompanhado a tendência de expansão da atividade canavieira, a qual está se deslocando para o norte do território paulista e avançando sobre algumas áreas da

região Centro-Oeste, situadas, notadamente, nos estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás. Assim, vários estudos dedicados a avaliar o processo de expansão da cultura canavieira no Centro-Oeste brasileiro têm sido realizados, objetivando analisar a problemática ambiental decorrente, os condicionantes do processo, as conseqüências, as restrições e riscos ambientais inerentes (SANTOS *et al.*, 2011; RUDORFF, 2010; CASTRO *et al.*, 2010; BARBALHO e CAMPOS, 2010; MIZIARA, 2009; SILVA *et al.*, 2008; NASSAR *et al.*, 2008; CASTRO *et al.*, 2007), dentre outros.

Por outro lado, o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (MANZATTO, 2009) indica que a região Centro-Sul e, particularmente, a região Centro-Oeste ainda possuem um grande potencial de expansão, em termos de disponibilidade de áreas com aptidão pedoclimática favorável. Contudo, na região Centro-Oeste do país, área de domínio do bioma Cerrado, a disponibilidade hídrica climática apresenta limitações em função da distribuição e concentração dos totais precipitados, configurando certo risco para a cultura da cana-de-açúcar conduzida em sistema exclusivo de sequeiro sem apoio de sistemas de irrigação suplementar ou de salvamento. De uma forma geral, o clima regional é caracterizado por duas estações bem definidas, uma chuvosa, que se inicia nos meses de setembro ou outubro e se estende até os meses de março ou abril e destes a setembro/outubro, outra estação, marcada pela seca com forte deficiência hídrica em função da redução acentuada dos índices pluviométricos (SILVA *et al.*; 2008). Em face desta realidade, Silva *et al.* (2008) afirmam que em algumas áreas na região do Cerrado, para a expansão sustentável do cultivo da cana-de-açúcar, será necessário o emprego de irrigação suplementar aplicada após o corte ou plantio. Os autores estimam, dependendo do

déficit hídrico, a necessidade de lâminas de irrigação na ordem de 80 a 120mm.

O Centro-Oeste brasileiro constitui, em princípio, uma região com potencial para a expansão da atividade canavieira, representando uma alternativa técnica e economicamente viável, mas que, para a realização de uma exploração sustentável se faz necessário a agregação de conhecimento sobre as reais condições de sustentabilidade e riscos associados aos impactos ambientais motivados pela dinâmica de mudança de uso do solo. Principalmente, no que tange a sustentabilidade hídrica e a judiciosa utilização dos recursos hídricos.

O presente artigo apresenta uma avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica, para o desenvolvimento da atividade canavieira, de quatro microrregiões - Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte - situadas na Mesorregião do Sul do Estado de Goiás. Avaliação esta realizada a partir da utilização de indicadores componentes do Sistema de Indicadores para Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira - SISH-Cana (FERRAZ, 2012), proposto para subsidiar o planejamento estratégico setorial - agrícola e/ou recursos hídricos.

## METODOLOGIA

A metodologia referente à elaboração do Sistema de Indicadores para Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira - SISH-Cana, assim como a base teórica, as justificativas para a proposição dos indicadores e a elaboração dos modelos utilizados para a extração de dados visando o cálculo dos indicadores aplicados no estudo de caso proposto, encontram-se descritas de modo completo em Ferraz (2012).

Tabela 1 - Indicadores para Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica da Atividade Canavieira - SISH-Cana

INDICADORES	FÓRMULAS
<b>1º Grupo</b>	
IAFC - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira	$IAFC = Sfc / S_{UTA}$
IAFS - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro	$IAFS = Sfs / S_{UTA}$
IAFI - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação	$IAFI = Sic / S_{UTA}$
<b>2º Grupo</b>	
IVCH - Índice de Vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos	$IVCH = S_{VP} / S_{UTA}$
<b>3º Grupo</b>	
ICDHs - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a atividade canavieira em sistema de Sequeiro	$ICDHs = DeHs / DiHt$
IADHi - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da cultura canavieira em sistema sequeiro	$IADHi = Smes / Sfs$
ICDHi - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a atividade canavieira em sistema de Irrigação	$ICDHi = DeHi / DiHt$
IADHi - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da cultura canavieira em sistema de Irrigação	$IADHi = Smei / Sic$

**Nota:** (i) Sfc= área total favorável à cultura da cana-de-açúcar (ii) Sfs= área favorável à cultura da cana-de-açúcar em sistema de sequeiro; (iii) Sic= área favorável à cultura da cana-de-açúcar em sistema de irrigação compulsória; (iv)  $S_{UTA}$  = área total da unidade territorial de análise; (v) DeHs = Demanda hídrica da atividade canavieira em sistema de sequeiro; (vi) DiHt = Disponibilidade hídrica (vi) Smes = área máxima de expansão sustentada para a cultura canavieira em sistema de sequeiro; (viii) Smei = área máxima de expansão sustentada para a cultura canavieira em sistema de irrigação; (ix)  $S_{VP}$ = área vulnerável ponderada à contaminação por vinhaça.

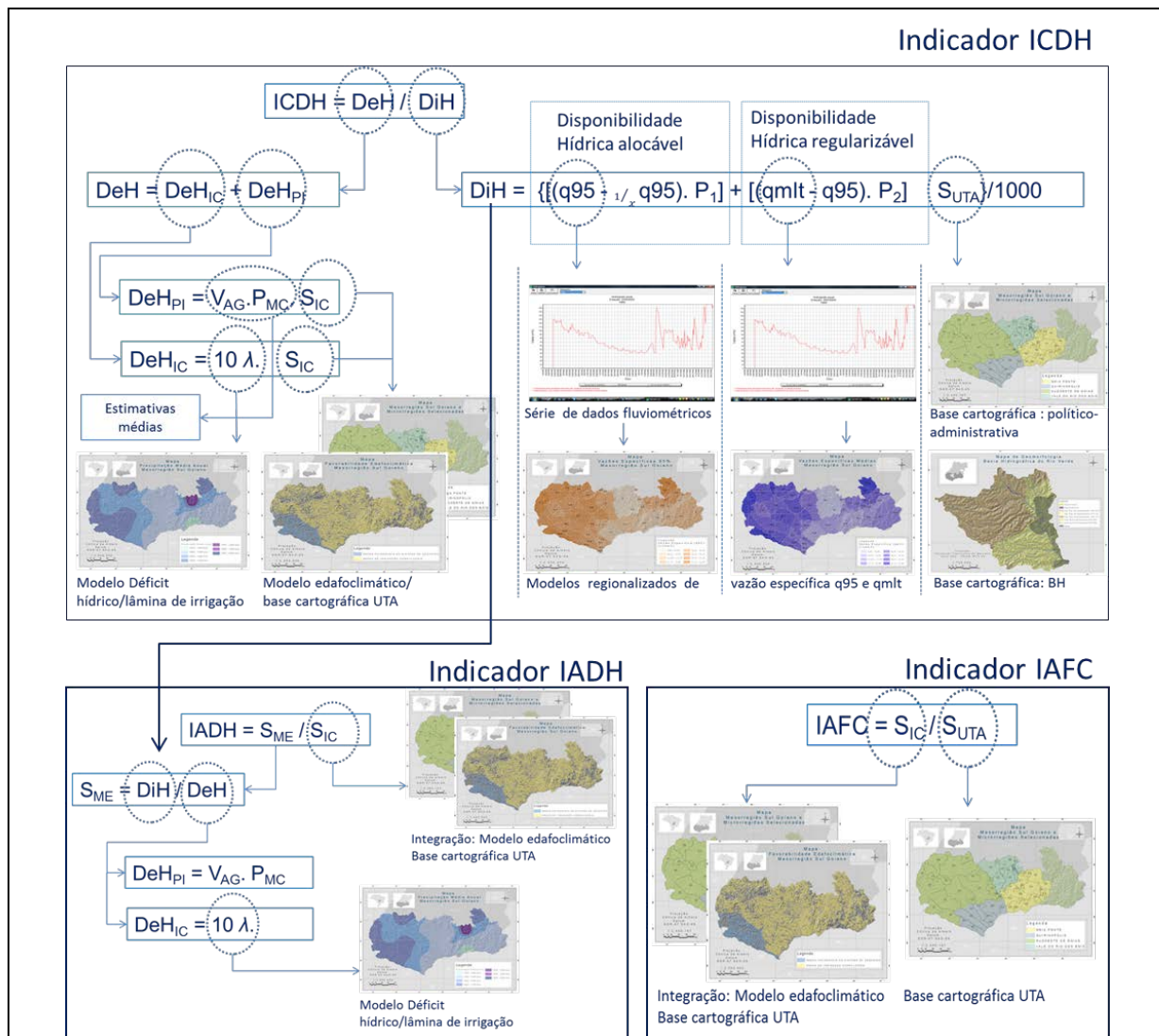
A seguir serão apresentados, de forma sucinta, os indicadores do SISH-Cana e os modelos utilizados para a extração dos dados para o cálculo dos indicadores aplicados a este estudo de caso (FERRAZ, 2012). A tabela 1 apresenta os indicadores com as respectivas fórmulas matemáticas utilizadas.

O 1º Grupo de Indicadores (IAFC IAFS IAFS) do Módulo A SISH-Cana contem três índices de favorabilidade das áreas quanto às condições de aptidão edafoclimática para a expansão e desenvolvimento da cultura canavieira. Os parâmetros para os cálculos desses três indicadores são extraídos de zoneamentos de aptidão agrícola e de risco climático, específicos, para a cultura da cana-de-açúcar. No presente estudo foram utilizados os dados do modelo de aptidão edafoclimática contido no Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar - ZAE-Cana (MANZATTO,

2009) e gerado a partir da integração de um modelo de risco climático com a avaliação da aptidão edáfica dos solos para a cultura da cana-de-açúcar. Como os resultados do ZAE-Cana estão disponíveis em tabelas e mapas no formato *pdf*, para consulta via visualizador *Web*, contendo apenas informações sumarizadas das estimativas de áreas aptas à produção de cana-de-açúcar por município e tipo de uso da terra, para a realização do presente estudo se fez necessário a obtenção dos arquivos *shapes* e tabelas associadas (dados nos formatos: *shp* e *dbf*).

O 2º Grupo de Indicadores do Módulo A do SISH-Cana contem um indicador (IVCH) que, em relação à área total da unidade territorial de análise, sinaliza a proporção de ocorrência de áreas vulneráveis à contaminação dos mananciais hídricos freáticos por efluentes da agroindústria sucroalcooleira. A determinação deste se baseia na

estimativa ponderada de ocorrência de áreas consideradas vulneráveis à contaminação dos corpos hídricos a partir de um modelo espacialmente distribuído descrito por Gomes, Spadotto e Pessoa (2002), que propuseram um método de avaliação da vulnerabilidade natural dos solos quanto à movimentação de agroquímicos e risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais. No presente estudo de caso utilizou-se um modelo elaborado por Barbalho e Campos (2010) que consistiu em uma adaptação do modelo proposto por Gomes, Spadotto e Pessoa (2002). Basicamente o modelo consiste na geração de classes de vulnerabilidade à contaminação por vinhaça a partir da integração do potencial de infiltração e o potencial de escoamento superficial da água que, por sua vez, são definidos pela integração dos parâmetros de condutividade hidráulica dos solos e declividade do terreno.



**Figura 1 - Fluxograma da extração de dados e cálculo dos indicadores ICDH; IADH e IAFC.**

Nota: (i) DiH= Disponibilidade hídrica geral (m3); (ii) q95 = Vazão específica com 95% de permanência (l.s-1.km-2);(iii) qmlt = Vazão específica média de longo termo (l.s-1.km-2); (iv)  $1/x$  q95 = Vazão específica remanescente dada por uma fração da vazão específica com 95% de permanência (l.s-1.km-2); (v) P1 = Período de produção de água anual no qual se pode contar com a alocação (95% dos 365 dias anuais ≈ 346 dias) (s);(vi) P2 = Período de produção de água anual no qual se pode reservar os excedentes hídricos (6 meses ≈183 dias) (s); (vii) SUTA =Área da Unidade Territorial de Análise (Km2); (viii) DeH = Demanda hídrica da cultura canvieira; (ix) DeHPI = Demanda hídrica para o processamento industrial da produção da cultura canvieira (m3);(x) DeHIC = Demanda hídrica para a irrigação da cultura canvieira (m3); (xi) VAG = Volume de água gasta por massa de cana produzida (m3.t-1) (xii) PMC: Produtividade média da cultura da cana-de-açúcar (t.ha-1); (xiii) SIC = Área de irrigação compulsória (ha);(xiv) λ = Lâmina de irrigação (mm); (xv) SME= área máxima de expansão sustentada (ha).

O 3º Grupo de Indicadores do Módulo A do SISH-Cana contém dois indicadores (ICDH, ICDHi) que, em relação à oferta hídrica regional, descrevem o grau de comprometimento da disponibilidade hídrica para atender a demanda potencial de água da atividade canvieira nas unidades territoriais de análise em apreciação, e dois indicadores (IADH, IADHi) que estabelecem o nível de atendimento da demanda de água da cultura em termos de área capaz

de ser irrigada com os recursos hídricos disponíveis. Os parâmetros para os cálculos desses quatro indicadores são extraídos de modelos distribuídos de vazão que possam fornecer a estimativa da produção ou oferta de água de uma dada região geográfica e de modelos de balanço hídrico climático que permitam a estimativa dos excedentes e déficits hídricos, determinando a possível necessidade de irrigação e, conseqüentemente, a demanda de

água por parte da cultura de interesse. No presente estudo, para a estimativa da oferta hídrica da região em apreço foi elaborado um modelo espacialmente distribuído da vazão, com base no índice regional de vazão específica (FERRAZ, 2012). Para a estimativa da demanda hídrica foi utilizado um modelo espacial de disponibilidade hídrica climática, realizado pelo método do balanço hídrico climático (THORNTHWAITE, 1955), por Silva et al. (2008). Este último teve como

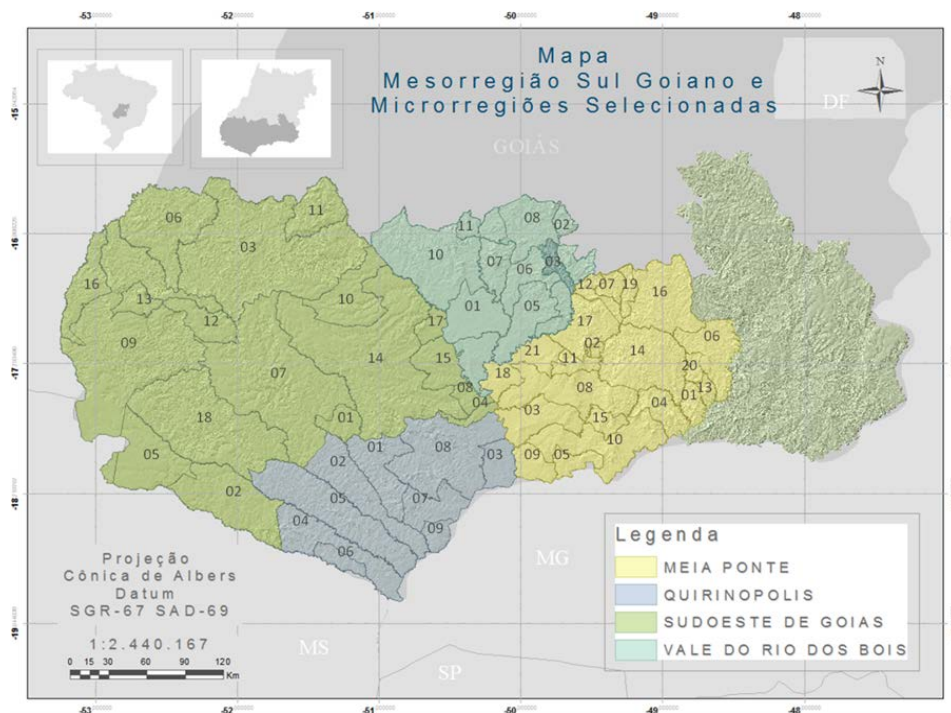


Figura 2 - Mapa da localização geográfica da Mesorregião Sul Goiano e microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte. Fonte: Ferraz (2012)

foco determinar as diferentes lâminas de irrigação necessárias para atender o déficit hídrico da cultura da cana-de-açúcar na região de interesse.

As principais etapas metodológicas consistiram: (i) 1ª etapa - Aquisição de dados: consistiu na aquisição, seleção e organização dos dados utilizados para a geração de modelos ou estimativa direta dos parâmetros para o cálculo dos indicadores. Os dados alfanuméricos em formato *xlsx* ou *accdb Excel e Access/Windows Office/Microsoft* e os dados espaciais em formato *shape* foram adquiridos diretamente por *download* dos bancos de dados das fontes detentoras que os dispõem *on line* ou adquiridos após solicitação às instituições e/ou aos autores dos modelos utilizados; (ii) 2ª etapa - Tratamento dos dados: consistiu na estruturação de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizando-se o pacote computacional *ArcGIS 10/ESRI*, onde os arquivos *shape* referentes aos diferentes temas ou modelos foram organizados e trabalhados com diversas técnicas de

geoprocessamento para a extração dos dados utilizados para o cálculo dos indicadores; (iii) 3ª etapa - Extração dos dados e Efetuação do cálculo dos indicadores: consistiu na tabulação, organização dos dados e o cálculo dos dados intermediários e dos indicadores em planilhas *Excel/Windows Office/Microsoft*. A Figura 1 apresenta um fluxograma dos modelos espaciais utilizados para a extração de dados e cálculo dos indicadores ICDH; IADH e IAFC.

O procedimento analítico para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica para a cultura da cana-de-açúcar utilizado neste estudo foi subdividido nos seguintes tópicos: (i) Avaliação do potencial edafoclimático das Unidades Territoriais de Análise para o desenvolvimento da cultura canieira; (ii) Avaliação da vulnerabilidade das Unidades Territoriais de Análise quanto ao risco de contaminação dos mananciais hídricos pela aplicação de vinhaça na cultura canieira; (iii) Avaliação do potencial hídrico das Unidades Territoriais de Análise para

o desenvolvimento da atividade canieira.

Como exposto, foi conduzido um estudo de caso nas quatro microrregiões da Mesorregião Sul Goiano: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte. A localização geográfica da Mesorregião Sul Goiano e referidas microrregiões, são apresentadas nos mapas da figura 2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Avaliação do potencial edafoclimático das Unidades Territoriais de Análise para o desenvolvimento da cultura canieira

O potencial edafoclimático é indicado pela ocorrência relativa de áreas adequadas ou favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar, com base nas condições topográficas e aptidão edafoclimática que favorecem ou restringem a produção de cana-de-

Tabela 2 - Índices e áreas favoráveis à da cultura canaveira por microrregião

MICRORREGIÕES	ÁREAS (ha)				INDICADORES		
	AFS	AIC	AFC	ATU	IAFC	IAFS	IAFI
Meia Ponte	0,00	1.371.286,31	1.371.286,31	2.116.556,00	0,65	0,00	0,65
Sudoeste de Goiás	807.960,82	2.388.214,00	3.196.174,83	5.611.153,00	0,57	0,14	0,43
Vale do Rio dos Bois	0,00	924.244,73	924.244,73	1.360.860,00	0,68	0,00	0,68
Quirinópolis	199.789,18	941.099,98	1.140.889,17	1.606.810,30	0,69	0,12	0,57
<b>Totais</b>	<b>1.007.750,01</b>	<b>5.624.845,03</b>	<b>6.632.595,04</b>	<b>10.695.379,30</b>	<b>0,62</b>	<b>0,09</b>	<b>0,53</b>

Nota: Áreas: (i) ATU - Área total da Unidade Territorial de Análise ( $S_{UTA}$ ); (ii) AFC - Área Favorável à Cultura Canaveira (Sfc); (iii) AFS - Área Favorável à Cultura Canaveira em sistema de sequeiro (Sfs); (iv) AIC - Área de Irrigação Compulsória para Cultura Canaveira (Sic). Indicadores: (i) IAFC - Índice de Área Favorável à Cultura Canaveira; (ii) IAFS - Índice de Área Favorável à Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro; (iii) IAFI - Índice de Área Favorável à Cultura Canaveira em Sistema de Irrigação. Fonte: Ferraz (2012)

açúcar em escala agroindustrial. Os indicadores do SISH-Cana (FERRAZ, 2012) que sinalizam essas relações são: (i) IAFC - Área Favorável à Cultura Canaveira; (ii) IAFS - Índice de Área Favorável à Cultura Canaveira em sistema de sequeiro; (iii) IAFCI - Índice de Área Favorável à Cultura Canaveira em sistema de irrigação; e se encontram tabulados e apresentados na tabela 2.

A análise comparativa revela que, dentre as microrregiões estudadas, a microrregião Sudoeste de Goiás apresenta mais de 3,1 milhões de hectares (57% da ATU), constituindo a maior área absoluta favorável ao desenvolvimento da cultura canaveira, seguida das microrregiões: Meia Ponte com 2,1 milhões de hectares (65% da ATU); Quirinópolis com 1,1 milhões de hectares (69% da ATU) e Vale do Rio dos Bois com 0,9 milhões de hectares (68% da ATU).

Observa-se que as microrregiões de Meia Ponte e Vale do Rio dos Bois possuem somente áreas favoráveis ao cultivo da cultura canaveira em sistema de irrigação compulsória, conforme sinaliza a equivalência entre os seus respectivos índices de área favorável à cultura canaveira em sistema de sequeiro e de irrigação (IAFC = IAFI). Ensejando, a princípio, uma expectativa de pressão sobre os recursos hídricos disponíveis em função da necessidade de se atender à demanda hídrica

projetada para a irrigação suplementar.

As microrregiões Sudoeste de Goiás e Quirinópolis possuem tanto áreas favoráveis para o desenvolvimento da cultura canaveira em sistema de sequeiro (14% e 12% da UTA, respectivamente) quanto áreas nas quais o emprego de irrigação suplementar se faz necessário para a produção de cana-de-açúcar em nível industrial (43% e 57% da UTA, respectivamente).

Observa-se ainda, que todas as microrregiões estudadas possuem mais de 50% das suas áreas territoriais favoráveis ao cultivo da cultura canaveira, e, considerando a região como um todo, se contabiliza 6,6 milhões de hectares aptos para o cultivo da cultura canaveira, 62% da extensão territorial de aproximadamente 10,6 milhões de hectares.

Portanto, a extensão total da área favorável ao desenvolvimento da cultura canaveira nas microrregiões estudadas é muito expressiva, configurando, em princípio, um elevado potencial de expansão para a atividade sucroalcooleira. Assim, potencialmente, as microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale dos Rios dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte podem oferecer o suporte necessário para a expansão do setor sucroalcooleiro na Mesorregião Sul do Estado de Goiás. Entretanto, se

por um lado, as condições favoráveis de topografia e solos propiciam a expansão da atividade canaveira, por outro, a relativa desfavorabilidade climática induz a necessidade de utilização da prática da irrigação suplementar em mais de 84% da área total favorável à cultura canaveira, o que, conseqüentemente, pode elevar os níveis de pressão sobre os recursos hídricos disponíveis, em termos de volume captado.

#### Avaliação da vulnerabilidade das Unidades Territoriais de Análise quanto ao risco de contaminação dos mananciais hídricos pela aplicação de vinhaça na cultura canaveira

Para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da atividade canaveira também é preciso contemplar a fragilidade natural ou o risco de degradação dos recursos hídricos em função do uso indevido dos efluentes da agroindústria sucroalcooleira, em uma situação hipotética de expansão não planejada da atividade canaveira. Os resultados, em termos de valores absolutos das áreas consideradas vulneráveis à contaminação por vinhaça por microrregião e respectivos indicadores, estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Índices de vulnerabilidade e áreas vulneráveis à contaminação dos mananciais hídricos pela vinhaça por microrregião

MICRORREGIÕES	ÁREAS (ha)			INDICADORES	
	AVC	AFC	ATU	IVCH	IAFC
Meia Ponte	1.669.652,01	1.371.286,31	2.116.556,00	0,58	0,65
Sudoeste de Goiás	4.549.252,03	3.196.174,83	5.611.153,00	0,62	0,57
Vale do Rio dos Bois	1.085.271,42	924.244,73	1.360.860,00	0,51	0,68
Quirinópolis	1.385.406,04	1.140.889,17	1.606.810,30	0,61	0,71
Totais	8.689.581,50	6.632.595,00	10.695.379,30	0,60	0,62

Nota: Áreas: (i) ATU - Área total da Unidade Territorial de Análise; (ii) AFC - Área Favorável à Cultura Canavieira; (iii) AVH - Área Vulnerável a Contaminação dos Mananciais Hídricos. Indicadores: (i) IAFC - Índice de Área Favorável à Cultura Canavieira; (ii) IVCH - Índice de Vulnerabilidade à Contaminação dos Mananciais Hídricos. Fonte: Ferraz (2012).

É interessante notar que em todas as quatro microrregiões estudadas os percentuais de áreas vulneráveis (“alta” a “muito alta” vulnerabilidade) à contaminação por vinhaça além de elevados não apresentaram grande variabilidade, ficando acima de 87% dos respectivos territórios. Contudo, os índices de vulnerabilidade discriminam as microrregiões conforme a ponderação das áreas das classes de vulnerabilidade estabelecidas no modelo de referência adotado e, desta forma, destaca-se as microrregiões, Sudoeste de Goiás com um índice de vulnerabilidade mais expressivo (IVCH = 0,62) e Vale do Rio dos Bois com o menor grau de vulnerabilidade, segundo a metodologia adotada e explicitada (IVCH = 0,51). O índice IVCH se situou em 0,61 e 0,58 para Meia Ponte e Quirinópolis, respectivamente.

Para efeito da contabilização da área ponderada de vulnerabilidade, as áreas das classes de vulnerabilidade à contaminação por vinhaça com potencial de infiltração “alto” e “muito alto” e das classes com “alto” e “muito alto” risco de carreamento dos contaminantes por conta do deflúvio superficial receberam maiores pesos. Desta forma, constata-se que em algumas localizações dos municípios de Serranópolis; Mineiros, Caiapônia, situados na microrregião do Sudoeste de Goiás, encontram-se expressivas áreas da classe “muito alta” vulnerabilidade à

contaminação por vinhaça, relacionada, sobretudo, à ocorrência de solos de textura arenosa (Neossolos Quartzarênicos). Logo, com alto risco de contaminação dos mananciais hídricos freáticos por causa do elevado potencial de infiltração, devido à combinação do relevo suavizado e a alta condutividade hidráulica dos materiais sotopostos aos aquíferos subjacentes. Entretanto, em todas as regiões evidencia-se a predominância da classe de “alta” vulnerabilidade à contaminação por infiltração devido às vastas extensões de solos da classe Latossolo em modelados topográficos suavizados que dominam a paisagem na Mesorregião Sul Goiano, uma vez que essas unidades pedológicas se caracterizam pela elevada porosidade e acentuada condutividade hidráulica permitindo a lixiviação e percolação profunda de materiais solúveis.

As classes de vulnerabilidade com “alto” ou “muito alto” risco de contaminação dos corpos hídricos de superfície, como os rios e lagoas, por carreamento da vinhaça por meio do escoamento superficial se encontram de forma mais distribuída e pontual nas microrregiões estudadas se relacionando aos solos com topografia mais movimentada, menores níveis de condutividade hidráulica, mais rasos ou com impedimentos à infiltração e

percolação devido a gradientes texturais.

Cabe salientar que os resultados apresentados neste estudo devem ser tomados com ressalvas, uma vez que, o modelo de referência adotado superestima em certa medida as áreas vulneráveis devido ao efeito de generalização das unidades de mapeamento em função da escala ao milionésimo do mapa de solos utilizado. Cumpre esclarecer que não se trata de um problema relacionado à metodologia nem tão pouco à condução do trabalho original realizado por Barbalho e Campos (2008) que objetivaram a avaliação da vulnerabilidade das terras quanto à contaminação por vinhaça em escala estadual, para todo o Estado de Goiás. Considerando a opção de se trabalhar com a escala de municípios e microrregiões, o modelo de referência adotado não apresenta o nível de detalhe ideal. No entanto, para efeito de demonstração da aplicação do Sistema de Indicadores, objetivo deste estudo de caso, considerou-se satisfatória a utilização do referido modelo.

Contudo, os resultados dos índices de vulnerabilidade refletem a tendência regional da ocorrência de grandes extensões de área com algum grau de vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos, notadamente dos aquíferos freáticos. Evidenciam, desse modo, o risco potencial de degradação dos recursos hídricos, caso não sejam tomados os devidos cuidados no

Tabela 4 - Índices de comprometimento da disponibilidade hídrica, volumes disponíveis e demanda hídrica potencial da atividade canaveieira por sistema de produção e microrregião

MICRORREGIÕES	VOLUMES HÍDRICOS (m <sup>3</sup> )			INDICADORES	
	DEHs	DEHi	DIHt	ICDHs	ICDHi
Meia Ponte	0,00	1.694.909.884,10	4.783.706.702,51	0,00	0,35
Sudoeste de Goiás	361.966.449,15	2.951.832.508,94	17.463.527.703,30	0,02	0,17
Vale do Rio dos Bois	0,00	1.142.366.487,52	2.571.641.216,97	0,00	0,44
Quirinópolis	89.505.553,54	1.163.199.580,22	4.219.333.369,85	0,02	0,28
Totais	451.472.002,69	6.952.308.460,79	29.038.208.992,64	0,02	0,24

Áreas: (i) DIHt – Disponibilidade Hídrica Total; (ii) DEHi – Demanda Hídrica Potencial da Atividade Canaveieira em Sistema de Irrigação; (iii) DEHs - Demanda Hídrica Potencial da Atividade Canaveieira em Sistema de Sequeiro. Indicadores: (i) ICDHs - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canaveieira em sistema de Sequeiro; (ii) ICDHi - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canaveieira em sistema de Irrigação. Fonte: Ferraz (2012).

tratamento e disposição da vinhaça, assim como, no planejamento da prática de fertirrigação da cultura da cana-de-açúcar.

A tendência revelada pelos resultados deste estudo, de uma forma geral, se alinha aos resultados apresentados por Alves e Castro (2009) que estudaram e buscaram estimar a vulnerabilidade natural e risco dos solos à contaminação nas áreas de recarga do Aquífero Guarani, no sudoeste do Estado de Goiás (SAG/GOIÁS), abrangendo os municípios de Jataí, Mineiros, Santa Rita do Araguaia e Serranópolis. Os referidos autores utilizaram um modelo espacializado baseado na mesma metodologia utilizada por Barbalho e Campos (2008), por meio da qual produziram um zoneamento com classes de vulnerabilidade e de risco estabelecidas a partir do cruzamento de mapas temáticos: Classes de declividade do terreno; mapa pedológico associado aos dados de condutividade hidráulica das classes de solo; e, mapa de uso e cobertura do solo. Avaliaram que 45% e 47% das áreas de recarga do aquífero possuem vulnerabilidade “muito alta” e “alta”, respectivamente, totalizando juntas mais de 90% da área total de recarga do aquífero Guarani no Estado de Goiás (SAG). Considerando o uso do solo, calcularam ainda que 32,8% da área do SAG apresentaram “alto risco” e 27,5% apresentam “muito

alto risco”, em relação à possibilidade de poluição do referido aquífero associada às áreas com uso agropecuário intensivo. Concluíram os autores que a vulnerabilidade e o risco associados à área de recarga do SAG em Goiás são expressivos e, portanto, inspiram cuidados preventivos com o uso, manejo e conservação dos solos.

### Avaliação do potencial hídrico das Unidades Territoriais de Análise para o desenvolvimento da atividade canaveieira

A avaliação do potencial hídrico, ou seja, das condições da disponibilidade hídrica para a demanda estimada, constitui o próximo passo lógico para a avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica das Unidades Territoriais de Análise para o desenvolvimento da atividade canaveieira. A tabela 4 apresentam os valores absolutos da disponibilidade hídrica total e da demanda hídrica potencial discriminada por sistema de produção e os valores relativos na forma dos indicadores correspondentes.

A análise comparativa do grau de comprometimento das disponibilidades hídricas para atender as demandas projetadas da

atividade canaveieira, tanto em sistema de sequeiro quanto de irrigação, permite destacar a microrregião Sudoeste de Goiás como a mais favorável, do ponto de vista da sustentabilidade hídrica, para o desenvolvimento da atividade sucroalcooleira. Visto que, apresentando o maior volume de água disponível (17,5 bilhões de m<sup>3</sup> de água) e o menor percentual de comprometimento (17%) para o atendimento da demanda potencial da cultura canaveieira sob sistema de irrigação, o Sudoeste de Goiás possui, em termos relativos e absolutos, a condição mais favorável. Além disso, necessita dispor apenas de 2% do volume hídrico disponível em seu território para atender a demanda projetada para a produção potencial da cultura canaveieira em sistema de sequeiro.

Com um comprometimento na ordem de 2% e 24% da disponibilidade total de 4,2 bilhões de m<sup>3</sup> de água para atender as demandas potenciais da produção canaveieira nas áreas favoráveis ao sistema de sequeiro e de irrigação compulsória, Quirinópolis se notabiliza como a segunda microrregião mais favorável quanto à sustentabilidade hídrica. A Microrregião de Meia Ponte, por sua vez, necessitaria dispor de 35% do volume hídrico total produzido em seu território para fazer frente à demanda potencial para produção

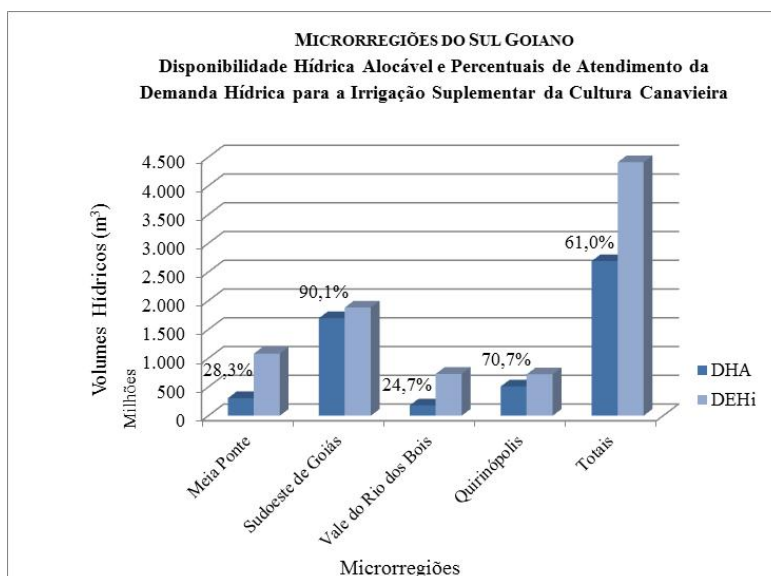


Figura 3 - Gráfico: Disponibilidade hídrica alocável e percentuais de atendimento da demanda hídrica para a irrigação suplementar da cultura canaveira por microrregião

Legenda: (i) DHA – Disponibilidade Hídrica Alocável durante o período de 3 meses; (ii) DEHi - Demanda Hídrica para a Irrigação suplementar. Rótulos: Percentuais de atendimento da demanda hídrica para a irrigação suplementar considerando a disponibilidade hídrica alocável. Fonte: Ferraz (2012)

agroindustrial da cana-de-açúcar conduzida totalmente em regime de irrigação suplementar. Para a Microrregião do Vale do Rio dos Bois, onde a atividade canaveira também é totalmente dependente da prática da irrigação suplementar a situação se torna ainda mais grave, pois 44% dos seus recursos totais de água disponível teriam que ser utilizados para atender toda a demanda projetada para a área considerada apta à cultura canaveira.

Analisando a região como um todo, observa-se que, para atender a demanda da atividade canaveira em sistema de irrigação suplementar, o comprometimento da disponibilidade hídrica regional atinge a ordem de 24%. Para atender a demanda projetada para a produção potencial em sistema de sequeiro o comprometimento da disponibilidade hídrica regional se limita a apenas 2% dos volumes totais disponíveis.

Considerando o exposto, nota-se que tanto os percentuais de comprometimento quanto a quantidade absoluta de água disponível variam bastante

conforme as diferentes microrregiões, determinando para cada uma delas, diferentes condições de sustentabilidade hídrica.

Como a produção de água das bacias hidrográficas constitui uma função da precipitação média, justamente, as unidades onde a cultura da cana-de-açúcar é mais dependente da prática da irrigação são as que possuem, geralmente, a menor disponibilidade hídrica dos mananciais superficiais e subterrâneos. Exatamente, no presente caso, o que foi verificado nas microrregiões do Vale do Rio dos Bois e de Meia Ponte. Observação esta também verificada em Lima *et al.* (2008) que estudaram a variabilidade espaço-temporal da vazão específica média e em Silva *et al.* (2008) que avaliaram a oferta e a demanda hídrica para o cultivo da cana-de-açúcar, ambos, no Estado de Goiás. Desta forma, nessas áreas em especial, a margem de disponibilidade hídrica é consideravelmente menor e uma nova atividade agroeconômica em expansão, como a canaveira, pode aumentar a pressão e impactos

sobre os recursos hídricos, causando o acirramento dos conflitos entre os diversos setores usuários de água.

Por outro lado, apesar do contraste entre as microrregiões estudadas, destaca-se que todas elas, potencialmente, produzem volumes hídricos suficientes para atender as demandas exigidas por uma possível expansão canaveira até o limite da área considerada apta para a cultura em cada microrregião. Convém salientar que esta condição de suficiência foi verificada considerando-se os volumes hídricos imediatamente alocáveis e os passíveis de acumulação prévia por meio da construção de reservatórios. Ou seja, na estimativa da disponibilidade hídrica total, considerou-se também a capacidade de aproveitamento dos excedentes hídricos produzidos nas estações de cheia.

Com o propósito de complementar a avaliação do potencial hídrico, foi realizada uma análise dos percentuais de atendimento da demanda hídrica para a irrigação suplementar, considerando apenas a

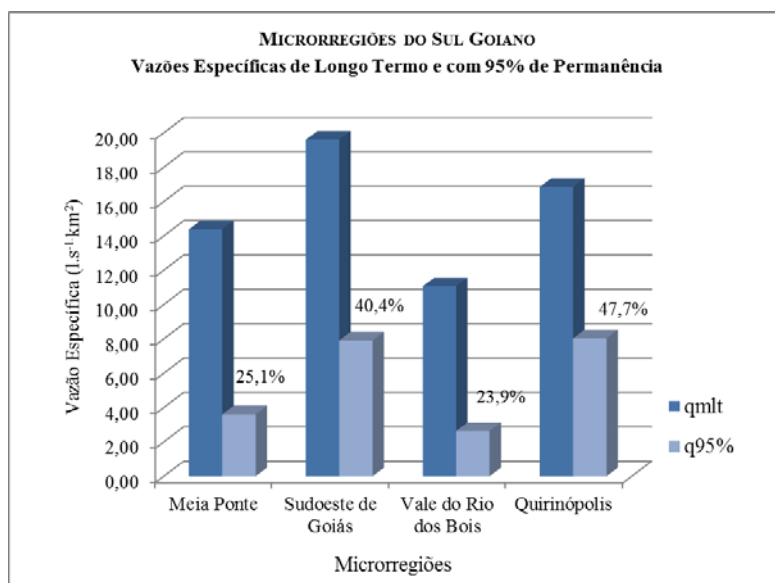


Figura 4 - Gráfico: Vazões específicas médias de longo termo, vazões específicas com 95% de permanência e percentuais

Legenda: (i) qmlt - Vazões específicas médias de longo termo; (ii) Vazões específicas com 95% de permanência. Rótulos: Percentuais das vazões específicas com 95% de permanência em relação às vazões específicas médias de longo termo.  
Fonte: Ferraz (2012)

disponibilidade hídrica alocável durante um período de três meses. Como explicitado na descrição da metodologia, a disponibilidade hídrica alocável foi definida como sendo a metade da oferta hídrica estimada com base na probabilidade de permanência de 95%. O gráfico da figura 3 apresenta os percentuais de atendimento da demanda e os volumes hídricos totais referentes à disponibilidade hídrica alocável e à demanda hídrica para a irrigação suplementar de cada microrregião.

A análise dos resultados evidencia que, em todas as microrregiões, a disponibilidade hídrica estimada com base apenas nos volumes hídricos alocáveis, durante um período de 3 meses, é insuficiente para atender a demanda total para a prática da irrigação suplementar da cultura canavieira. Na microrregião do Sudoeste de Goiás a situação continua mais favorável do que nas demais microrregiões, sendo possível o atendimento de até 90% da demanda posta para a generalização da prática da irrigação suplementar nas áreas de irrigação compulsória.

O valor mais expressivo da disponibilidade hídrica alocável, na ordem de 1,6 bilhões de m<sup>3</sup> acumulados durante um trimestre, revela não somente o maior potencial de produção de água como também sugere a maior capacidade de regularização natural das bacias hidrográficas pertencentes à microrregião do Sudoeste de Goiás. Lima *et al.* (2008), que estudaram a variabilidade espaço-temporal da vazão específica média do Estado de Goiás, também destacaram a maior favorabilidade hídrica para a região Sudoeste do Estado, em termos de maior capacidade de geração de vazões, médias anuais e médias dos meses mais secos do ano. De fato, esta afirmação parece ser consistente quando se observa a diferença entre os valores das vazões específicas médias de longo termo e as vazões específicas com 95% de permanência que reflete a capacidade natural de regularização das bacias (MARANHÃO, 2007). As vazões médias de longo termo e as de 95% de permanência refletem, respectivamente, o comportamento

médio e o de base do regime de débitos (MARANHÃO 2007), de modo que, quanto maior o percentual da vazão média que representa a vazão de base, maior será a capacidade de regularização natural das bacias e maiores serão os volumes hídricos alocáveis na estação de vazante. O gráfico da figura 4 apresenta os valores das vazões médias de longo termo e as de 95% de permanência e os percentuais desta em relação à primeira, por microrregião.

A exemplo da microrregião de Sudoeste de Goiás, Quirinópolis também apresenta maior capacidade de regularização natural dos seus sistemas fluviais e, conseqüentemente, uma disponibilidade hídrica mais regular durante o ciclo hidrológico, mesmo, nas estações mais secas do ano. Nas microrregiões de Meia Ponte e Vale do Rio dos Bois, além da menor capacidade de produção de água, também, pode-se observar que os volumes hídricos com permanência de 95% participam com menores percentuais no regime médio de vazões, significando menor

Tabela 5 - Áreas máximas de expansão sustentada por microrregião e indicadores correspondentes

UTA	ÁREAS (ha)				INDICADORES	
	Microrregiões	AMESs	AFS	AMESi	AIC	IADHs
Meia Ponte	0,00	0,00	1.371.286,31	1.371.286,31	NA	1,00
Sudoeste de Goiás	807.960,82	807.960,82	2.388.214,00	2.388.214,00	1,00	1,00
Vale do Rio dos Bois	0,00	0,00	924.244,73	924.244,73	NA	1,00
Quirinópolis	199.789,18	199.789,18	941.099,98	941.099,98	1,00	1,00
Totais	1.007.750,01	1.007.750,01	5.624.845,03	5.624.845,03	1,00	1,00

Nota: Áreas: (i) AIC – Área de Irrigação Compulsória para a Cultura Canavieira; (ii) AMESi – Área Máxima de Expansão para a Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação; (iii) Área Favorável à Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro (iv) AMESs - Área Máxima de Expansão para Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro.

Indicadores: (i) IADHs - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da cultura canavieira em sistema de sequeiro; (ii) IADHi - Índice de Atendimento da Demanda Hídrica da cultura canavieira em sistema de irrigação. Fonte: Ferraz (2012)

capacidade de regularização natural e menores volumes hídricos diretamente alocáveis e disponíveis nas estações mais secas do ano.

A situação de restrição da oferta hídrica, sobretudo, nas estações mais secas no Estado de Goiás também foi observada em LIMA *et al.* (2008) que estudando a variabilidade espaço-temporal da vazão específica média estimaram valores de vazão específica média de longo período entre o intervalo de 10 a 20 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>2</sup>. Para o mês de setembro, normalmente o mais seco do ano, os autores estimaram valores da vazão específica média inferiores a 2,5 e pouco acima de 10 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>2</sup>, para o Noroeste e o Sudoeste do Estado de Goiás, respectivamente. Em outro estudo realizado por Silva *et al.* (2008) foi feita uma avaliação da oferta e da demanda hídrica para o cultivo da cana-de-açúcar no Estado de Goiás.

Os autores ainda exemplificaram a situação de restrição da disponibilidade hídrica do mês de setembro estimando valores de apenas 0,6, 3,0 e 6,0% como sendo a área máxima capaz de ser irrigada simultaneamente em bacias hidrográficas hipotéticas de 1000 km<sup>2</sup> com vazões específicas de 1, 5 e 10 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>2</sup> e uma taxa de captação de água de 1l s<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>.

### Avaliação do Potencial de Expansão Sustentada das

### Unidades Territoriais de Análise para o Desenvolvimento da Cultura Canavieira por Microrregião

O potencial de expansão é estabelecido a partir da relação entre a área máxima capaz de permitir a expansão da cultura canavieira de forma sustentada, ou seja, com pleno atendimento da demanda hídrica projetada e a área total considerada apta para o desenvolvimento da cultura canavieira em sistema de irrigação ou sequeiro, conforme dado pelo Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (MANZATTO, 2009). Em outras palavras, a “área máxima de expansão sustentada” constitui um valor expresso em área que representa um “limiar de sustentabilidade hídrica”. A tabela 5 apresentam os resultados das áreas máximas de expansão para cada microrregião estudada com os respectivos índices indicadores.

Observa-se que, para todas as microrregiões estudadas, como as áreas máximas de expansão sustentada se igualam às áreas favoráveis à cultura canavieira os Índices de Atendimento da Demanda Hídrica da cultura canavieira foram iguais a 1,0 (IADH = 1,0), significando que a demanda projetada de água para a produção potencial da cultura canavieira na

região estudada pode ser totalmente atendida (100%), apesar de que, em alguns casos, terem sido registrados expressivos percentuais de comprometimento da disponibilidade hídrica. Contudo, deve-se ter cautela na interpretação dos resultados, tendo claro em mente que os indicadores apontam para uma situação potencial de sustentabilidade hídrica, no sentido restrito de atendimento da demanda hídrica de uma única atividade agroeconômica isolada, não levando em consideração as demais demandas instaladas ou potenciais, relacionadas a outras atividades econômicas, abastecimento público e demais tipos de uso da água. De qualquer forma, considerando a capacidade total de produção de água, dada pelas vazões permanentes durante 95% do tempo do ciclo hidrológico e pelo aproveitamento dos volumes hídricos médios excedentes, as microrregiões possuem, em termos gerais, pleno potencial de expansão sustentada. Embora, como enfatizado anteriormente, a pressão sobre os recursos hídricos de forma localizada pode ser considerável.

### CONCLUSÕES

Com base nos indicadores do SISH-Cana, o presente estudo de caso permitiu as seguintes conclusões: (i) Considerando as

condições topográficas e a aptidão edafoclimática as microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale dos Rios dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte, apresentam elevado potencial para a expansão da atividade sucroalcooleira; (ii) Na maioria da extensão territorial das microrregiões estudadas, a relativa desfavorabilidade climática induz à necessidade de utilização da prática da irrigação suplementar; (iii) A ocorrência de grandes extensões de área consideradas vulneráveis à contaminação dos aquíferos freáticos constitui uma tendência regional sugerindo um risco potencial de degradação dos recursos hídricos; (iii) As microrregiões Sudoeste de Goiás e Quirinópolis apresentam maior favorabilidade, do ponto de vista da sustentabilidade hídrica, pois, possuem áreas onde a cultura pode ser cultivada em sistema de sequeiro e ainda contam com volumes hídricos disponíveis mais elevados e regulares para suprir a demanda da cultura canavieira nas áreas de irrigação compulsória; (iv) As microrregiões do Vale do Rio dos Bois e Meia Ponte, onde a atividade canavieira também é totalmente dependente da prática da irrigação suplementar, a disponibilidade hídrica é mais restrita, portanto, com menor potencial de sustentabilidade hídrica para a expansão canavieira; (v) A demanda de água estimada para a produção potencial da cultura canavieira nas microrregiões estudadas pode ser totalmente atendida, apesar de que, em alguns casos, terem sido registrados expressivos percentuais de comprometimento da disponibilidade hídrica local.

## AGRADECIMENTOS

Devemos agradecimentos as seguintes instituições que propiciaram os meios e os recursos para a realização do presente trabalho: (i) Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente - PPG-MA da Universidade do Estado

do Rio de Janeiro / UERJ; (ii) Laboratório COSTEL/Universidade Rennes 2 França; (iii) Embrapa; (iv) CNPq.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, M.T. e CASTRO S.S.de. **Vulnerabilidade e impactos ambientais na área de recarga do aquífero Guarani no Estado de Goiás.** Boletim Goiano de Geografia; Goiânia - Goiás – Brasil. v. 29 n.1 p. 135-150 2009.
- BARBALHO, M.G.; CAMPOS, A.B.de. **Vulnerabilidade natural das águas e solos do Estado de Goiás a contaminação por vinhaça utilizados na fertirrigação da cultura de cana-de-açúcar.** In: Boletim Goiano de Geografia, v 30, n.1,p 155-170, jan/jun. 2010
- CARVALHO, E. P. Formulação de uma estratégia para garantir o aumento da produção. In: Seminário "Uma estratégia para o etanol brasileiro". Rio de Janeiro: Casa do Brasil, nov. 2006.
- CASTRO, S.S.; ABDALA K.; SILVA, R.A.A.; BORGES V. **A Expansão da Cana-de-açúcar no Cerrado e no estado de Goiás: Elementos para uma Análise Espacial do processo.** In: Boletim Goiano de Geografia, v 30,n.1,p 171-190, jan/jun. 2010
- CASTRO, S.S.; BORGES, R.O.; SILVA, R.A.A.; BARBALHO, M.G.S. Estudo da expansão da cana de açúcar no estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais. In: II FORUM DE C&T NO CERRADO. **Impactos econômicos, sociais e ambientais no cultivo da cana de açúcar no território goiano.** Goiânia, 2007. v. único. p. 09-17.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Zonamento agroecológico da cana-de-açúcar.** Celso Vainer Manzatto (Org.). Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55 p.

(Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627; 110)

FERRAZ R.P.D. **Sistema de indicadores para a avaliação da sustentabilidade hídrica da expansão canavieira: contribuição metodológica para o planejamento e gestão.** TESE de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente - PPGMA/UERJ. Rio 2012

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; PESSOA, M. C. **Avaliação da vulnerabilidade natural dos solos em áreas agrícolas: subsídio à avaliação do risco de contaminação do lençol freático por agroquímicos.** Revista Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v. 12, p. 169-179, Curitiba, jan. 2002.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola - Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. Abril de 2010.** Rio de Janeiro: IBGE. Abr. 2010. Acesso em 06/08/2010. Disponível em <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistematico\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_%5Bmensal%5D/Fasciculo/Isipa\\_201004.zip](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/Isipa_201004.zip)>

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Projeto CANASAT- Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da terra. Bernardo Friedrich Theodor Rudorff (Coordenador) – Disponível em: <[www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html](http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html)>. Acesso 12/03/ 2010

LIMA J. E. F. W.; SILVA E. M. da; SILVA F. A. M. da; SANO E. E. **Variabilidade espaço-temporal da vazão específica média do Estado de Goiás.** Anais do II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais – IX Simpósio Nacional do Cerrado. Brasília, DF, 2008.

MARANHÃO N. **Sistema de Indicadores para Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas**. Tese de Doutorado Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro 2007 XXV, 397 p.

Nacional do Cerrado. Brasília, DF, 2008.

Recebido em: fev/2012  
Aprovado em: out/2013

MIZIARA, F. Expansão da Lavoura de Cana em Goiás e Impactos Ambientais. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE SOCIOLOGIA. Rio de Janeiro. **Anais do XIV Congresso Brasileiro de Sociologia**, 2009. v. 1. p. 1.

NASSAR, A.M.; RUDORFF, L.B.A.; AGUIAR, D.A.; BACCHI, M.R.P.; ADAMI, M. Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In ZUURBIER, P. and VOOREN, J.V. (Edit) **Sugarcane Ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment**. 1st Ed. Wageningen Publs. Wageningen, 2008. 63-94 p.

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. **Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data**. Remote Sensing. 2010; 2(4):1057-1076. doi: <10.3390/rs2041057>.

SANTOS J.S.dos; AGUIAR D. A. de; ADAMI M.; RUDORFF, B.F.T. **Identificação da dinâmica do uso e cobertura da terra: expansão da cultura da cana-de-açúcar**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.6610

SILVA F. A. M. da; Müller A. G.; LIMA J. E. F. W.; SILVA E. M. da; MARIN F.; LOPES T. S. de S. **Avaliação da oferta e demanda hídrica para o cultivo da cana-de-açúcar no Estado de Goiás**. Anais do II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais – IX Simpósio