

Indicadores para a avaliação do processo de expansão da cultura canavieira no sul do estado de Goiás

Indicators for the assessment of sugarcane crop expansion in the south of Goiás state

RESUMO

Este artigo objetiva avaliar o processo de expansão da cultura da cana-de-açúcar ocorrido em quatro microrregiões da Mesorregião Sul Goiano, a partir da utilização de indicadores propostos pelo Sistema de Indicadores para a Avaliação da Sustentabilidade Hídrica e Monitoramento da Atividade Canavieira - SISH-Cana (FERRAZ, 2012). Foi realizada uma avaliação analítica e comparativa do processo de expansão da cultura canavieira ocorrido no período de 2005/2006 a 2010/2011 nas seguintes microrregiões da Mesorregião Sul Goiano: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte (Unidades Territoriais de Análise). Os resultados dos indicadores sugerem que as proporções de ocupação da cultura canavieira nas microrregiões estudadas ainda são relativamente pequenas em relação às áreas totais dos seus territórios. Sugerem também que o setor sucroalcooleiro tem prioritariamente expandido sobre as áreas mais adequadas, justamente aquelas com declividades inferiores a 12% e com solos de aptidão moderada a preferencial, onde se torna possível desenvolver a atividade canavieira com alto nível tecnológico. Demonstraram também que o processo de expansão da cultura da cana-de-açúcar está ocorrendo principalmente sobre áreas tradicionalmente ocupadas com agricultura, mas, também apontam a tendência de aumento paulatino da substituição de pastagens, enquanto que a supressão de vegetação nativa é relativamente pequena. Considerando o balanço entre a disponibilidade hídrica e a demanda de água da atividade canavieira, os indicadores demonstraram que as microrregiões em apreço possuem margem, em termos de atendimento da demanda hídrica, para que a cultura canavieira possa se desenvolver de forma sustentada independente do sistema de produção considerado.

PALAVRAS-CHAVE: Indicadores ambientais; mudanças de uso da terra; cultura da cana-de-açúcar

ABSTRACT

This article aimed to assess the sugarcane expansion process in four microregions considered sugarcane expansion hotspots in the State of Goiás, Brazil, from the use of indicators proposed by the Indicators System of Sugarcane Water Sustainability Assessment - SISH-Cana (Ferraz, 2012) Thus, it became possible to perform an analytical and comparative evaluation of the sugarcane expansion process occurred in 2005/2006 to 2010/2011 period, in the following microregions of South of the State of Goiás, Brazil: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis and Meia Ponte, adopted as territorial units of analysis. The results of the indicators suggest that the proportions of sugarcane occupation in microregions studied are still relatively small in relation to the total areas of their territories. They also suggest that the sugar-alcohol sector has expanded mainly on the most appropriate areas, precisely those with slope gradients lower than 12 and with soils with preferential agricultural suitability, where it becomes possible to develop sugarcane activity with high technological level. They have also shown that sugarcane expansion process is occurring primarily on areas traditionally occupied with agriculture, but also pointed out the trend of gradual pastures replacement, while the native vegetation removal is relatively small. In relation to the balance between demand and water availability, the results demonstrated the sugarcane culture still has a high possibility to develop in the microregions considered.

KEYWORDS: environmental indicators; land use changes; sugarcane culture

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

O setor sucroalcooleiro nacional beneficiado com as atuais políticas nacionais de estímulo a produção dos biocombustíveis e com a abertura e receptividade do mercado externo ao açúcar e álcool brasileiros, apesar de se ter observado atualmente um momento de relativa retração, atravessa, um novo ciclo de expansão. Entretanto, cabe observar que, de acordo com as tendências da evolução da produção sucroalcooleira no Brasil, o aumento da produção canavieira, necessário para sustentar a emergente expansão do setor, está ocorrendo, preponderantemente, com base na agregação de novas áreas produtoras, visto que, nos últimos anos o setor não tem obtido aumentos substanciais de produtividade que vem se mantendo, na faixa de 82,5 Kg/ha em média. Segundo dados da CONAB da safra de 2009/2010, na região centro-sul, que concentra cerca de 89,6% da produção nacional, o aumento da produção de cana-de-açúcar foi proporcional ao aumento da área plantada.

Por outro lado, o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar (EMBRAPA, 2009) indica que a região Centro-sul e, notadamente, a região Centro-Oeste, ainda possui um grande potencial de expansão, em termos de disponibilidade de áreas e aptidão pedoclimática. Orientado ao monitoramento da expansão da atividade canavieira, o Projeto CANASAT (INPE), tem revelado o deslocando da cultura da cana-de-açúcar para o norte do Estado de São Paulo e alguns pontos da região Centro-Oeste (CANASAT/ INPE; RUDORFF *et al.*, 2004). A figura 1 apresenta o mapa dos *hotspots* da expansão canavieira na porção nacional da bacia hidrográfica do Rio da Prata, elaborado através da interseção dos dados do ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009) com os do CANASAT (INPE; Dados de 2007). Nele pode ser observada a grande

concentração da cultura canavieira, notadamente, no Estado de São Paulo, a expansão para a região Centro-oeste, além da existência de vastas áreas aptas para a expansão da atividade na região Centro-sul.

Outro indicador que estabelece a relevância do setor sucroalcooleiro na economia brasileira e sugere o potencial de competição entre as atividades agrícolas em relação ao uso da terra consiste na proporção relativa de área plantada. A cultura canavieira ocupa a terceira maior área plantada do Brasil, com 9,6 milhões de hectares na safra de 2009/2010 (IBGE, 2010). Além do crescimento nas áreas já tradicionalmente produtoras se verifica uma tendência de expansão da atividade sucroalcooleira para os estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás. Cabe mencionar, no entanto, que o processo de expansão da atividade canavieira tem sido claramente orientado por fatores ambientais, econômicos e logísticos, dentre os quais, pode-se destacar a topografia favorável, a adequada aptidão dos solos, menor custo relativo da terra, incentivos fiscais, localização de usinas sucroalcooleiras e a infraestrutura instalada (SILVA e MIZIARA, 2010, *apud* CASTRO *et al.*, 2010).

Além da relevância ecológica da região Centro-Oeste, que abriga em sua maior extensão o Bioma Cerrado, a mesma, sendo responsável por 44 % da produção nacional de grãos, se notabiliza por conter importantes cidades e polos de desenvolvimento agroeconômico (IBGE, 2010). Por isso, diversos trabalhos têm se preocupado em estudar a dinâmica e a problemática ambiental ensejada pelo crescimento de uma nova atividade agroeconômica em expansão na referida região. Neste contexto, os resultados sugerem que o processo de expansão da cultura canavieira em áreas do Cerrado na região Centro-Oeste do país tem seguido a mesma tendência, em que a cultura da cana-de-açúcar tem ocupado

inicialmente as áreas com topografia adequada e solos mais favoráveis, anteriormente utilizados por outras culturas agrícolas que, aos poucos, e na medida da diminuição da oferta de áreas preferenciais, o processo da expansão tem convertido pastagens em áreas de produção, sobretudo, em áreas onde já conta com uma infraestrutura local, em termos de acesso de bens, insumos e serviços, e, notadamente, a existência de uma rede viária adequada para o escoamento da produção (SANTOS *et al.*, 2011; NASSAR *et al.*, 2008; CASTRO *et al.*, 2010; ABDALA e CASTRO (2010); BORGES, 2010; SILVA e MIZIARA, 2010, ambos, *apud* CASTRO *et al.*, 2010).

A expansão da cultura canavieira sobre a região Centro-Oeste representa, a princípio, uma alternativa técnica e economicamente viável, mas demanda um esforço de ordenamento territorial com vistas à expansão planejada da atividade canavieira, ponderando as condições de sustentabilidade e dos riscos associados aos impactos por conta da dinâmica de mudança de uso do solo em uma região de grande importância ambiental, social e econômica.

Sendo assim, a partir da utilização de índices componentes do módulo B do Sistema de Indicadores para Avaliação do Potencial de Sustentabilidade Hídrica e Monitoramento da Atividade Canavieira - SISH-Cana proposto por Ferraz (2012), o presente artigo realizou uma avaliação analítica, em nível estratégico, do processo de expansão da cultura canavieira ocorrido no período de 2005/2006 a 2010/2011 nas microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte, consideradas como os principais *hotspots* de expansão da atividade canavieira na Mesorregião Sul Goiano.

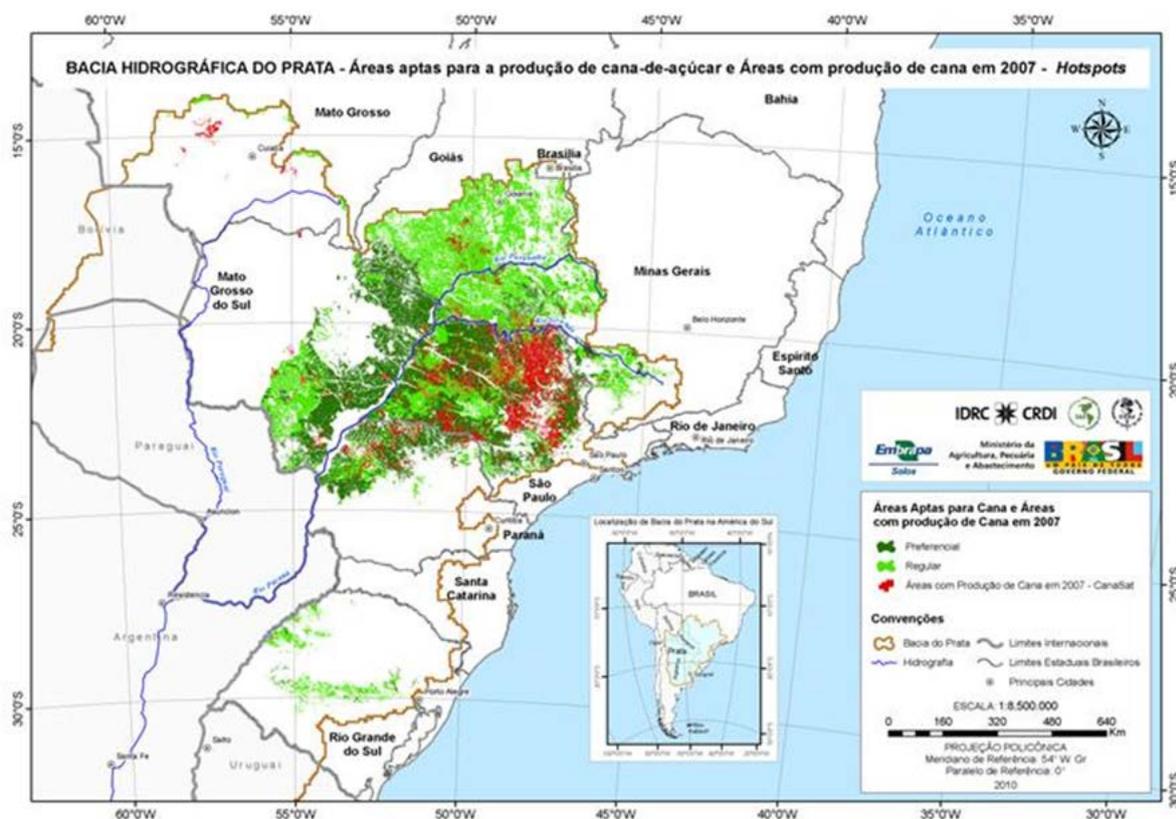


Figura 1 - Áreas aptas ao cultivo da cana-de-açúcar segundo o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar de 2009 e áreas ocupadas pela cultura da cana-de-açúcar (2007). Fonte: MEIRELLES *et al* (2010). <http://mapoteca.cnps.embrapa.br/>; CANASAT-INPE

REVISÃO DA LITERATURA

A tendência de mudança de uso do solo verificada nas microrregiões de interesse neste artigo, onde se observa principalmente a conversão de áreas agrícolas em monocultura da cana-de-açúcar, tem sido também relatada em diversos trabalhos relacionados à expansão canieira na região Centro-Oeste do Brasil. Silva e Miziara (2010) e Castro *et al.* (2010), por exemplo, estudaram o potencial de mudança de uso do solo em função da localização das usinas sucroalcooleiras instaladas no Estado de Goiás. A partir da sobreposição no mapa de Uso e Cobertura do Solo (MMA –PROBIO) de um raio de influência de 40 km ao redor de cada usina registrada pelo MAPA, os primeiros autores sugerem que o processo de expansão canieira, potencialmente, poderia estar

induzindo a perda de 14,38% de áreas ocupadas com outras culturas agrícolas, 7,69% de vegetação nativa de Cerrado e, por fim, 3,67% de pecuária, em relação às áreas estimadas no ano base de 2002. Os segundos autores identificaram duas situações contrastantes para o Estado de Goiás, destacando que na porção norte do estado, a expansão canieira está ocorrendo, predominantemente, sobre as áreas de vegetação nativa de Cerrado e, na porção sul, ocorrendo em substituição às áreas tradicionalmente utilizadas para a produção agropecuária.

Utilizando técnicas de sensoriamento remoto, com imagens de satélites TM/Landsat dos anos de 2007 e 2008, Nassar *et al.* (2008) avaliaram o processo de conversão de áreas ocupadas com culturas agrícolas e pecuária para a cultura da cana-de-açúcar nos estados do Paraná, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso

do Sul. Através de uma matriz de competição entre as diferentes atividades agropecuárias, os autores observaram que, especificamente no Cerrado, a cultura da cana-de-açúcar tem competido, principalmente, com o sistema de produção soja/milho e, secundariamente, com as atividades pastoris (pastagens). Totalizando uma área de expansão de aproximadamente 885,42 mil hectares, os autores verificaram que, no biênio estudado, em todos os estados o processo de expansão da monocultura canieira ocorreu majoritariamente por meio da conversão de áreas antes ocupadas com culturas agrícolas anuais. Estimaram, para todos os estados, a substituição de 56% e 50% de áreas agrícolas e 42% e 48% de áreas com pastagens, convertidas à cultura da cana-de-açúcar nos anos de 2007 e 2008, respectivamente. Entretanto, observam os autores que no ano de 2008, para todos os estados, com

exceção de Goiás, houve um aumento relativo da substituição de áreas de pastagem. Especificamente, para o Estado de Goiás os autores apresentaram valores de conversão de áreas agrícolas e áreas com pastagem da ordem de 70% e 30% para o ano de 2007, e, 76% e 24% para o ano de 2008, respectivamente, indicando ter havido, ao contrário dos demais estados, uma intensificação da substituição das áreas com culturas agrícolas. Valores estes muito próximos dos determinados pelos índices de mudança de uso do solo do sistema de indicadores ora em apresentação. Destacaram, ainda, que MG e GO foram os estados onde o processo de expansão da cultura canavieira, no período estudado, foi mais intenso. Estudos mais localizados na mesorregião, Sul do Estado de Goiás, de interesse deste trabalho, também revelam a mesma tendência.

Abdala e Castro (2010), analisando a evolução do uso do solo na Microrregião de Meia Ponte através de imagens de satélite Landsat TM5, observaram que no primeiro período (2000/2003), 31% da expansão canavieira ocorreu em áreas de culturas temporárias e 26% em áreas de pastagem. No segundo período (2003/2006) a composição da expansão canavieira foi de 28% sobre as áreas de cultura anual contra 18% de pastagem e, no terceiro período (2006/2009), 46% sobre áreas de cultura anual para 27% de pastagem. Os autores concluíram que o processo de expansão da cultura da cana-de-açúcar se deu de forma localizada ocupando inicialmente os melhores solos antes ocupados com culturas anuais de grãos na porção sul e sudoeste da microrregião, onde a aptidão agrícola e a logística são muito mais favoráveis à atividade canavieira. As culturas anuais, por sua vez, se deslocaram para áreas de menor aptidão substituindo antigas pastagens no nordeste da mesma microrregião. Chamaram ainda a atenção para o fato de que, apesar

dos dados da Microrregião de Meia Ponte como um todo, indicarem certa proporcionalidade nas áreas de expansão de cana-de-açúcar e retração da pastagem, sugerindo ter havido efetiva substituição das áreas de pastagem por cana-de-açúcar, o que de fato se observou neste período, segundo eles, foi uma substituição indireta por conta do deslocamento das culturas anuais sobre as pastagens do noroeste da microrregião. Após este período inicial, com a diminuição da oferta das áreas melhores, a cana-de-açúcar começou também a avançar sobre áreas de pastagens na porção sul e sudoeste da microrregião de Meia Ponte.

Na microrregião de Quirinópolis, as áreas de pastagem também vêm sendo convertidas diretamente para a cultura canavieira após a diminuição da oferta de áreas melhores ocupadas com culturas agrícolas, porém a agricultura anual e a pecuária estariam supostamente migrando para fora da microrregião (CASTRO *et al.*, 2010). Segundo estes autores, nas microrregiões de Quirinópolis e Meia Ponte a expansão canavieira tem induzido predominantemente a substituição de culturas anuais por cana-de-açúcar, confirmando a tendência do Sul do estado, entretanto, salientam que em Quirinópolis o processo de substituição de culturas de grãos e pastagens se iniciou mais tarde, a partir de 2004, e, está ocorrendo de forma mais equilibrada. Conforme Abdala e Castro (2010) e Borges (2010), este citado por Castro *et al.* (2010), os resultados mostram que a cana-de-açúcar, prioritariamente, está substituindo as áreas antes ocupadas pelos grãos, em particular a soja, e secundariamente as pastagens.

Santos *et al.* (2011), trabalhando com uma metodologia diferente, baseada na utilização de séries temporais de imagens do produto *Enhanced Vegetation Index 2* (EVI2), geradas a partir dos dados do sensor MODIS referentes ao

período de 2000 a 2009, identificaram diferentes padrões de mudança de uso do solo relacionados à expansão canavieira. Os padrões de conversão de uso do solo foram determinados apenas nos polígonos identificados como “áreas de expansão de cana-de-açúcar” determinados a partir dos dados do Projeto CANASAT do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), conforme descrito em Rudorff *et al.* (2010), nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul nos anos de 2005 a 2010. Por meio dos perfis temporais foram identificados seis padrões principais de mudança de uso do solo relacionada à expansão canavieira nos estados do MT e MS. A maioria dos padrões de conversão (40,2%) indicou que a maior parte das áreas de expansão tinha sido anteriormente utilizada como pastagem. Os autores concluíram que a partir do ano safra 2004/2005 as áreas de cana-de-açúcar começaram a ocupar as áreas de pastagem, porém, a intensificação deste processo ocorreu a partir do período 2006/2007. Por outro lado, as áreas que vinham, desde o ano 2000, sendo cultivadas com culturas agrícolas (10,5%) foram sendo convertidas em cana-de-açúcar. O máximo dessa conversão foi registrado, de forma coincidente com a intensificação da conversão pastagem-cana, no ano agrícola 2006/2007. Foram identificados também, a partir do período 2002/2003, padrões em que a pastagem não é substituída diretamente pela cultura canavieira (17,6%), havendo a detecção de alguma cultura agrícola intermediária antes de ceder espaço para a cultura canavieira, característica esta que, segundo os autores, pode ser atribuída a uma forma de manejo, adotada talvez para a melhoria do solo, antecedente ao cultivo da cana-de-açúcar. Quando esse período intermediário durou no mínimo durante três anos foi considerado como conversão de culturas

Tabela 1 - Indicadores para o Monitoramento do Processo de Expansão da Atividade Canavieira - SISH-Cana

| INDICADORES | FÓRMULAS |
|---|--|
| IOCC - Índice de Ocupação da Cultura Canavieira | $IOCC = Stc/Stu$ |
| IECC - Índice de Expansão da Cultura Canavieira | $IECC = (Stc-Stca)/Stu$ |
| ISAA - Índice de Substituição de Áreas Agrícolas | $ISAA = (Sca-Sac)/(Sec+Src)$ $ISAA^* = Sca/Sec$ |
| ISAP - Índice de Substituição de Áreas com Pastagens | $ISAP = (Scp-Spc)/(Sec+Src)$ $ISAP^* = Scp/Sec$ |
| ISVN - Índice de Supressão de Vegetação Nativa | $ISVN = Ssv/Sec$ |
| IEAC - Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira | $IEAC = Seac/Sec$ |
| Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em sistema de sequeiro | $IESCs = Scs/Smes$ |
| Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em sistema de irrigação | $IESCi = Sci/Smei$ |

Nota: (i) Stc = área total da cultura canavieira; (ii) Stu = área total da unidade territorial de análise; (iii) Stca = área total da cultura canavieira no ano anterior; (iv) Sca = área de substituição de culturas agrícolas pela cultura da cana-de-açúcar; (v) Sac = área de substituição da cultura da cana-de-açúcar por culturas agrícolas; (vi) Scp = área de substituição de pastagens pela cultura da cana-de-açúcar; (vii) Spc = área de substituição da cultura da cana-de-açúcar por pastagens; (viii) Ssv = área de supressão de vegetação nativa em função da expansão da cultura canavieira; (ix) Sec = área de expansão da cultura canavieira; (x) Src = área de retração da cultura canavieira; (xi) Seac = área de expansão adequada da cultura canavieira; (xii) Scs = área da cultura canavieira em sistema de sequeiro; (xiii) Sci = área da cultura canavieira em sistema de irrigação; (xiv) Smes = área máxima de expansão sustentada para a cultura canavieira em sistema de sequeiro; (xv) Smei = área máxima de expansão sustentada para a cultura canavieira em sistema de irrigação. ISAA* e ISAP* correspondem as fórmulas simplificadas, quando não há retração da cultura canavieira. Fonte: Ferraz (2012)

agrícolas para cana-de-açúcar (12,6%).

Como exposto, vários trabalhos têm apresentado resultados que sugerem que o processo de expansão da cultura canavieira em áreas do Cerrado na região Centro-Oeste do país tem seguido a mesma tendência, em que a cultura da cana-de-açúcar inicialmente tem ocupado as áreas com topografia adequada e solos mais favoráveis anteriormente utilizados por outras culturas agrícolas, e que aos poucos, na medida da diminuição da oferta de áreas preferenciais, o processo da expansão da cultura canavieira tem convertido pastagens em áreas de produção, podendo ou não também ser ocupadas pelas culturas anuais que foram deslocadas das melhores áreas.

METODOLOGIA

A metodologia referente à proposição e elaboração do Sistema

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

O 1º Grupo de Indicadores do Módulo B do SISH-Cana contem dois índices (IOCC e IECC) que, em relação à área total, indicam a

proporção de ocupação e expansão da cultura canavieira nas Unidades Territoriais de Análise em apreciação. Os dados e informações para o cálculo dos indicadores supracitados podem ser extraídos diretamente do Projeto CANASAT do INPE/DSR/LAF que os disponibiliza na forma tabulada no site: www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html. Entretanto, neste estudo de caso, as estimativas das áreas de ocupação e expansão da cultura canavieira foram realizadas, com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento, diretamente a partir dos *shapes* das áreas canavieiras disponibilizados pelo LAF/DSR/INPE, para a região estudada e o período de 2005/2006 a 2010/2011, conforme descrito em Ferraz (2012).

O 2º Grupo de Indicadores do Módulo B do SISH-Cana contem dois índices (ISAA e ISAP) que indicam, em relação ao somatório da área de expansão e retração da cultura canavieira, o saldo de

substituição mútua entre atividades agrícolas ou pastagens e a cultura canavieira. Um terceiro índice sinaliza para a proporção da supressão de áreas com vegetação nativa em função da expansão canavieira (ISVN). Cumpre esclarecer que para efeito deste estudo de caso foram utilizadas as fórmulas simplificadas, uma vez que, as áreas de retração da cultura canavieira, ou seja, perda de áreas para outras atividades agrícolas ou pecuárias foram desprezíveis em comparação com as áreas de expansão da cultura canavieira. Os dados para o cálculo dos indicadores supracitados foram extraídos a partir da elaboração de uma base cartográfica de referência de Uso da Terra e Cobertura do Solo para o ano-agrícola base de 2005/2006 obtida a partir dos dados do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO (disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/download.htm>), ano base 2002, e dados do Projeto CANASAT (INPE/DSR/LAF) dos anos-agrícolas base 2005/2006 e 2010/2011, conforme Ferraz (2012).

O 3º Grupo de Indicadores do Módulo B do SISH-Cana contém apenas um índice (IEAC) que indica a proporção da área de expansão da cultura canavieira que ocorreu sobre áreas de topografia adequada e aptidão edáfica média e alta nas Unidades Territoriais de Análise em apreciação. Os dados para o cálculo deste indicador foram extraídos a partir da interseção da base cartográfica de referência do Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar – ZAE-Cana (EMBRAPA, 2009) com o *shape* da Área de Expansão da Cultura Canavieira ano-agrícola base de 2010/2011 obtida a partir dos dados do Projeto CANASAT (INPE/DSR/LAF), conforme Ferraz (2012).

O 4º Grupo de Indicadores do Módulo B do SISH-Cana contém dois índices que indicam a proporção da ocupação da cultura canavieira em relação à “Área

Máxima de Expansão Sustentada” para atividade canavieira em sistema de sequeiro ou irrigação suplementar nas Unidades Territoriais de Análise em apreciação. Os dados para o cálculo dos indicadores supracitados foram obtidos a partir da interseção do *shape* da Área de Expansão da Cultura Canavieira ano-agrícola base de 2010/2011 obtida a partir dos dados do Projeto CANASAT (INPE/DSR/LAF) com a base das unidades políticas (IBGE: disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/download/geociencias.shtml>) e de procedimentos de estimativa do atendimento da demanda hídrica por sistema de produção descrito, conforme descrito por Ferraz (2012). 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*.

O procedimento analítico para a avaliação do processo de expansão da cultura canavieira utilizado neste estudo foi subdividido nos seguintes tópicos: (i) Avaliação da área de ocupação, intensidade e adequação do processo de expansão da cultura canavieira; (ii) Avaliação do processo de substituição de atividades agrícolas e mudança do uso do solo; (iii) Monitoramento do processo de expansão sustentada da cultura canavieira.

Foi conduzido um estudo de caso para a avaliação analítica e comparativa do processo de expansão da cultura canavieira em quatro microrregiões da Mesorregião Sul Goiano, GO: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte, ocorrido, no período de 2005/2006 a 2010/2011. A localização geográfica da Mesorregião Sul Goiano e referidas microrregiões, assim como, a área de expansão da cultura canavieira no período estudado são apresentadas nos mapas da figura 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação da área de ocupação, intensidade e adequação do processo de expansão da cultura canavieira.

A partir dos indicadores: (i) IOCC - Índice de Ocupação da Cultura Canavieira; (ii) IECC - Índice de Expansão da Cultura Canavieira; (iii) IEAC - Índice de Expansão Adequada da Cultura Canavieira foi realizada a avaliação da situação de ocupação, intensidade e adequação do processo de expansão da cultura canavieira. A tabela 2 apresenta os valores absolutos das áreas de ocupação e de expansão com os respectivos indicadores por microrregião.

A observação da situação da cultura da canavieira no ano agrícola de 2010/2011 revela que,

Tabela 2- Áreas de ocupação, expansão Total, expansão adequada e indicadores correspondentes

| UTA | ÁREAS (ha) | | | | INDICADORES | | |
|----------------------|------------|------------|------------|---------------|-------------|------|------|
| | AECa | AECt | AOct | ATU | IOCC | IECC | IEAC |
| Meia Ponte | 112.638,65 | 116.343,94 | 150.154,94 | 2.116.556,00 | 0,07 | 0,05 | 0,97 |
| Sudoeste de Goiás | 96.615,54 | 109.854,32 | 153.425,32 | 5.611.153,00 | 0,03 | 0,02 | 0,88 |
| Vale do Rio dos Bois | 47.180,07 | 50.173,93 | 80.908,93 | 1.360.860,00 | 0,06 | 0,04 | 0,94 |
| Quirinópolis | 92.668,38 | 104.436,81 | 104.436,81 | 1.606.810,00 | 0,06 | 0,06 | 0,89 |
| Totais | 349.102,64 | 380.809,00 | 488.926,00 | 10.695.379,00 | 0,05 | 0,04 | 0,92 |

Nota: Áreas: (i) ATU – Área Total da Unidade Territorial de Análise; (ii) AOct – Área Total de Ocupação da Cultura Canaveira; (iii) Área Total de Expansão Cultura Canaveira; (iv) AECa - Área de Expansão Adequada da Cultura Canaveira. Indicadores: (i) IOCC – Índice de Ocupação da Canaveira; (ii) IECC – Índice de Expansão da Cultura Canaveira; (iii) IEAC – Índice de Expansão Adequada da Cultura Canaveira. Fonte: Ferraz (2012)

em termos absolutos, a microrregião de Sudoeste de Goiás com, aproximadamente, 153 mil hectares, possui a maior área atualmente ocupada com a cultura da cana-de-açúcar, seguida das microrregiões de Meia Ponte, Quirinópolis e Vale do Rio dos Bois com 150, 104 e 80 mil hectares, respectivamente.

Em termos relativos, as proporções de ocupação da cultura

canaveira nas microrregiões estudadas ainda são relativamente pequenas em relação às áreas totais dos seus territórios. Destacam-se as microrregiões de Sudoeste de Goiás, com 3%, e a de Meia Ponte com 7%, como a de menor e maior proporção de área ocupada com a cultura canaveira, respectivamente. Quirinópolis e Vale do Rio dos Bois possuem valores intermediários,

figurando, ambas, com 6% dos seus territórios ocupados com a cultura da cana-de-açúcar. Contudo, a despeito dos valores percentuais de ocupação da cultura da cana-de-açúcar ainda serem relativamente pequenos, devido às grandes extensões territoriais das microrregiões estudadas, o processo de expansão foi bastante expressivo, tendo sido convertidos para as

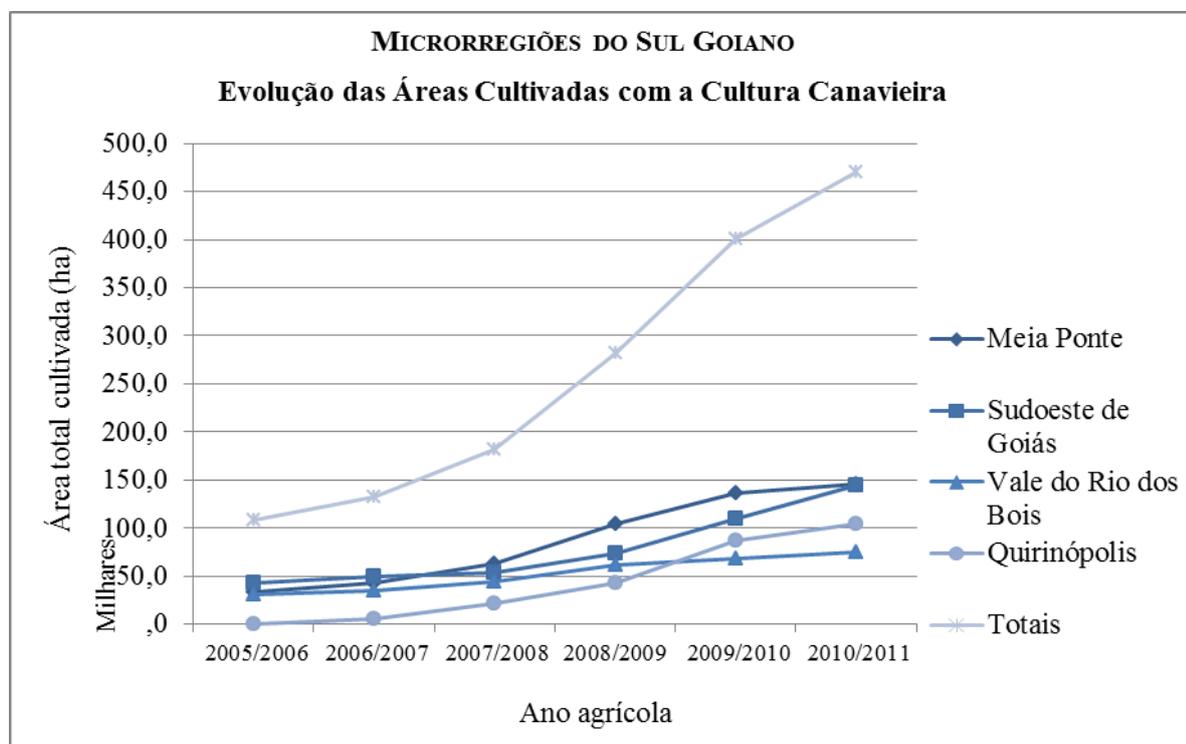


Figura 3 - Gráfico: Evolução das áreas cultivadas com a cultura canaveira entre o período dos anos agrícolas de 2005/2006 e 2010/2011, por microrregião e total. Fonte: Ferraz (2012) com dados de CANASAT (INPE) - www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html.

Tabela 3 - Índices e áreas de expansão da cultura canavieira sobre áreas agrícolas, pastagens e vegetação nativa

| UTA | ÁREAS (ha) | | | | INDICADORES | | |
|----------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------|------|
| | AECv | AECp | AECa | AECt | ISAA | ISAP | ISVN |
| Meia Ponte | 1.563,11 | 34.130,53 | 80.650,30 | 116.343,94 | 0,69 | 0,29 | 0,01 |
| Sudoeste de Goiás | 7.634,11 | 32.230,61 | 69.989,61 | 109.854,32 | 0,64 | 0,29 | 0,07 |
| Vale do Rio dos Bois | 1.661,58 | 18.846,85 | 29.665,49 | 50.173,93 | 0,59 | 0,38 | 0,03 |
| Quirinópolis | 1.354,02 | 68.562,89 | 34.519,91 | 104.436,81 | 0,33 | 0,66 | 0,01 |
| Totais | 12.212,82 | 153.770,88 | 214.825,30 | 380.809,00 | 0,56 | 0,40 | 0,03 |

Nota: Áreas: (i) ATU – Área Total da Unidade Territorial de Análise; (ii) AECa - Área de Expansão da Cultura Canavieira sobre Áreas de Culturas Agrícolas; (iii) AECp - Área de Expansão da Cultura Canavieira sobre Áreas de Pastagem; (iv) Área de Expansão da Cultura Canavieira sobre Áreas de Vegetação Nativa. Indicadores: (i) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (ii) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (iii) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa. Fonte: Ferraz (2012)

quatro microrregiões cerca de 380 mil hectares à cultura canavieira no período de 2005/2006 a 2010/2011. Neste particular, Quirinópolis registra um processo vertiginoso, onde os 104 mil ha atualmente cultivados com a cultura da cana-de-açúcar foram sendo agregados à atividade canavieira justamente no período 2005/2006 a 2010/2011. Nas demais microrregiões, o processo de expansão no período foi igualmente acentuado, tendo sido convertidos 2, 4 e 5% das áreas totais à cultura canavieira, equivalendo a 109, 50 e 116 mil hectares para Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois e Meia Ponte, respectivamente.

Cabe salientar que, para a correta interpretação da magnitude do processo de expansão para o qual o indicador IECC aponta, deve-se ter claro em mente a ordem de grandeza da área total da Unidade Territorial de Análise que se está apreciando. Visto que os Índices de área de expansão da cultura canavieira expressam justamente a proporção das áreas de expansão em relação a áreas totais das UTAs. Por esta razão, valores percentuais, como os registrados, podem parecer pouco expressivos, mas, se referem a aumentos de área em valores absolutos consideráveis. Por esta razão e para melhor observar o processo de expansão que ocorreu nas microrregiões estudadas, durante o período especificado, o

gráfico da figura 3 apresenta os valores, ano a ano, das áreas ocupadas com a cultura canavieira.

A observação das curvas do gráfico da figura 3 revela que houve taxas de crescimento da cultura canavieira, para todas as microrregiões estudadas, mais acentuadas a partir do ano agrícola de 2007/2008. Interessante notar também que o processo de expansão no período estudado em todas as microrregiões ocorreu, majoritariamente, sobre áreas consideradas tecnicamente adequadas para cultura canavieira de acordo com os critérios de aptidão adotados. Deste modo, para as microrregiões de Meia Ponte, Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois e Quirinópolis o processo de expansão ocorreu de maneira adequada em 97, 88, 94, 89% das áreas totais de expansão registradas, respectivamente.

Os valores dos Índices de Expansão Adequada da Cultura Canavieira registrados para as microrregiões e período estudados sugerem que o setor sucroalcooleiro de forma articulada e planejada tem prioritariamente avançado sobre as melhores áreas, justamente, aquelas com declividades inferiores a 12% e com solos de aptidão preferencial e moderada, onde se torna possível desenvolver a atividade canavieira com alto nível tecnológico. Os indicadores também permitem concluir que, potencialmente, em

92% da área total plantada pode ser empregada a colheita mecanizada, diminuindo, por um lado, os efeitos negativos da queima da palhada da cana-de-açúcar, mas por outro, diminuindo também os postos de trabalho relacionados à substituição da colheita manual pela mecanizada.

Avaliação do processo de substituição de atividades agrícolas por mudança do uso do solo

A partir dos indicadores (i) ISAA – Índice de Substituição de Áreas Agrícolas; (ii) ISAP – Índice de Substituição de Áreas com Pastagens; (iii) ISVN – Índice de Supressão de Vegetação Nativa foi realizada a avaliação do processo de substituição de atividades agrícolas e supressão da vegetação nativa em função da expansão da cultura canavieira nas regiões e período especificados. A tabela 3 apresenta os resultados em termos de áreas absolutas e os indicadores correspondentes.

Cumpramos ressaltar que os valores dos indicadores ISAA, ISAP e ISVN apresentados no presente estudo de caso, devem ser tomados com certo cuidado e reserva, uma vez que, como explicitado anteriormente, a metodologia utilizada a partir da interseção das bases derivadas do mapa de uso e cobertura do PROBIO (2002) e dos

Tabela 4 - Áreas máximas de expansão sustentada e indicadores correspondentes

| UTA | ÁREAS (ha) | | | | INDICADORES | |
|----------------------|------------|--------------|------------|--------------|-------------|-------|
| | AOCs | AMESs | AOCi | AMESi | IESCi | IESCi |
| Microrregiões | | | | | | |
| Meia Ponte | 0,00 | 0,00 | 150.154,94 | 1.371.286,31 | NA | 0,11 |
| Sudoeste de Goiás | 38.187,87 | 807.960,82 | 118.783,76 | 2.388.214,00 | 0,05 | 0,05 |
| Vale do Rio dos Bois | 0,00 | 0,00 | 80.908,93 | 924.244,73 | NA | 0,09 |
| Quirinópolis | 4.583,40 | 199.789,18 | 99.853,42 | 941.099,98 | 0,02 | 0,11 |
| Totais | 42.771,26 | 1.007.750,01 | 449.701,04 | 5.624.845,03 | 0,04 | 0,08 |

Nota: Áreas: (i) AMESi – Área Máxima da Expansão Sustentada na Área de Irrigação Compulsória; (ii) AOCi - Área de Ocupação da Cultura Canaveira na Área de Irrigação Compulsória; (iii) AMESs – Área Máxima da Expansão Sustentada na Área Favorável ao Sistema de Sequeiro; (iv) AOCs - Área de Ocupação da Cultura Canaveira na Área Favorável ao Sistema de Sequeiro. Indicadores: (i) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canaveira em Sistema de Irrigação; (ii) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro.

dados de monitoramento do CANASAT não permitiu obter elevada acurácia na estimativa qualificada das áreas substituídas, sobretudo, na estimativa das áreas de supressão de vegetação nativa que, por serem obtidas pela interseção de polígonos normalmente menores, podem ter induzido erros proporcionalmente maiores. Entretanto, considerando o fato de se tratar de indicadores orientados ao nível estratégico e para efeito de demonstração da aplicação do sistema de indicadores, ora proposto, considerou-se satisfatórios os valores apresentados como estimativos da ordem de grandeza e determinação da tendência geral do processo de mudança de uso do solo que se deseja descrever.

Variando entre 1% e 7% da área total de expansão registrada no período, os percentuais de supressão de vegetação nativa para abrir lugar para a cultura canaveira demonstram que o processo da expansão canaveira na mesorregião estudada está ocorrendo, prioritariamente, em áreas antropizadas que já vinham sendo utilizadas com agricultura ou pecuária.

Considerando as quatro microrregiões em conjunto, os indicadores de mudança de uso do solo revelam que durante o período

dos anos agrícolas de 2005/2006 a 2010/2011, 56% da área de expansão da cultura canaveira ocorreu sobre áreas antes ocupadas por culturas agrícolas, 40% sobre áreas de pastagens e, em apenas 3% da área houve supressão de vegetação nativa para dar lugar à cultura da cana-de-açúcar. Observando cada microrregião em particular, com a exceção de Quirinópolis, onde a área de substituição de pastagens foi o dobro da área de substituição de culturas agrícolas, 66% e 33%, respectivamente, as demais microrregiões seguiram a tendência regional, registrando valores superiores para a substituição de áreas agrícolas do que para as de pastagem pela cultura da cana-de-açúcar.

Em síntese, os resultados de substituição, prioritária e secundária para as culturas anuais e pastagens, respectivamente, indicados pelos índices de mudança de uso do solo utilizados neste estudo de caso são bastante consistentes com os demais estudos destacados na revisão da literatura apresentada. Entretanto, devido ao período adotado de seis anos (2005/2006 a 2010/2011) a tendência de aumento paulatino de substituição de pastagens não foi captada pelos indicadores.

Avaliação do processo de expansão sustentada da cultura canaveira

A partir dos indicadores: (i) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canaveira em Sistema de Irrigação; (ii) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canaveira em Sistema de Sequeiro foi realizada a Avaliação do processo de expansão sustentada da cultura canaveira para as microrregiões e período especificados. Considerando o balanço entre a disponibilidade hídrica e a demanda de água da atividade canaveira, os indicadores demonstraram que as microrregiões em apreço possuem margem, em termos de atendimento da demanda hídrica, para que a cultura canaveira possa se desenvolver de forma sustentada independente do sistema de produção considerado. Esta evidência é explicada pelo fato de que as áreas atualmente ocupadas pela cultura canaveira ainda são muito pequenas em relação às áreas totais favoráveis ao cultivo da cana-de-açúcar, discriminadas em áreas favoráveis ao sistema de sequeiro e áreas de irrigação compulsória, as quais se equivalem às “áreas máximas de expansão sustentada” estabelecidas para cada sistema de produção explicitado. A tabela 4 apresenta os

resultados das áreas de expansão sustentada e indicadores correspondentes.

Assim, para a região como um todo, apenas 4% e 8% das áreas máximas de expansão sustentada estão hoje ocupados, respectivamente, nas áreas favoráveis ao sistema de sequeiro e de irrigação compulsória. Para as microrregiões esta relação varia de 5 a 11% para as áreas de irrigação compulsória e de 2 a 5% para as áreas favoráveis ao sistema de cultivo em sequeiro.

CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu concluir que o processo de expansão da cultura canavieira ocorrido nas microrregiões Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte no período de 2005/2006 a 2010/2011 revela que: (i) A área atualmente ocupada pela atividade canavieira é ainda relativamente pequena em relação ao total das áreas das microrregiões, mas, a intensidade do processo de expansão foi considerável no período especificado; (ii) O processo ocorreu, majoritariamente, sobre áreas consideradas adequadas do ponto de vista da aptidão agrícola; (iii) O processo ocorreu, principalmente, sobre áreas antes ocupadas tradicionalmente por outras culturas agrícolas e, secundariamente, sobre área de pastagens. A supressão de vegetação nativa para dar lugar à cultura canavieira foi relativamente pequena; (iv) O período adotado (2005/2006 a 2010/2011) não foi suficiente para que os indicadores captassem a tendência de aumento paulatino de substituição de pastagens. (v) Considerando o balanço entre a disponibilidade hídrica e a demanda de água da atividade canavieira, as microrregiões em apreço possuem ainda considerável margem, em termos de atendimento da demanda hídrica, para que a cultura canavieira possa se desenvolver de forma

sustentada, independente do sistema de produção considerado.

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; (v) Laboratório de Agricultura e Floresta LAF/DSR/INPE.

REFERÊNCIAS

ABDALA, K.; CASTRO, S.S. Dinâmica de uso do solo da expansão sucroalcooleira na Microrregião Meia Ponte, estado de Goiás, Brasil. In VI SEM. LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, Portugal, maio de 2010. Anais. Disponível em <http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/klaus>. Acesso em 02 de julho de 2010.

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

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Perfil do Setor de Açúcar e Alcool no Brasil, Brasília: CONAB. Disponível em www.conab.gov.br Acesso em 12/05/2010.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Zoneamento 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

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_la_%5Bmensal%5D/Fasciculo/lspa_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>. Acesso 12/03/2010

MMA- Ministério do Meio Ambiente. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira - PROBIO (disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/dadownload.htm>) Acesso 24/06/2008

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.

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

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