



ABES RBCiamb

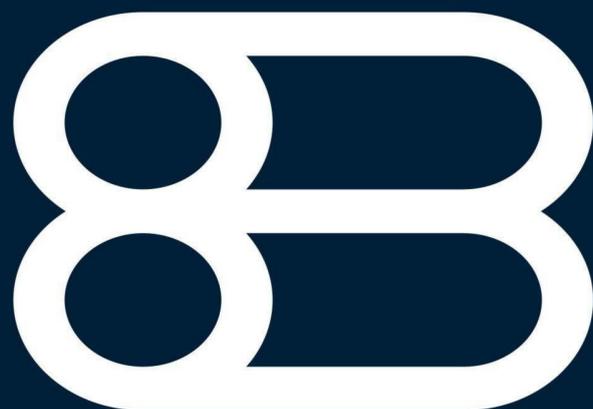
EDIÇÃO 29

Setembro/13

Revista Brasileira de Ciências Ambientais

ISSN Impresso 1808-4524

ISSN Eletrônico 2176-9478



ABES

Revista Brasileira Ciências Ambientais



www.ictr.org.br

www.fsp.usp.br/siades

ISSN Impresso 1808-4524 / ISSN Eletrônico: 2176-9478

Setembro de 2013 Nº 29

Expediente

Editores

- *Jorge Alberto Soares Tenório (USP)*
jtenorio@usp.br
- *Denise Crocce Romano Espinosa (USP)*
espinosa@usp.br
- *Valdir Fernandes (UP)*
vfernandes@up.edu.br

Secretaria Editorial

- *Soraia Fernandes*

Editores

- *Soraia Fernandes*

Comissão Editorial

- *Andrea Moura Bernardes (UFRGS)*
- *Arlindo Philippi Jr. (USP)*
- *Carlos Alberto Cioce Sampaio (PUC/PR)*
- *Celina Lopes Duarte (IPEN)*
- *Cláudio Augusto Oller do Nascimento (USP)*
- *Maria do Carmo Sobral (UFPE)*
- *Sérgio Martins (UFSC)*
- *Tadeu Fabrício Malheiros (USP)*

Submissão de artigos, dúvidas e sugestões:

rbciamb@gmail.com

Instruções para autores

http://www.rbciamb.com.br/instrucoes.asp

Revista Brasileira Ciências Ambientais



www.ictr.org.br

www.fsp.usp.br/siades

ISSN Impresso 1808-4524 / ISSN Eletrônico: 2176-9478

Setembro de 2013 Nº 29

Expediente Edição Especial Etanol

Editor Convidado

- *Tadeu Fabrício Malheiros (USP)*
tmalheiros@usp.br

Secretaria Editorial

Mayra Rodrigues Silva

Editoração

Soraia Fernandes

Comissão Científica

Alberto Graciano Cabral
Alcineu Lucchino
Aldo Ometto
Alejandro Dorado
Alexandre de Oliveira e Aguiar
Alexandre Hodja
Amarilis Lucia Gallardo
Ana Luiza Spinola
Ana Paula Turetta
Angélica Benatti Alvim
Antonio Manuel Santos Oliveira
Carla Grigoletto Duarte
Carlos Alberto Cioce Sampaio
Clauciana Schimdt
Claudia Ruberg
Cristiano Poletto
Daniel Bertoli Gonçalves
Daniel Caixeta Andrade
Edson Pereira Tangerino
Eugênio Batista Leite
Fausto Mizziara
Flávio Luiz Cunha
Frederico Yuri Hannai
Glória Néspoli
Jacqueline Bringhenti
Janete Briganti
José Cândido Stevaux
José Paulo Pietrafesa

Juliana Pellegrini Cezare
Katia Canil
Laudemira Ribeiro
Leandro Gonçalves Oliveira
Leandro Luiz Giatti
Lisete Celina Lange
Marcelo Braga
Márcio Rodrigues Lambais
Maria Cristina Hayashi
Maria Leonor Assad
Maria Luiza Padilha
Mario Alejandro Perez Rincón
Martin Mundo Neto
Nemésio Salvador
Orencio Monje Vilar
Paulino Barroso Medina Jr
Rafaela Rosseto
Roberta Signini
Ruby Criollo
Sebastião Neto Ribeiro Guedes
Selma Castro
Sérgio Roberto Martins
Silvio Crestana
Sonia Coutinho
Taiane Darós
Tatiane Veiga
Tiago Cetrulo
Valdir Schalch

Revista Brasileira Ciências Ambientais



www.ictr.org.br

www.fsp.usp.br/siades

ISSN Impresso 1808-4524 / ISSN Eletrônico: 2176-9478

Setembro de 2013 Nº 29

Revista Brasileira de Ciências Ambientais Especial Etanol

As preocupações com o uso intensivo de energias não renováveis e seus impactos ambientais estão no foco das discussões sobre ambiente e desenvolvimento nas últimas décadas. Entre os fatores de motivação deste movimento, destaca-se a emissão de gases de efeito estufa como uma das questões mais presentes neste contexto das mudanças globais do clima. No entanto, a inserção da sustentabilidade no setor dos biocombustíveis vai certamente além da redução das emissões de gases de efeito, pois se refere à premissa de um enfoque integrado das várias dimensões do desenvolvimento sustentável. O Brasil tem se destacado pelos esforços em reduzir seus índices de emissão de gases de efeito estufa, em função do elevado percentual de participação de fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira, em especial, a hidrelétrica, e mais recentemente o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar. Ao mesmo tempo, o consumo de etanol aumentou expressivamente nos últimos anos, principalmente com a entrada dos carros *flexfuel* no mercado em 2003. Esta crescente demanda pelo biocombustível etanol tem impulsionado pesquisas sobre diversos aspectos relacionados ao setor, tais como mudanças no uso do solo, justiça ambiental, segurança alimentar, qualidade ambiental, e a própria capacidade suporte dos ecossistemas associados. Assim, a análise e avaliação dos impactos socioambientais do uso do etanol comparado a combustíveis fósseis não deve se restringir aos benefícios trazidos pela menor emissão de gases de efeito estufa, já que os principais impactos - positivos e negativos - da produção etanol são de caráter complexo e crônico. Desta forma, estudos alinhados à ideia da avaliação de sustentabilidade vêm sendo desenvolvidos, de forma a responder à necessidade de um olhar mais

sistêmico sobre as políticas e as respectivas ações antrópicas. No Brasil o tema da sustentabilidade dos biocombustíveis tem recebido apoio de agências de fomento à pesquisa, como CNPQ, CAPES, e a FAPESP. Pode ser citado o exemplo do Programa FAPESP de Pesquisa em Bioenergia (BIOEN), lançado em 2008, que objetiva estimular e articular atividades de pesquisa e desenvolvimento utilizando laboratórios acadêmicos e industriais para promover o avanço do conhecimento e sua aplicação em áreas relacionadas à produção de bioenergia no Brasil. Tomadores de decisão, sociedade e instituições de planejamento e gestão têm demandado o desenvolvimento de inovação tecnológica e em gestão que respondam às especificidades do contexto sucroalcooleiro na interface dos biocombustíveis e sustentabilidade para a realidade brasileira. E é exatamente aqui que esta edição da RBCiAmb – Revista Brasileira de Ciências Ambientais pretende contribuir, ao trazer um conjunto de artigos que abordam diferentes aspectos relacionados à questão do etanol no Brasil. O artigo "Ensaio sobre a evolução da postura ambiental do setor sucroenergético" apresenta um panorama de como governo, sociedade e empresas vêm se organizando para responder às inquietações ambientais e sociais do setor, os avanços nas últimas décadas e alguns desafios ainda por serem tratados. O artigo "Pasivos ambientales en la agroindustria de la caña de azúcar y el etanol en Colombia" traz o contexto sócio ambiental do setor da cana de açúcar na Colômbia, com especial atenção à dívida ambiental na região do Vale del Cauca, e neste sentido abre oportunidades de intercâmbio internacional nesta temática. O artigo "Efeitos do etanol para além da economia: um estudo de caso em Piracicaba (SP-Brasil)" trata o tema de forma qualitativa

a partir do estudo de caso numa região no interior paulista, apontando importantes mudanças no cotidiano rural do município, e destaca um conjunto de preocupações socioambientais a serem consideradas de forma efetiva na gestão de regiões com monoculturas. O artigo "Mecanização da colheita da cana-de-açúcar: benefícios ambientais e impactos na estrutura do emprego no campo faz um balanço de ganhos e perdas em relação à questão do emprego por conta do amplo processo de mecanização da colheita de cana de açúcar". Importante notar que os impactos potenciais mapeados estão atrelados a um contexto temporal recente do Brasil, e que especial atenção ainda deve ser dada a grupos de trabalhadores mais vulneráveis. Os artigos "Avaliação do potencial de sustentabilidade hídrica da cultura canavieira por meio de indicadores extraídos de modelos espaciais" e "Aplicação de indicadores para a avaliação do processo de expansão da cultura canavieira" trazem resultados e discussões acerca de ferramental para apoio em tomada de decisão em regiões que têm enfrentado rápido processo de mudança de uso do solo em áreas rurais. Traz um recorte transversal a partir da questão hídrica. O artigo "Carreadores da cultura da cana-de-açúcar: vantagens e desvantagens do tratamento do subleito" traz abordagem tecnológica com foco na gestão interna de áreas de plantio de cana de açúcar. O artigo "A expansão da área de cultivo da cana-de-açúcar na região sul do estado de Goiás de 2001 a 2011" apresenta uma discussão do processo de expansão da cana de açúcar no Estado de Goiás e quais áreas estão tendo substituição de cultura e os impactos potenciais associados. O artigo "Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça: fertirrigação, concentração e biodigestão" apresenta uma análise e discussão das vantagens e desvantagens de cada tecnologia, comparando a partir dos aspectos econômicos e ambientais associados. O artigo "Efeito da vinhaça na membrana impermeabilizante usada nos tanques de armazenamento" apresenta um exemplo da necessidade permanente de pesquisa em inovação e tecnologia. O artigo mostra estudos realizados para avaliar o efeito da vinhaça em geomembranas de polietileno de alta densidade, tendo-se em vista que é lançada a temperaturas de 80-90°C sobre a geomembrana nos tanques de armazenamento. Finalmente, o artigo "Análise crítica do Plano Decenal de Expansão de Energia - PDEE 2021 - Questões socioeconômicas e ambientais decorrentes das estratégias brasileiras para o etanol combustível" apresenta uma discussão em políticas públicas relacionada a um importante instrumento de

planejamento que é o PDEE. Estes artigos demonstram a diversidade e interdisciplinaridade do tema da bioenergia, no contexto aplicado ao setor do etanol de cana de açúcar, e que a busca de respostas e inovação no setor passa por articulação e integração de atores diversos da rede etanol. A estratégia deve, portanto, priorizar incorporação nos sistemas de gestão pública e empresarial dos princípios de sustentabilidade, tratando esta rede de atores governamentais e não governamentais como fórum permanente de reflexão estratégica frente aos desafios do desenvolvimento sustentável.

Boa Leitura,

Tadeu F. Malheiros



Revista Brasileira Ciências Ambientais



www.ictr.org.br

www.fsp.usp.br/siades

ISSN Impresso 1808-4524 / ISSN Eletrônico 2176-9478

Setembro de 2013 Nº 29

Índice

01 - Ensaio sobre a evolução da proteção ambiental no setor sucroenergético

Carla Grigoletto Duarte
Franciele Gomes
Érico Soriano
Tadeu Fabricio Malheiros

17 - Pasivos ambientales en la agroindustria de la caña de azúcar y el etanol en Colombia

Mario Alejandro Pérez Rincón
Tadeu Fabricio Malheiros

33 - Efeitos do etanol para além da economia: um estudo de caso em Piracicaba (SP)

Samir de Souza
Thales Haddad Novaes de Andrade

49 - Mecanização da colheita da cana-de-açúcar: benefícios ambientais e impactos na mudança do emprego no campo em São Paulo, Brasil

Sergio Alves Torquato

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

Rodrigo P. Demonte Ferraz
Margareth Simões
Vincent Dubreuil

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

Rodrigo P. Demonte Ferraz
Margareth Simões
Vincent Dubreuil

87 - Carreadores da cultura da cana-de-açúcar: vantagens e desvantagens do tratamento do subleito

Gustavo D'Almeida Scarpinella
Renato Billia de Miranda
Frederico Fábio Mauad

98 - A expansão da área de cultivo da cana-de-açúcar na região sul do estado de Goiás de 2001 a 2011

Maria Gonçalves da Silva Barbalho
Adriana Aparecida Silva
Selma Simões de Castro

111 - Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça: fertirrigação, concentração e biodigestão

Luiz Felipe Lomanto Santa Cruz
Carla Grigoletto Duarte
Tadeu Fabrício Malheiros
Eduardo Cleto Pires

128 - Efeito da vinhaça na membrana impermeabilizante usada nos tanques de armazenamento

Fernando Luiz Lavoie
Benedito de Souza Bueno
Paulo César Lodi

139 - Análise crítica do Plano Decenal de Expansão de Energia – PDEE 2021 - Questões socioeconômicas e ambientais decorrentes das estratégias brasileiras para o etanol combustível

Mario A. Massagardi
Valdir Fernandes
Eliane Carvalho de Vasconcelos
Paulo Janissek

Ensaio sobre a evolução da proteção ambiental no setor sucroenergético

Essay on the environmental protection evolution in the sugarcane industry

RESUMO

Esse ensaio apresenta um panorama da evolução da proteção ambiental no setor sucroenergético no estado de São Paulo. A pesquisa é exploratória, e apresenta um histórico do setor sucroenergético desde os anos 1930 até os dias atuais, identificando abordagens para a gestão ambiental nesse período. Identifica-se que a abordagem de controle da poluição é iniciada a partir da definição de parâmetros de qualidade ambiental e estruturação do órgão ambiental para fiscalização no estado de São Paulo; a abordagem da prevenção da poluição se inicia quando o setor busca aumentar a eficiência de seu processo produtivo e reduzir custos, aliado também a avanços na legislação ambiental sobre esse tema; e por fim, a abordagem estratégica se torna interessante para o fortalecimento da imagem do etanol como um combustível limpo, e também para cumprir os requisitos de sustentabilidade demandados por compradores com exigências em questões desta temática. Com isso, o ensaio mostra que a valorização de aspectos ambientais do etanol como fator determinante para a empresa é recente, sendo que só se torna parte da estratégia das usinas no período da pós-desregulamentação.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão ambiental; gestão empresarial – governança corporativa; setor sucroenergético; usinas de cana-de-açúcar.

ABSTRACT

This essay presents an overview of the evolution of the environmental protection in the sugarcane industry in the state of São Paulo. The research is exploratory, and presents a history of the sugarcane industry from the 1930s to the present day, identifying approaches for environmental management. The research identifies that the pollution control approach has started from the definition of environmental quality parameters and structure of the environmental agency of inspection in the state of São Paulo. The pollution prevention approach begins when the industry seeks to increase the efficiency of its production process and reduce costs, also allied to advances in environmental legislation on the subject. Finally, the strategic approach becomes interesting to strengthen the image of ethanol as a clean fuel, and also to meet the sustainability requirements demanded by buyers with these requirements. Thus, the essay shows that the valuation of environmental aspects of ethanol as a determining factor for the company is recent, and only becomes part of the strategy of the plants during the post-deregulation period.

KEYWORDS: Environmental management; business management – corporate governance; sugar-energy sector; sugarcane mills.

Carla Grigoletto Duarte
Engenheira Ambiental,
Doutora em Ciências pelo
PPGSEA da EESC/USP
Pesquisadora de Pós-
doutorado - Escola
Politécnica/USP
São Paulo, SP, Brasil
carla.duarte@usp.br

Franciele Gomes
Socióloga, Mestranda em
Ciências pelo
PPGSEA/EESC/USP
São Paulo, SP, Brasil
francielegomes@usp.br

Érico Soriano
Geógrafo, Doutor em
Ciências pelo
PPGSEA/EESC/USP
São Paulo, SP, Brasil
ericogeo@gmail.com

Tadeu Fabricio Malheiros
Professor do Departamento
de Hidráulica e Saneamento
da Escola de Engenharia de
São Carlos – USP
São Carlos, SP, Brasil
tmalheiros@usp.br

INTRODUÇÃO

A consideração de questões socioambientais nas atividades do setor empresarial é um dos temas centrais na busca pelo desenvolvimento sustentável (MEADOWS *et al.*, 2004; UNITED NATIONS, 2012; WCED, 1987). A inserção dessas questões no cotidiano das empresas se deu gradualmente, impulsionada pelas discussões acerca da existência de limites biofísicos para o desenvolvimento socioeconômico na década de 1970, principalmente considerando-se a repercussão internacional do Relatório do Clube de Roma - Os Limites do Crescimento.

No caso do setor sucroenergético a valorização de atributos ambientais do etanol foi crescente nos últimos anos. Os atores interessados na expansão desse setor têm atuado para melhoria da imagem do etanol por meio do marketing ambiental (JANK, 2011a; MOLINA, 2010; UNICA, 2009), buscando reverter a imagem negativa relacionada à indústria canavieira, historicamente associada a impactos socioambientais adversos no país (BERTAZI, 2012; DEAN, 1997).

Esse ensaio tem como objetivo apresentar um panorama da evolução da proteção ambiental no setor sucroenergético no estado de São Paulo, buscando identificar fatores que impulsionaram mudanças na gestão ambiental no período de 1930 até o presente. A pesquisa é exploratória, e busca identificar como essa temática foi tratada em três grandes períodos identificados no setor – o período em que a regulamentação governamental era mais forte, o da desregulamentação e o da pós-desregulamentação.

Para isso, primeiramente é apresentado o referencial teórico da área de gestão ambiental, para identificação de possíveis estágios evolutivos, e há também uma descrição sobre a governança

corporativa, modelo empresarial adotado nos grupos do setor sucroenergético mais recentemente. Na sequência, é apresentado o histórico do setor sucroenergético no período acima mencionado, com destaque para os movimentos de expansão e retração do setor. Para isso, foram realizadas pesquisas bibliográfica e documental, com realização de duas entrevistas para complementação e compreensão em maior detalhe dos dados coletados. A primeira entrevista foi realizada em setembro de 2011 em São Paulo a um representante do Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental, DAIA/CETESB, responsável pelo licenciamento ambiental das usinas paulistas; e outra foi realizada em abril de 2012 em São Carlos com um ex-funcionário da CETESB que atuou no interior do estado nas primeiras fiscalizações de usinas de açúcar e álcool realizadas pelo órgão ambiental na década de 1980.

GESTÃO EMPRESARIAL E SUSTENTABILIDADE

De acordo com BARBIERI (2007), há três conjuntos de forças que interagem reciprocamente para influenciar a inclusão dos temas da sustentabilidade na gestão empresarial: o governo, a sociedade e o mercado; de modo que se não houvesse pressões da sociedade e medidas governamentais sobre o mercado, não se observaria o crescente envolvimento das empresas com as questões ambientais. Somado a esse movimento de adequação compulsória, muitas organizações passaram a se interessar pelos benefícios que a adequação ambiental pode oferecer, como, por exemplo, a diminuição dos custos de produção decorrentes da redução de resíduos industriais e economia de insumos, o impacto positivo na reputação e acesso a grupos de consumidores mais exigentes, a antecipação a pressões legais e da

sociedade, a menor exposição a riscos e a facilidade no acesso ao capital (BM&F BOVESPA, 2011).

E nesse contexto, há empresas menos e empresas mais comprometidas com os resultados de sua gestão ambiental. Há várias classificações dos estágios evolutivos, sendo que JABBOUR e SANTOS (2006) apresentam uma revisão de oito proposições, mostrando que as propostas se assemelham. BARBIERI (2007) apresenta três estágios, nomeando-os respectivamente como: controle da poluição, prevenção da poluição e abordagem estratégica, nomenclatura que será abordada por este ensaio.

Na primeira abordagem a empresa busca apenas atender exigências da legislação, e tem seu foco na adoção de equipamentos para controle de poluição, sem que haja mudanças nos processos produtivos ou nos produtos. Nessa abordagem, a empresa tolera não conformidades ambientais em algumas situações, sendo que a capacidade de fiscalização governamental e os instrumentos de comando e controle são as principais motivações para a ação, que são basicamente do tipo reativas (BARBIERI, 2007; JABBOUR e SANTOS, 2006).

Na segunda abordagem o foco está na prevenção da poluição, e ocorre quando a empresa além de atender a padrões ambientais legais, busca um processo produtivo mais eficiente, que consuma menos energia e materiais (BARBIERI, 2007). Nessa abordagem a estratégia empresarial busca se beneficiar dos ganhos econômicos que a adequação ambiental pode trazer.

A terceira abordagem é aquela em que questões ambientais são tratadas como estratégicas pela empresa, de forma que, além das medidas de prevenção da poluição e aumento da eficiência nos processos produtivos, a empresa busca aproveitar oportunidades mercadológicas (BARBIERI, 2007),

oferecendo seus produtos a partir de estratégias de marketing ambiental para se diferenciar no mercado. Nessa fase, a empresa se preocupa com todo o ciclo de vida do produto, incluindo a engenharia reversa, considerando também as práticas de seus fornecedores, estando além das exigências da legislação. Esse estágio é marcado pela antecipação de problemas ambientais futuros, de forma que há proatividade, busca pela excelência ambiental e pelo vanguardismo.

Pelas características apresentadas, é possível notar que a abordagem estratégica apresenta grande potencial para trazer mais benefícios para a sociedade e para a empresa, uma vez que representa a consideração de temas ambientais e suas interfaces com as outras dimensões da sustentabilidade nos processos decisórios, alcançando, portanto, o máximo potencial de contribuição de um empreendimento para a melhoria e manutenção da qualidade ambiental na empresa, em comunidades de entorno e também em todo o ciclo de vida do produto.

Assim, uma empresa só poderá ser considerada alinhada aos princípios do desenvolvimento sustentável quando adotar uma abordagem estratégica, distanciando-se de táticas/métodos que refletem apenas um *greenwashing*. E a opção pela abordagem estratégica está intimamente relacionada ao modelo de gestão empresarial adotado pela empresa.

Dentre os modelos de gestão empresarial adotados pelas empresas do setor sucroenergético, a governança corporativa tem recebido grande destaque (VIEIRA e MENDES, 2004), e tem avançado em agroindústrias que antes adotavam a gestão familiar.

O movimento pela governança corporativa teve seu início em meados da década de 1980 nos EUA, e foi difundida no Brasil de forma mais consistente a partir de 1999 com a criação do

Instituto Brasileiro de Governança Corporativa (IBGC) e do primeiro Código Brasileiro das Melhores Práticas de Governança Corporativa, e desde então, vem crescendo significativamente (FERREIRA *et al.*, 2006; VIEIRA e MENDES, 2004).

Historicamente, a governança corporativa surgiu para orientar a relação entre proprietário e executivo/gestor. O gestor dispõe de muito mais informação sobre as ações que deve tomar do que o proprietário, e embora cada decisão do gestor seja importante para ambos, o proprietário da companhia não tem como monitorá-lo perfeitamente. Assim, o proprietário carece de mecanismos para acompanhar os resultados alcançados (SOARES e PAULILLO, 2008).

Na gestão familiar em que o proprietário também exerce a função de gestor, há a concentração das decisões sem a necessidade de prestar contas a outros entes, o que acaba não demandando processos de gestão mais transparentes e estratégicos (CONSONI, 2009). Processos de profissionalização de gestão e a entrada de novos agentes no sistema de gestão implicam em novas necessidades, explicando-se, dessa forma, a importância da adoção de sistemas de governança corporativa, capazes de conferir transparência e credibilidade à gestão empresarial.

Segundo IBGC (2007) a governança estratégica viabilizada pela governança corporativa se torna inseparável de questões da sustentabilidade ao permitir que o conselho de administração da empresa desenvolva aspectos de curto e longo prazo nas definições das ações, planos e projetos.

Com isso, a governança corporativa se estendeu para muito além da questão da transparência e credibilidade das decisões, e hoje é considerada um fator decisivo para a competitividade e o sucesso empresarial, mesmo no caso de empresas que têm gestão familiar

profissionalizada (PINA, 2011). De acordo com o IBGC, a governança corporativa é “o sistema pelo qual as organizações são dirigidas, monitoradas e incentivadas, envolvendo os relacionamentos entre proprietários, Conselho de Administração, Diretoria e órgãos de controle” (IBGC, 2009, p.19). A governança corporativa pode ser entendida como um esforço para aperfeiçoar a “internalização dos novos conceitos e ferramentas nos processos de gestão, de modo a subsidiar um modelo de tomada de decisão que contemple os aspectos econômico-financeiros e socioambientais e os interesses dos diversos *stakeholders* no curto e longo prazo” (IBGC, 2007, p.9).

O IBGC define ainda as boas práticas de Governança Corporativa em quatro princípios básicos: transparência, equidade, prestação de contas (*accountability*) e responsabilidade corporativa. Quanto à responsabilidade corporativa, o IBGC afirma que os agentes de governança¹ “devem zelar pela sustentabilidade das organizações, visando à sua longevidade, incorporando considerações de ordem social e ambiental na definição dos negócios e operações” (IBGC, 2009, p.19).

Apesar da grande contribuição que a adoção de práticas de governança corporativa oferece para o desenvolvimento do mercado de capitais, observa-se que há limitações. Pode-se citar o fato de que sua adoção não muda a estrutura de propriedade concentrada do mercado, nem muda a formatação que as empresas de menor porte assumem, tendo que concorrer com papéis que apresentam rentabilidade interna muito maior (ROGERS *et al.*, S/D), ou seja, é condicionada pela expectativa dos capitais

¹ O termo agentes de governança refere-se aos sócios, administradores (conselheiros de administração e executivos/ gestores), conselheiros fiscais e auditores.

internacionais, nacionais e com os títulos públicos brasileiros.

Tendo como foco o Brasil, FONTES FILHO e PICOLON (2008) afirmam que apesar dos avanços das práticas de governança corporativa, ainda se faz necessária uma alavancagem no que tange à questão de arcabouço institucional-legal, além de melhorias nos modelos de prestação de contas. Outra limitação observada por SROUR (2005) é o conflito de interesses entre acionistas minoritários e os controladores de uma empresa, no qual os primeiros não têm os seus interesses levados em conta pelos tomadores de decisão, enquanto quem controla os dividendos tende a acumular os recursos internos, aumentando seu prêmio de controle.

Comparando-se em linhas gerais a proposta da governança corporativa e as abordagens de gestão ambiental apresentadas, é possível identificar que a governança corporativa se aproxima mais das características da abordagem estratégica de gestão ambiental, à medida que potencializa a inserção de questões ambientais em processos decisórios da organização. Desta feita, o próximo tópico do artigo irá tratar de como se deu a gestão das questões da produção no setor sucroenergético, com destaque para a influência do Estado nos modelos de gestão.

GESTÃO EMPRESARIAL E A EXPANSÃO DO SETOR SUCROENERGÉTICO

A história da cultura da cana-de-açúcar no Brasil se confunde com a própria história do país, uma vez que as primeiras plantações datam do século XVI (DEAN, 1997). Atualmente, o país é o maior produtor mundial de açúcar e o segundo maior produtor mundial de etanol, ficando atrás somente da produção estadunidense de etanol de milho (MDIC, 2010, 2011).

Comparando-se com outras culturas energéticas, a cana-de-açúcar tem apresentado melhor desempenho, principalmente quanto à redução de gases de efeito estufa (GEE) e custo, e com isso, vem se destacando na busca por fontes renováveis de energia (GOLDEMBERG, 2007; GOLDEMBERG *et al.*, 2008; MACEDO, 2005). Há ainda outros fatores importantes que impulsionaram o desenvolvimento da indústria da cana-de-açúcar no Brasil, como a aptidão edafoclimática das terras do Nordeste e Centro-Sul brasileiro para a cana-de-açúcar e o alto desenvolvimento científico e tecnológico nacional para produção do etanol, como também do açúcar (WINTER *et al.*, 2010).

Nas próximas subseções será apresentado o histórico do setor sucroenergético no Brasil a partir de três momentos relacionados à governança no setor: o período da regulamentação, o período da desregulamentação e a pós-desregulamentação.

Período da regulamentação

De acordo com WATANABE (2001), o período da regulamentação do setor sucroenergético² pode ser compreendido em dois momentos, sendo o primeiro no período entre 1930 e 1970, e o segundo, de 1970 ao final dos anos 1980. Em 1930 ainda não existia uma política agrícola oficialmente estabelecida, mas já havia intervenção do governo no setor sucroalcooleiro. O Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) foi criado em 1933 com o objetivo de incentivar o consumo e regular o mercado de açúcar e álcool, sendo que seu principal mecanismo de

² Chamado setor sucroalcooleiro à época, pela predominância da produção de açúcar e álcool combustível (etanol). A mudança do termo foi sugerida pela UNICA em 2009 (UNICA, 2009).

regulação eram as cotas de produção.

Segundo SZMRECSÁNYI e MOREIRA (1991), observou-se na década de 1930 uma série de medidas e incentivos do IAA para promover significativos aumentos na capacidade produtiva dos estados nordestinos em médio e longo prazo. Contudo, a exportação e o abastecimento interno de açúcar dependiam de transporte marítimo para escoamento da produção do nordeste do país para a região sudeste. Assim, no período da segunda Guerra Mundial, o escoamento da produção ficou prejudicado com o risco da ocorrência de ataques submarinos. Foi quando a indústria canaveira passou a se desenvolver nos estados do sudeste, próximo aos centros consumidores.

Na década de 1950 houve aumento da demanda interna por açúcar, principalmente devido à industrialização e à crescente urbanização no país, em especial na região Centro-Sul (MELLO, 2004). A participação de usineiros paulistas no mercado nacional passou de 17,6% para 22,2%, incentivados pela definição de quotas do IAA, e os excedentes de açúcar do Nordeste passaram a ser preferencialmente destinados à exportação, mudança essa que contribuiu para uma contínua expansão, mesmo após superar a capacidade de absorção dos mercados internos para açúcar e álcool (SZMRECSÁNYI e MOREIRA, 1991).

Nos anos 1960 a expansão do setor continuou, impulsionada especialmente pela criação de planos para o desenvolvimento do setor e a disponibilização de elevados volumes de créditos rurais. Nesse período, era do Estado a atribuição de regular, por meio do IAA quase todos os segmentos desse setor, incluindo a fixação de cotas de produção e de preços, e a concessão de recursos financeiros para os agentes privados (MELLO, 2004).

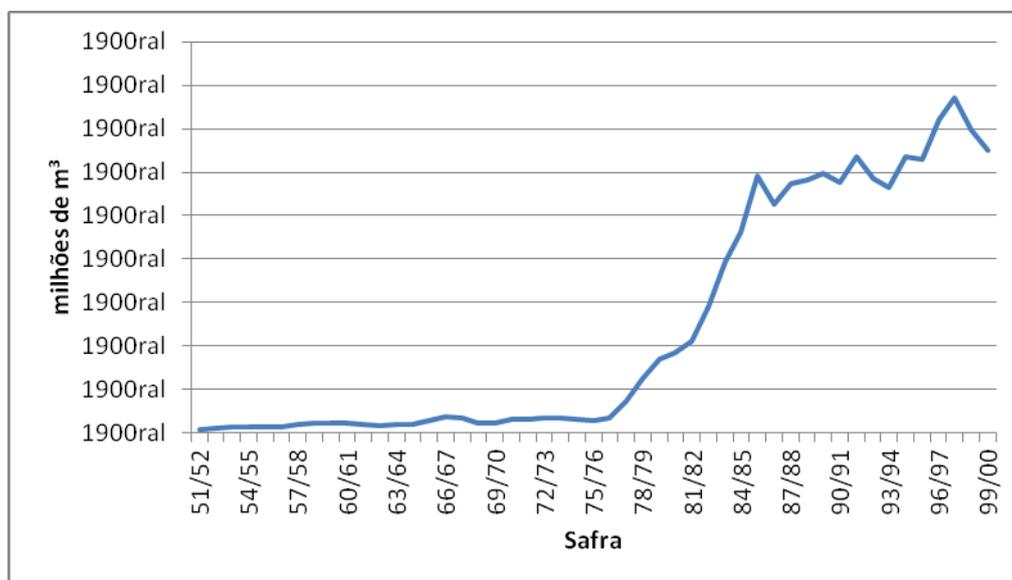


Figura 1. Produção total de etanol no Brasil, da safra 1952/1953 a 1999/2000. Elaborado a partir de dados disponibilizados por ALCOPAR (2013)

Essa intervenção intensiva do Estado perdurou durante a década de 1970, estimulando a demanda e a produção. Três programas federais de incentivos foram relevantes: o Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar (Planalsucar), o Programa de Racionalização da Indústria Canavieira, ambos lançados em 1971, e o Programa de Apoio à Indústria Açucareira, de 1973 (SZMRECSÁNYI e MOREIRA, 1991).

Ainda na década de 1970, a crise internacional do petróleo impulsionou a criação do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) que incentivava a produção de álcool combustível, a partir da melhoria na produtividade e modernização agrícola e industrial, e ainda protegia os produtores dos riscos de mercado (WATANABE, 2001). O Proálcool teve início em 1975 por meio do Decreto Federal nº76.593, com o objetivo oficial de reduzir a dependência da gasolina nos carros brasileiros, desenvolvendo para isso a tecnologia do etanol. O cenário se mostrava favorável ao desenvolvimento do combustível na década de 1970, em função da baixa no preço do açúcar, puxado pela redução na demanda internacional por açúcar e do elevado preço da gasolina, associado à crise internacional do petróleo.

Contudo, para SZMRECSÁNYI e MOREIRA (1991), o Proálcool foi “formulado e estabelecido menos como uma solução para a *crise energética* do Brasil, do que como uma alternativa para a previsível capacidade ociosa da sua agroindústria canavieira” (p.71). Isso porque após a forte expansão da capacidade produtiva das usinas para produção do açúcar, houve redução da demanda internacional por este produto, o que se tornaria um fiasco para o setor. O Proálcool motivou uma articulação dos interesses dos principais atores do setor, mas tendo sempre o Estado como o agente mais importante do seu desenvolvimento, assumindo as funções de planejamento, comercialização e mediação de conflitos privados (MELLO e PAULILLO, 2005).

O programa levou a uma rápida expansão da produção de etanol combustível. O Brasil aumentou em mais de 15 vezes sua produção em nove anos - passou de uma produção de 664 mil m³ na safra 1976/1977 para 10.539 mil m³ na safra 1985/1986, como mostra a Figura 1.

Na segunda metade dos anos 1980, o ciclo de crescimento da produção de etanol no país foi interrompido - houve redução do

preço internacional do petróleo, aumento dos preços do açúcar, abertura econômica e crises econômica e fiscal no Brasil (MELLO, 2004; SATOLO, 2008). A crise fiscal e econômica do Estado, durante a chamada “década perdida”, levou à escassez de recursos públicos, dificultando a continuidade de alguns programas governamentais, entre eles o Proálcool. MELLO e PAULILLO (2005) afirmam que havia falta de crédito e uma desativação gradativa de todo o sistema de apoio estatal, causando dificuldades no setor e “intensificando a desagregação de interesses dentro dos grupos sucroalcooleiros e entre eles” (p.11).

Nesse período também houve alta do preço do açúcar no cenário internacional, o que tornou esse comércio mais lucrativo que a comercialização do etanol. Assim, as usinas privilegiaram a produção do açúcar e houve crise de abastecimento de etanol no país, com conseqüente diminuição da demanda e da oferta de carros movidos a etanol, e aumento da entrada de carros importados movidos à gasolina. Este processo já era um indicativo do afastamento do Estado das pautas ligadas ao etanol. De acordo com VIAN e BELIK (2003), com a gradual retirada do Estado das arenas de decisão, a

autorregulação setorial não foi mais além por não existir um consenso setorial. E durante os anos 1990 o setor passa a buscar uma nova forma de organização, no período da desregulamentação.

Período da desregulamentação

O Brasil passou por um processo de abertura econômica entre o final da década de 1980 e início da década de 1990, impulsionado pela nova Constituição Federal de 1988 e pela pressão internacional ocorrida em função da disseminação de uma política neoliberal adotada então pelas principais economias capitalistas, o que representou uma das bases do processo de globalização.

Estas medidas representaram redução da participação do Estado em vários setores econômicos e produtivos, incluindo a privatização de setores inteiros e a desregulamentação, que pode ser entendida como a remoção ou a simplificação das regras e regulamentações governamentais que restringem a operação das forças de mercado (SULLIVAN e SHEFFRIN, 2002).

Esse processo provocou uma série de modificações na estrutura produtiva nacional. No setor sucroenergético, VIAN e BELIK (2003) afirmam que a desregulamentação foi iniciada ainda no final da década de 1980 e se deu de forma gradual, exigindo que os produtores e as associações se organizassem para o estabelecimento de preços e de regras de comercialização que antes eram definidas pelo Estado. Entre as medidas estatais tomadas durante o processo de desregulamentação está a extinção do controle sobre a produção de açúcar e a liberação das exportações no ano de 1988, e a extinção do IAA em 1990. Além da redução do controle estatal, houve redução do preço internacional do petróleo e conseqüentemente o

preço da gasolina, tornando assim o etanol menos competitivo do ponto de vista econômico (MORAES, 2002).

E a fim de oferecer também medidas de estímulo ao setor, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por recomendação do setor energético, fixou como obrigatória a mistura de álcool anidro à gasolina em todo o território nacional, variando entre 15% e 22% na época. Em 1996 houve a liberação dos preços da cana-de-açúcar, do açúcar cristal *standart*, do etanol e do mel residual, por meio da Portaria nº64 do Ministério da Fazenda. Desta forma, o preço do etanol deveria ser definido com base no preço final da produção (MELLO; PAULILLO, 2005; WATANABE, 2001). De acordo com WATANABE (2001) essa portaria representou uma garantia econômica para a produção e visou facilitar a organização do setor, garantindo uma maior autonomia e segurança.

As bases de concorrência também se alteraram. De acordo com MELLO (2004), enquanto o Estado regulamentava o setor, elas se baseavam em melhorias tecnológicas e na busca por melhores terras para a expansão da cana-de-açúcar. Com a desregulamentação, a concorrência começou a se basear na construção de estratégias para capturar valor sobre os produtos e para diversificá-los. A lógica de acumulação passou de extensiva, na qual o aumento da área de cana-de-açúcar plantada era a base, para intensiva, que priorizava o aumento da produtividade.

Para VIAN e BELIK (2003), no início dos anos 1990 as características estruturais básicas do complexo canavieiro nacional, herdadas da longa fase de planejamento e controle estatal, podiam ser assim resumidas: produção agrícola e industrial sob controle das usinas, heterogeneidade produtiva (especialmente na industrialização da cana-de-açúcar), baixo

aproveitamento de subprodutos, e competitividade fundamentada, em grande medida, nos baixos salários e na expansão extensiva da produção.

Sem a regulamentação, os grupos começaram a se articular para definir novos formatos de atuação e coordenação dos mercados de açúcar e álcool, e no contexto de heterogeneidade descrito, uma série de interesses fragmentados emergiu e isso dificultava a elaboração de políticas amplas de incentivo ao setor, como foi o Proálcool (VIAN e BELIK, 2003). MELLO (2004) destaca que os atores do setor estavam divididos entre dois grandes grupos, o primeiro, representado pela SOPRAL (Sociedade dos Produtores de Açúcar e Álcool de São Paulo) que se posicionava contra a desregulamentação e o segundo, representado pela COPERSUCAR e pela Associação das Indústrias de Açúcar e Álcool de São Paulo, que defendia a total liberalização do setor.

Posteriormente foi criada a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), que segundo MORAES (2002), representou uma tentativa de “unificar as ações dos industriais paulistas para lidar com o novo ambiente desregulamentado e de solucionar o problema da representação heterogênea, que enfraquecia o poder de negociação dessa categoria” (p.97).

Num primeiro momento esses objetivos foram praticamente alcançados, já que a entidade reuniu 121 das 133 unidades industriais existentes no estado de São Paulo à época, o que correspondia a 91%. No entanto, a representação e a união não se deram de forma totalmente satisfatória, havendo ainda a divisão entre os que defendiam o livre mercado e as que lutavam pela manutenção da intervenção estatal no setor; e devido a essa divergência de opiniões, algumas unidades se afastaram da UNICA e criaram a Coligação das Entidades Produtoras

de Açúcar e Álcool (CEPAAL) (MELLO e PAULILLO, 2005).

Assim, a desregulamentação representou uma extensa mudança nas regras para o comércio de açúcar e etanol, exigindo que novos mecanismos surgissem para substituir o controle do Estado antes existente. No final dos anos 1990, as principais medidas de desregulamentação já estavam implementadas, o que marca o fim desse período.

Período da pós-desregulamentação

Com a chegada dos carros com a tecnologia *flex-fuel* ao mercado houve forte aumento da demanda por etanol. De acordo com MACÊDO (2011), entre 2003 e 2010 foram vendidos 12,6 milhões de veículos com essa tecnologia no Brasil, cuja demanda representou um crescimento no consumo de etanol de 364% no período considerado. Em 2005, apenas dois anos após a entrada dos veículos *flex-fuel* no mercado, o número de veículos licenciados já era maior para a opção *flex* do que para carros à gasolina, como pode ser visualizado na Figura 2 (UNICADATA, 2013). Com as vendas de carros *flex-*

fuel e aumento da demanda por etanol, ocorreu um amplo processo de reestruturação da indústria canavieira, no qual a UNICA passou por uma mudança fundamental, que resultou em sua profissionalização e ampliação da capacidade de representação da categoria (MUNDO NETO, 2009).

De acordo com PAULILLO (2007), a UNICA se consolidou enquanto a associação mais influente do setor sucroenergético e com o maior poder de negociação, tendo como associados os grupos que registravam as melhores condições de mercado, assim como as que apresentavam os menores custos de produção, grande produtividade e elevada influência sobre o mercado.

Quanto à reestruturação dos grupos de usineiros, de acordo com NASTARI (2012), depois de 2003 a consolidação do setor se deu em três momentos: no primeiro, os produtores menores foram comprados por grandes produtores; no segundo, companhias multinacionais do setor alimentício e *tradings* compraram os grupos médios e grandes, e por fim, no terceiro, as companhias multinacionais do ramo da energia adquiriram participação nos grupos do setor sucroenergético. Já no

primeiro momento dessa consolidação, houve a entrada de grupos que introduziram a governança corporativa em algumas usinas do setor. De acordo com MELLO (2004), a adoção desse modelo permitiu criar cenários de maior estabilidade, com interações entre diferentes atores de forma mais frequente e intensa. As mudanças ocorreram na organização interna dos negócios, na profissionalização da gestão das usinas e na adoção de novas estratégias (MUNDO NETO, 2009).

Este processo de profissionalização do setor afetou principalmente as unidades produtoras que se caracterizavam por um modelo de gestão familiar, com condições restritas de competitividade. O novo cenário pós-desregulamentação exigiu modificações no gerenciamento das empresas e a necessidade da já referida participação nas grandes associações. De forma geral, as que não se profissionalizaram, não suportaram a competitividade e a concorrência do setor (NASTARI, 2012).

A administração familiar não profissionalizada representava no começo dos anos 2000 expressiva parte das usinas de cana-de-açúcar. Esse cenário ficou claro nos

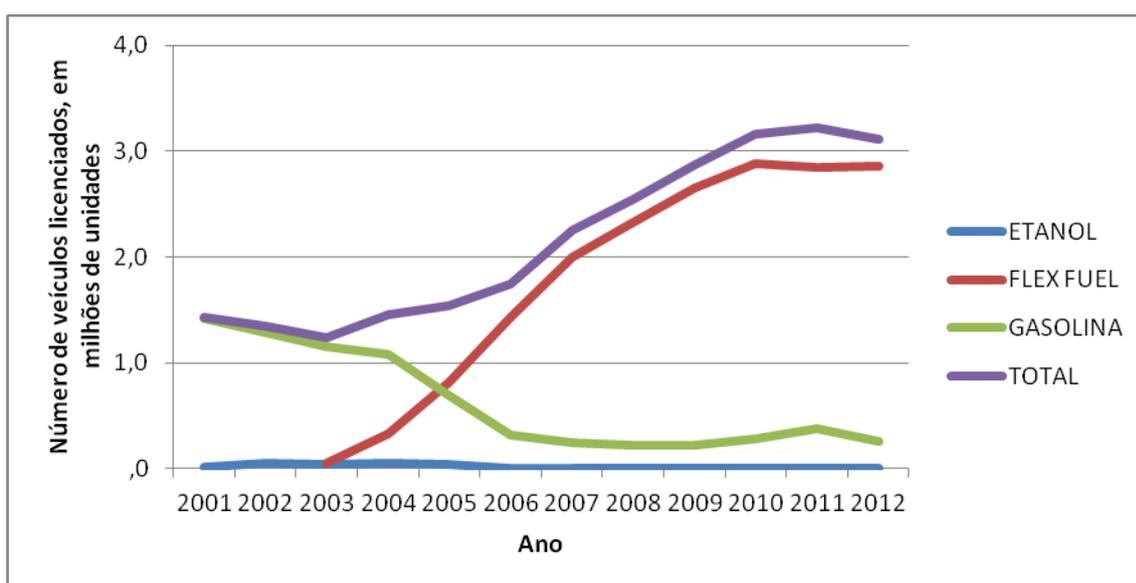


Figura 2. Número de veículos licenciados por tipo de combustível, no período de 2001 a 2012.

Elaborado a partir de dados de UNICADATA (2013)

resultados de uma pesquisa realizada pela *Business Consulting Services/IBM* em 2004 com os 70 maiores grupos no Brasil, apresentada por SALOMÃO (2006), que mostrou que 90% dos usineiros não queriam executivos envolvidos na gestão e não tinham qualquer estrutura formal de relações com acionistas; 64% não tinham planejamento estratégico de longo prazo, 60% estavam no estágio de gestão em que o dono centraliza as decisões; 53% não se achavam preparados para enfrentar o futuro do negócio; e 13% não consideravam o etanol como uma grande oportunidade.

De acordo com PAULILLO (2007), os vícios adquiridos pela estrutura familiar de gestão e pela intervenção do Estado comprometeram a construção de um mecanismo de governança mais estável. O autor afirma que os sessenta anos de proteção estatal nas atividades do setor, juntamente com a maneira pela qual as famílias administraram as usinas, podem ser considerados as causas da baixa profissionalização observada na época da pós-desregulamentação, o que representou um desafio à organização do setor e à autogestão. Com as oportunidades de expansão do mercado de etanol tanto para o mercado interno quanto para exportação, as usinas precisavam de recursos para investimentos. Muitos grupos optaram pelo mercado de capitais (FERREIRA *et al.*, 2006), sendo que o pioneiro foi o grupo COSAN, em 2005, seguido pela Usina São Martinho e a Companhia Açúcar Guarani, em meio ainda a uma série de estratégias para ampliação de mercados e amortecimento de dívidas (VERDI *et al.*, 2011).

O momento de profissionalização e abertura de capital em diversas usinas indicava a expectativa de forte expansão do setor. A produção de cana-de-açúcar cresceu 10,3% ao ano entre 2000 e 2008, com expansão do comércio internacional, em um momento caracterizado pela “abundância de

capital barato, novos entrantes com pouca experiência no setor e empresas tradicionais com dificuldade de acesso a instrumentos modernos de financiamento” (JANK, 2011b, p.1). Todavia, houve uma quebra das expectativas com a crise financeira mundial de 2008, período no qual o setor contava com inúmeros programas de expansão que apostavam no crescimento da demanda de etanol nos mercados nacional e internacional. A nova crise econômica, de proporção global, colocou um terço do setor em dificuldades, e exigiu forte reestruturação financeira e/ou societária, e foi o momento em que grupos tradicionais das áreas de agroindústria, petróleo e química entraram no setor sucroenergético (JANK, 2011a; NASTARI, 2012).

A entrada desses grupos impulsionou a profissionalização da gestão nas usinas, e com isso, no final da crise a maioria das usinas já possuía gestão profissionalizada. Os grupos financeiramente mais sólidos e menos alavancados começaram um processo de venda de ativos, o que foi fundamental para o novo processo de consolidação do setor sucroenergético, o que também impulsionou a adoção da governança corporativa.

De acordo com JANK (2011b), em fase final de recuperação, no primeiro semestre de 2011 mais de 70% do setor era “composto por grupos com bons ativos, estrutura de capital e governança, desempenho operacional e acesso a capital de boa qualidade” (p.1). Ainda assim, o setor enfrentava dificuldades para crescer, tendo muitas usinas endividadas e mesmo operando com prejuízos (DCI, 2013; UNICA, 2012a, 2012b). De acordo com dados apresentados por UNICA (2012), entre 2008 e 2012, 41 unidades produtoras encerraram as suas atividades, 37 usinas registraram pedido de recuperação judicial, e uma em cada seis unidades em

operação possui dívida superior a R\$100 por tonelada de cana.

Atualmente, a UNICA trabalha com uma agenda para viabilizar a expansão do setor, atuando junto aos governos e na articulação dos atores da rede de governança formada a partir dos produtos do setor. O Movimento Mais Etanol, lançado em 2011, traçou o objetivo de consolidar políticas públicas e privadas necessárias para dobrar a produção brasileira de cana-de-açúcar em dez anos, buscando consolidar o etanol como tema estratégico para a economia e o meio ambiente (JANK, 2011b). O movimento, em forte parceria com o projeto AGORA da UNICA, que é voltado à comunicação, buscou o envolvimento de entidades e empresas da cadeia produtiva e de setores-chave (indústria automotiva, distribuidoras e revendedoras de combustíveis, insumos, etc.), envolvimento de parlamentares, governadores, lideranças regionais e formadores de opinião (JANK, 2012). A expectativa é de que seja estruturado um conjunto de políticas públicas e privadas capazes de contornar as dificuldades enfrentadas pelo setor e impulsionar a promoção dos produtos da cana-de-açúcar (FARINA, 2013), sendo que já houve sinalizações do governo federal em resposta a esse movimento (UNICA, 2013; ZAIA, 2013). Com isso, é possível identificar que mesmo com a desregulamentação, é grande ainda a influência do Estado no sucesso ou estagnação da produção desse setor.

A PROTEÇÃO AMBIENTAL E AS USINAS PAULISTAS

No período da regulamentação, considerado aqui como o período dos anos 1930 ao final da década de 1980, a questão ambiental estava emergindo e se fortalecendo. Um dos marcos mais importantes do movimento ambientalista foi a Conferência de

Estocolmo em 1972, que contou com ampla articulação pré-conferência, que fortaleceu e influenciou a criação iniciativas de proteção ambiental em vários países (LAGO, 2006).

No estado de São Paulo, data de 1968 a criação da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, a CETESB, responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição; que incorporou atividades antes de responsabilidade da Secretaria da Saúde (CETESB, 2012). As atividades de fiscalização das usinas de cana-de-açúcar só foram iniciadas em 1976, após o Decreto nº 8468, que fornecia parâmetros técnicos para classificação dos corpos d'água, padrões de qualidade e de emissão e também para aplicação de multas (ZANCUL, 2012).

Nesse período inicial, o órgão ambiental focou no principal impacto ambiental negativo das usinas, que era o lançamento de vinhaça *in natura* nos corpos d'água (ZANCUL, 2012). A elevada quantidade de matéria orgânica presente na vinhaça causava a proliferação de microrganismos com consequente redução da quantidade de oxigênio dissolvido na água e danos à flora e fauna aquáticas, principalmente a morte de peixes, além do mau cheiro e aumento do risco de contaminação de malária, amebíase e esquistossomose (CORAZZA, 1999).

A proibição do lançamento da vinhaça em corpos d'água veio em 1978 com a Portaria MINTER nº 323. Após a proibição, a vinhaça passou a ser disposta nas chamadas **áreas de sacrifício**, reservadas unicamente para ser área de despejo desse efluente. Nessa época, os fiscais da CETESB eram conhecidos como "Engenheiros do Garapão" e atendiam inclusive denúncias acerca de lançamentos indevidos e mortandade de peixes (ZANCUL, 2012).

No ano de 1981, com a promulgação da Política Nacional de

Meio Ambiente, é fortalecida a institucionalização de questões ambientais, bem como as regulamentações na área ambiental. Esse processo nas esferas estadual e federal começa a dar forma a um sistema de gestão ambiental nacional, capaz de formular e fiscalizar instrumentos de comando e controle.

PLAZA PINTO (1999, *apud* CORAZZA 1999) afirma que a Copersucar divulgou em 1986 a informação de que cerca de 40% da vinhaça produzida no estado de São Paulo ainda não era aproveitada, sendo descartada em áreas de despejo ou sacrifício. Ainda assim, parte da vinhaça era aplicada apenas na região próxima à usina, muitas vezes em dosagens excessivas, sendo que foi na década de 1990 que a prática e as técnicas da fertirrigação foram difundidas, e foi também quando a CETESB passou a requerer um Plano de Fertirrigação das usinas (ZANCUL, 2012).

Além da vinhaça, outro tema relevante na atuação do órgão ambiental tem sido a queimada da palhada como método preparatório para a colheita. As ocorrências de queimadas próximas a áreas urbanas eram comuns, e geravam grande quantidade de cinzas e material particulado para as cidades, causando problemas respiratórios e levando a mortes de animais e incêndio em áreas de vegetação nativa (AVOLIO, 2002; RIBEIRO, 2008). Em 1988 foi publicado o Decreto Estadual nº 28.895, primeira regulação que estabelecia distâncias mínimas de áreas de vegetação, linhas de alta tensão e do perímetro urbano (AVOLIO, 2002). Mas não havia regulamentação para eliminação das queimadas, sendo que nos anos 1990 vários processos de Ação Civil Pública foram concluídos indicando que a possibilidade de danos ambientais não era considerada relevante a ponto de impedir esta prática (AVOLIO, 2002).

O reconhecimento de sua relevância veio em 1997 no estado de São Paulo, com o Decreto Estadual nº 42.056 que determinou o fim das queimadas para as áreas passíveis de mecanização (com declividade até 12%) para o ano de 2005, e 2012 para as demais áreas. Contudo, em 2002 a Lei Estadual nº 11.241 adiou o prazo para o fim das queimadas para 2021 em áreas mecanizáveis e 2031 para áreas não mecanizáveis, conforme levantamento apresentado por AVOLIO (2002). No plano nacional, em 1998 o Decreto Federal nº 2661 definiu para o ano de 2018 a eliminação da queimada da palha da cana-de-açúcar nas áreas passíveis de mecanização, sem nenhuma menção ao prazo para a eliminação da queimada em áreas não mecanizáveis.

Ao longo da década de 1990, a implementação e ampliação de usinas já estava condicionada à apresentação de Estudo de Impacto Ambiental, seguindo orientações das Resoluções CONAMA 01/1986 e 237/1997.

No início dos anos 2000, o quadro do setor sofreu grande transformação com a entrada dos carros *flex-fuel* no mercado, que levou a um novo ciclo de expansão. Diferente dos outros períodos, aqui as vantagens comparativas do etanol incluíram questões ambientais, em especial as relacionadas à redução da emissão de gases de efeito estufa quando da substituição de combustíveis fósseis. Dessa forma, o etanol se torna uma oportunidade para os países do Anexo I do Protocolo de Quioto reduzirem suas emissões. Esses países adotaram uma série de barreiras não tarifárias como exigências para a importação de etanol, a fim de garantir o cumprimento de metas relacionadas à emissão de gases de efeito estufa, e isso pressionou as usinas para terem melhorias no seu desempenho socioambiental.

Nesse contexto, houve grande aumento das iniciativas

voluntárias direcionadas ao mercado de biocombustíveis, e muitas usinas adotaram certificações socioambientais como a Bonsucro, *Roundtable on Sustainable Biofuels* - RTSB; indicadores de sustentabilidade (iBase, Ethos); e também relatórios de sustentabilidade, como o proposto pela *Global Reporting Initiative* (DUARTE e MALHEIROS, 2012). De acordo com MOLINA (2010), essas iniciativas têm potencial para conferir credibilidade aos processos de gestão ambiental e responsabilidade social, sendo importantes para a estratégia de marketing ambiental do etanol.

Além das iniciativas voluntárias, há também fortalecimento das iniciativas compulsórias, e avanços em técnicas e tecnologias agrícolas e industriais que beneficiaram a eficiência no setor em questões socioambientais. Desde 2005, está em vigor a Norma Técnica P4.231 - *Vinhaça - Critérios e Procedimentos para Aplicação no Solo Agrícola* - que tem como objetivo “estabelecer critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento de cana-de-açúcar, no solo do estado de São Paulo” (CETESB, 2006, p.1), visando o máximo aproveitamento dessa prática e reduzindo riscos de contaminação de aquíferos e danos aos solos. Além disso, há investimentos em novas técnicas e tecnologias para uma destinação final da vinhaça ainda mais eficiente, notadamente a partir de processos de biodigestão e concentração (CRUZ, 2011).

Quanto às queimadas, apesar de a legislação estadual ainda manter a definição de eliminação para 2021, a maior parte das usinas é signatária do Protocolo Agroambiental, firmado em 2007 entre Secretaria de Meio Ambiente, Secretaria de Agricultura e representantes do setor sucroenergético, que prevê a

eliminação gradativa até 2014 para áreas mecanizáveis e 2017 para as demais (SMA, 2012). Apesar de ser de adesão voluntária, o Protocolo Agroambiental representa 94% da produção paulista (VIEGAS, 2010), e seus resultados mostram que na safra 2011/2012, 65% da cana do estado foi colhida crua (SMA, 2012). Esse protocolo inclui ainda outras questões além das queimadas, para melhorias nas fases agrícola e industrial (SMA; SAA; UNICA, 2007).

Também houve avanços no licenciamento ambiental, com a elaboração de uma legislação específica para o setor sucroenergético. Inicialmente, foi publicada a Resolução SMA 67/2006, que deu base para a Resolução SMA 88/2008, que amplia do escopo dos Estudos de Impacto Ambiental e restringe parâmetros de qualidade ambiental para usinas de açúcar e álcool, relacionados a resíduos, recuperação de matas ciliares, redução do consumo de água, emissões atmosféricas e práticas de manejo de solo, e também acerca dos impactos da substituição de outras culturas por cana-de-açúcar (DUARTE e MALHEIROS, 2012).

ANÁLISE DA GESTÃO AMBIENTAL NO SETOR SUCROENERGÉTICO

Pelo histórico apresentado, é possível perceber que esforços de controle ambiental do etanol se destacam na pós-desregulamentação, sendo que o período da regulamentação coincide com o momento em que as questões ambientais estão ainda começando a ser reconhecidas e valorizadas no cenário internacional nos anos 1970. Assim, na fase do Proálcool, o órgão ambiental estava ainda se organizando no estado de São Paulo, uma vez que a atuação da CETESB se inicia de fato a partir de 1976.

O que se nota, é que no período em que o governo

regulamentava o setor havia pouco interesse e até mesmo resistência à implementação de ações ambientais nas usinas, mas durante a desregulamentação, principalmente no final desse período, as questões ambientais relacionadas à redução de custos produtivos passaram a ser valorizadas nas usinas, como o reaproveitamento dos resíduos industriais.

No período da pós-desregulamentação as questões ambientais já aparecem como um diferencial de mercado, especialmente porque na comparação de aspectos ambientais entre agrocombustíveis, o etanol de cana-de-açúcar apresentava vantagens comparativas, incluindo o potencial de expansão da cultura tanto extensiva quanto intensivamente, especialmente com as tecnologias para produção de etanol celulósico (MUSSATTO *et al.*, 2010). Mas, sendo um candidato a substituto dos combustíveis fósseis exatamente por suas qualidades ambientais, até então resumidas ao seu potencial de redução da emissão de gases de efeito estufa, outras questões da sustentabilidade da produção e consumo do etanol passaram a ser avaliadas, como questões de trabalho, segurança alimentar e biodiversidade (GALLARDO e BOND, 2010; RFA, 2008; REPÓRTER BRASIL, 2010; WWI, 2006). Essas questões passam a integrar certificações socioambientais que são adotadas como requerimentos para o comércio do etanol brasileiro, em especial com os países europeus.

E no contexto da abertura de capital, as práticas de governança corporativa também começam a ser difundidas. Para ALMEIDA JR. e CEZARINO (2010) a pressão para a adoção de boas práticas de governança corporativa vem de todos os *stakeholders* do setor sucroenergético, desde os potenciais investidores até a sociedade civil, que ainda associa esse segmento produtivo a uma imagem ruim, permeada por processos

Tabela 1 – Três fases do setor sucroenergético e as características de proteção ambiental, com base na proposta de BARBIERI (2007)

Características do período	Características da proteção ambiental
<p>Regulamentação: Até o final da década de 1980</p> <p>Forte regulamentação estatal por meio do IAA, grandes programas de incentivos para o setor, com destaque para o Proálcool.</p>	<p>Início de uma abordagem de controle da poluição a partir da segunda metade da década de 1970, relacionadas majoritariamente com a qualidade da água e lançamento de efluentes. Nesse período o órgão ambiental está em fase de estruturação e ainda elaborando padrões de qualidade ambiental.</p>
<p>Desregulamentação: Final da década de 1980 ao final da década de 1990</p> <p>Predominância da gestão familiar não profissionalizada; setor tem dificuldade de se autorregular após tantos anos de interferência do Estado; fortalecimento da legislação e controle ambiental no estado.</p>	<p>Há avanços no controle da poluição e implementação de novos instrumentos de gestão ambiental, como a Avaliação de Impacto Ambiental, que dão inauguração a prevenção da poluição e o aumento de (eco)eficiência, que permitem a redução dos custos econômicos do processo produtivo.</p>
<p>Pós-desregulamentação: A partir do final da década de 1990</p> <p>Forte expansão do mercado de etanol a partir de 2003; crise de 2008 leva à forte reestruturação financeira/societária; há adoção de práticas de Governança Corporativa e forte preocupação com a imagem do setor e do etanol; são criadas políticas públicas socioambientais específicas e inovadoras para o setor e iniciativas voluntárias relacionadas à sustentabilidade empresarial.</p>	<p>Há o desenvolvimento e aperfeiçoamento da legislação ambiental relacionada ao setor, incluindo aquelas relacionadas ao licenciamento ambiental com definição de padrões mais restritivos para o setor. Além disso, há exigência para a adoção de certificações socioambientais por parte dos países compradores, de forma que as usinas passam a atender também requerimentos de instrumentos voluntários, que por vezes vão além das exigências legais nacionais. Ao tomar a questão ambiental como parte de sua estratégia, o setor se aproxima da abordagem estratégica.</p>

complicados de sucessão, disputas fiscais, descumprimento de regras trabalhistas e ambientais, falta de transparência e contabilidade confiáveis. Assim, mesmo grupos de capital fechado são pressionados a melhorar sua gestão, a fim de melhorar a imagem do setor como um todo.

Com o potencial de expansão do comércio de etanol nos mercados interno e externo, o etanol ascendeu à lista de prioridades dos governos federal e estadual, e ganhou iniciativas desenhadas especificamente para o setor, incluindo desonerações, novos instrumentos de gestão ambiental, e fomento à pesquisa científica. Segundo MUNDO NETO (2009), as usinas estão cada vez mais sendo avaliadas por indicadores socioambientais de natureza internacional, todavia, o

autor lembra que mesmo com a ênfase existente nos aspectos ambientais, nenhuma das associadas da UNICA que operam na BM&F BOVESPA obteve o selo de sustentabilidade do mercado de capitais – Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE).

Ao estudar a gestão ambiental de um conjunto de 15 grandes grupos corporativos de usinas, CETRULO (2010) buscou identificar quais eram os fatores mais relevantes no avanço da gestão ambiental nesses grupos, e concluiu que os mecanismos de intervenção governamental têm influência direta e positiva na postura ambiental tomada pela agroindústria canavieira. O autor mostra que a maioria dos grupos estudados adota uma abordagem estratégica em suas atividades de gestão ambiental, mas há heterogeneidade, havendo

grupos mais voltados à prevenção da poluição, sem considerar a questão ambiental como sendo estratégica para o negócio.

Diversos autores e instituições vêm buscando identificar quais os impactos negativos do setor sucroenergético na atualidade, havendo constantemente indícios de más condições de trabalho, supressão de vegetação nativa, conflitos com pequenos produtores e poluição ambiental (ALVES, 2008; FACIOLI, 2008; FBOMS, 2006; REPÓRTER BRASIL, 2011; SCHLESINGER, 2008). E certamente esforços dos diferentes atores devem manter foco nestas questões.

A partir dessa reflexão, é possível perceber a crescente importância que as questões ambientais tiveram no setor sucroenergético, e correlacionar os

períodos descritos com as abordagens de gestão ambiental apresentadas por BARBIERI (2007), como mostra a Tabela 1.

CONCLUSÃO

Esse ensaio mostrou que a valorização de aspectos ambientais do etanol como fator determinante no setor sucroenergético é recente, sendo que só se torna parte da estratégia das usinas no período da pós-desregulamentação, já nos anos 2000.

Baseando-se na proposta de BARBIERI (2007) para a classificação das abordagens de gestão ambiental, é possível identificar fatores que levaram à mudança de abordagem: o controle da poluição é iniciado a partir da definição de parâmetros de qualidade ambiental e estruturação do órgão ambiental para fiscalização; a prevenção da poluição se inicia quando o setor precisa aumentar a eficiência de seu processo produtivo, aliado também a avanços na legislação ambiental sobre prevenção; e por fim, a abordagem estratégica se torna interessante para o fortalecimento da imagem do etanol como um combustível limpo, e também para cumprir os requisitos de sustentabilidade demandados por compradores com exigências nesse sentido.

A análise aqui apresentada não se debruçou sobre aspectos da qualidade da gestão ambiental das usinas e nem sobre a sua suficiência para a sustentabilidade. O ensaio identifica tão somente as linhas gerais das abordagens da gestão ambiental que acompanham a evolução histórica do setor sucroenergético em São Paulo.

É possível identificar que os instrumentos de comando e controle foram fundamentais para a implementação de ações de proteção ambiental no setor, sendo por muitos anos a única motivação para a redução dos impactos ambientais negativos nas usinas.

Esse quadro se transformou à medida que os benefícios econômicos da adequação ambiental foram percebidos, primeiramente para aumento da eficiência do processo produtivo e depois para alcançar novos mercados consumidores.

Com base na análise apresentada, é possível afirmar de forma inicial que há elementos que indicam avanços no amadurecimento da abordagem estratégica nas usinas. Esse avanço foi estimulado tanto por instrumentos de comando e controle, como o licenciamento ambiental, quanto por instrumentos de adesão voluntária como são as certificações.

Nesse sentido, pesquisas que apresentem diagnósticos e estudos prescritivos acerca da gestão ambiental com abordagem estratégica nas usinas de cana-de-açúcar se mostram atuais e interessantes para avanços na gestão ambiental no setor sucroenergético.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e FAPESP pela concessão de bolsas de estudo; e à FAPESP pelo apoio ao projeto AISE “O doce e o amargo da cana-de-açúcar: avaliação integrada de sustentabilidade para o contexto do etanol brasileiro”.

REFERÊNCIAS

ALCOPAR - Associação de Produtores de Bioenergia do Estado do Paraná. Histórico de Produção Brasil - Álcool Total. Disponível em: <http://www.alcopar.org.br/estatisticas/hist_prod_br.php>, Acesso em 12 de mai. 2012

ALMEIDA JR, A. R. De ; CEZARINO, K. M. S. Gestão e Comunicação Ambiental no Setor Sucroalcooleiro Paulista. In: V Encontro da Associação Nacional de Pós-

Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade. Anais... Florianópolis: ANPPAS, 2010.

ALVES, F. Processo de trabalho e danos à saúde dos cortadores de cana. *InterfacEHS - Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*, v. 3, n. 2, p. 26, 2008. Disponível em: <<http://www.interfacehs.sp.senac.br/index.php/ITF/article/viewFile/113/130>>.

AVOLIO, E. G. *Da (I)licitude das Queimadas da Palha da Cana-de-açúcar*. 2002, 218f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2002.

BARBIERI, J. C. *Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos*. 2a ed. São Paulo: Saraiva, 2007. 382p.

BERTAZI, M. H. A história ambiental como instrumento da gestão ambiental na produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. 2010, 106 f. Monografia (Trabalho de Graduação - Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo - São Carlos. 2010.

BM&F BOVESPA. Novo Valor: Sustentabilidade nas Empresas. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br/empresas/download/guia-de-sustentabilidade.pdf>>, 2011. Acesso em 01 de jun. 2012

[CETESB] Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Norma Técnica P4.231: Vinhaça - critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola. São Paulo: CETESB. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/servicos/normas/P4231.zip>>, 2006. Acesso em 01 de jun. 2012

CETRULO, T. B. *Instrumentos de Intervenção Governamental e Postura Ambiental Empresarial: uma análise da agroindústria canavieira do Estado de São Paulo*. 2010, 112f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2010.

CONSONI, A. M. de S. *A identificação da necessidade de mudança e os modelos de gestão como diferencial competitivo para os grupos do setor sucroalcooleiro*, Monografia de Pós Graduação (Especialização em Gestão Organizacional e Recursos Humanos) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009, 49 p.

CORAZZA, R. I. Reflexões sobre o papel das políticas ambientais e de ciência e tecnologia na modelagem da opções produtivas mais limpas numa perspectiva evolucionista: um estudo sobre o problema da disposição da vinhaça. In: III Encontro Nacional da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Anais... Recife: SBEE, 1999.

CRUZ, L. F. L. S. *Viabilidade técnica/econômica/ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça para o Setor Sucroenergético do Estado de São Paulo*. 2011, 136f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2011.

[DCI] Diário do Comércio & Indústria. Próxima Safra da Cana traz Dúvidas ao Setor. Diário Comércio Indústria & Serviços. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=87808>>, 2012. Acesso em 01 de jun. 2012.

DEAN, W. A ferro e fogo. A história da devastação da Mata Atlântica brasileira. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

DUARTE, C. G.; MALHEIROS, T. F. Qualidade Ambiental e o setor sucroenergético: análise de iniciativas no Estado de São Paulo. In: FIGUEIREDO, F. E. L. (Ed.). *Meio Ambiente Paulista: Relatório de Qualidade Ambiental 2012*. São Paulo: SMA/CPLA, 2012, p. 196-216.

FACIOLI, I. Cortadores de cana mortos no setor canavieiro paulista. In: SILVA, M. A. DE M.; ALVES, F.; PEREIRA, J. C. A. (Org.). *Agrocombustíveis: solução? A vida por um fio no eito dos canaviais*. São Paulo: CCJ - Centro de Capacitação da Juventude; Serviço Pastoral dos Migrantes, 2008. p. 19–21. Disponível em: <[http://www.cese.org.br/admin/fck_upload/files/Agrocombustveis - Soluo \(1\).pdf](http://www.cese.org.br/admin/fck_upload/files/Agrocombustveis - Soluo (1).pdf)>.

FARINA, E. Um futuro promissor. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/palavra-do-presidente/18631428920319334644/um-futuro-promissor/>> 2012. Acesso em: 4 mar. 2013.

FBOMS. *Agribusiness and biofuels: an explosive mixture – Impacts of monoculture expansion on the production of bioenergy*. Rio de Janeiro: Núcleo Amigos da Terra, 2006. p. 24 Disponível em: <http://www.natbrasil.org.br/docs/biocombustiveis/biocomb_ing.pdf>.

FERREIRA, P. A.; SILVA, S. S. Da e SILVA, A. T. B. Da. Governança Corporativa e o Novo Mercado: uma estratégia de capitalização para o setor sucroalcooleiro. In: IX SEMEAD - Administração no Contexto Internacional. Anais... São Paulo: FEA/USP.

FONTES FILHO, J. R.; PICOLIN, L. M. Governança Corporativa em empresas estatais: avanços, propostas e limitações. *RAP*, Rio de Janeiro, v. 42, n. 6: 1163-88, 2008.

GALLARDO, A. L. C. F.; BOND, A. Capturing the implications of land use change in Brazil through environmental assessment: Time for a strategic approach? *Environmental Impact Assessment Review*, v.31, n.3, p.261-270, 2011.

GOLDEMBERG, J. Ethanol for a sustainable energy future. *Science*, New York, v. 315, n. 5813, p. 808-10, 2007.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T. e GUARDABASSI, P. The sustainability of ethanol production from sugarcane. *Energy Policy*, v.36, n.6, p.2086-2097, 2008.

[IBGC] Instituto Brasileiro de Governança Corporativa. Guia de Sustentabilidade para as Empresas; Coordenação: Carlos Eduardo Lessa Brandão e Homero Luís Santos. São Paulo, SP: IBGC, 2007. 50p. (Série Cadernos de Governança Corporativa, 4).

IBGC - Instituto Brasileiro de Governança Corporativa. Código das Melhores Práticas de Governança Corporativa. 4.ed. / Instituto Brasileiro de Governança Corporativa. São Paulo, SP : IBGC, 2009. 73 p.

JABBOUR, C. J. C. e SANTOS, F. C. A. Evolução da gestão ambiental na empresa: uma taxonomia integrada à gestão da produção e de recursos humanos. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 13, n. 3, p.435-448, set.-dez. 2006

JANK, M. S. *O Futuro do Setor Sucroenergético: ações da UNICA e cenários*. São Paulo: Sugar Week, 2011a.

JANK, M. S. Etanol - Novo ciclo de crescimento. Disponível em: <http://www.unica.com.br/opiniaio/>, 2011b. Acesso em: 01 de jun. 2012.

JANK, M. S. Agricultura: Política estratégica, cana-de-açúcar e etanol.

- Disponível em:
<<http://www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=40056365>>, 2012. Acesso em 01 de jun. 2012.
- LAGO, A. A. C. Do. *Estocolmo, Rio, Johannesburgo: O Brasil e as três conferências ambientais das Nações Unidas*. 1. ed. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão (FUNAG); Instituto Rio Branco (IRBr); Ministério das Relações Exteriores, 2006. p. 276
- MACÊDO, F. dos S. *A Reestruturação do Setor Sucroenergético no Brasil uma análise do período entre 2005 e 2011*. 2011, 71f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo. 2011.
- MACEDO, I. de C. Emissões de GEE do setor de açúcar e etanol no Brasil: valores atuais e esperados. In: MACEDO, I. de C. (Org). *A Energia da Cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade*. São Paulo: Berlendis & Vertecchia/UNICA, 2005.
- MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. *Conhecendo o Brasil em Números*. Outubro ed. Brasília: MDIC, 2010. p. 27
- MDIC - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. *Conhecendo o Brasil em Números*. Junho ed. Brasília: MDIC, 2011. p. 27
- MEADOWS, D. H.; RANDERS, J. e MEADOWS, D. L. *Limits to Growth: The 30-Year Update*. White River Junction: Chelsea Green, 2004. 368 p.
- MELLO, F. O. T. De. *As metamorfoses da rede de poder agroindustrial sucroalcooleira no estado de São Paulo: da regulação estatal para a desregulamentação*. 2004, 175f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2004.
- MELLO, F. O. T. De; PAULILLO, L. F. Metamorfoses da rede de poder sucroalcooleira paulista e desafios da autogestão setorial. *Agricultura em São Paulo*, São Paulo, v. 52, n. 1, p. 41-62, jan./jun. 2005.
- MOLINA, N. S. *Marketing Ambiental e Certificações Socioambientais: uma análise no contexto do etanol brasileiro*. 2010, 127f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2010.
- MORAES, M. A. F. D. De. Desregulamentação da agroindústria canavieira: novas formas de atuação do Estado e desafios do setor privado. In: MORAES, M. A. F. D. DE; SHIKIDA, P. F. A. (Eds.). *Agroindústria canavieira no Brasil: evolução, desenvolvimento e desafios*. São Paulo: Atlas, 2002.
- MUNDO NETO, M. Atores na construção do mercado do etanol: a UNICA como foco da análise. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE SOCIOLOGIA. Anais... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Sociologia, 2009.
- MUSSATTO, S. I. et al. Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. *Biotechnology advances*, v. 28, n. 6, p. 817-30, doi:10.1016/j.biotechadv.2010.07.001, 2010.
- NASTARI, P. *The Brazilian Experience with Biofuels*. . São Paulo: Fórum das Américas, 2012.
- PAULILLO, L. F. Governança do Setor Sucroalcooleiro. São Paulo: IV Workshop de Pesquisa Sobre Sustentabilidade do Etanol.
- Disponível em:
<http://www.apta.sp.gov.br/cana/anexos/PPaper_sessao_3_Paulillo.pdf>, 2007. Acesso em: 13 de maio de 2011.
- PINA, A. P. A. *Governança Corporativa em Empresas Familiares de Capital Fechado: Estudo de Caso da Empresa Pinamak Soluções em Logística para o Segmento de Petróleo*. Dissertação (Mestrado em Administração) - Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas, Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro. 2011.
- [RFA] Renewable Fuels Agency. *The Gallagher Review of the indirect effects of biofuels production*. Ashdown House: Renewable Fuels Agency, 2008. p. 92 p.
- REPÓRTER BRASIL. *O Brasil dos Agrocombustíveis: Impactos das Lavouras sobre a Terra, o Meio e a Sociedade - Cana 2009*. São Paulo: ONG Repórter Brasil, Centro de Monitoramento de Agrocombustíveis, 2010.64p.
- REPÓRTER BRASIL. *O etanol brasileiro no mundo: Os impactos socioambientais causados por usinas exportadoras*. Centro de ed. São Paulo: ONG Repórter Brasil, 2011. p. 21
- RIBEIRO, H. Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil : efeitos à saúde respiratória. *Revista de Saúde Pública*, v. 42, n. 2, p. 370-376, 2008.
- ROGERS, P.; RIBEIRO, K. C. de S; SECURATO, J. R. Governança corporativa e limites para o desenvolvimento do mercado de capitais nacional: análise do risco brasil. Sem data. Disponível em: <<http://www.pablo.prof.ufu.br/artigos/enanpad1.pdf>> Acesso em 17 de julho de 2013.
- SALOMÃO, A. *A revolução que vem de fora*. Revista Exame, 2006. Disponível em:

<<http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/0862/noticias/a-revolucao-que-vem-de-fora-m0080806> > Acesso em: 17 de fevereiro de 2013.

SATOLO, L. F. Dinâmica econômica das flutuações na produção de cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2008.

SCHLESINGER, S. *Lenha Nova para a Velha Fornalha: a febre dos agrocombustíveis*. 1. ed. Rio de Janeiro: FASE, 2008. p. 108

[SMA] Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. *Projeto Estratégico Etanol Verde*. Resultado das Safras. 2012. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/resultadosafras.php>>. Acesso em: 25 abr. 2012.

[SMA] Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo; SAA - Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo; UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. *Protocolo Agroambiental*. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/documentos/protocoloAgroindustriais.pdf>>, 2007. Acesso em 5 de março de 2011.

SOARES, S. de S. S. e PAULILLO, L. F. de O. Governança corporativa em empresas sucroalcooleiras e de biodiesel: o novo mercado enquanto estratégia de capitalização. *Informações Econômicas*, v. 38, n. 3, p. 23-32, 2008.

SROUR, G. Práticas diferenciadas de governança corporativa: um estudo sobre a conduta e a performance das firmas brasileiras. *Revista Brasileira de Economia*. v.59, n.4, Rio de Janeiro Oct./Dec. 2005.

SULLIVAN, A. e SHEFFRIN, S. M. *Economics: Principles in Action*. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2002.

SZMRECSÁNYI, T. e MOREIRA, E. P. O Desenvolvimento da Agroindústria Canavieira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial. *Estudos Avançados*, v. 11, n. 5, p. 57-79, 1991.

[UNICA] União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Novos termos e expressões marcam a comunicação do setor, agora sucroenergético. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/2401714692039673243/novos-termos-e-expressoes-marcam-a-comunicacao-do-setor-por-cento2C-agora-sucroenergetico/>>, 2009. Acesso em: 4 mar. 2013.

[UNICA] União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Relatório de Sustentabilidade GRI. . São Paulo: UNICA. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/download.asp?mmdCode=C5F865E2-ADE8-42BD-B357-4FC9A06B4133>>, 2010. Acesso em 14 de abril de 2012.

[UNICA] União da Indústria de Cana-de-Açúcar. Lideranças do setor sucroenergético cobram políticas públicas em audiência no Senado. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/871626920312979436/liderancas-do-setor-sucroenergetico-cobram-politicas-publicas-em-audiencia-no-senado/>>. 2012a. Acesso em: 14 fev. 2013.

[UNICA] União da Indústria de Cana-de-Açúcar. UNICA defende incentivos financeiros concretos na indústria da cana em evento da FIESP. UNICA Notícias, 2012b. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/7813915920331483908/unica-defende-incentivos-financeiros-concretos-na-industria-da-cana-em-evento-da-fiesp/>>. Acesso em 13 de abril de 2012.

[UNICA] União da Indústria de Cana-de-Açúcar. UNICA vê expectativa entre os produtores após declarações de Dilma Rousseff sobre etanol. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/19404741920343166366/unica-ve-expectativa-entre-os-produtores-apos-declaracoes-de-dilma-rousseff-sobre-etanol/>>. 2013. Acesso em: 4 mar. 2013.

UNICADATA. Licenciamento anual de autoveículos novos no Brasil (ciclo Otto) por tipo de combustível. . São Paulo: UNICA. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/listagem.php?idMn=54>>, 2013. Acesso em: 19 de maio de 2013.

UNITED NATIONS. *The future we want*. . Rio de Janeiro: UN, 2012.

VERDI, A. R.; AOUN, S. e TORQUATO, S. A. Globalização do agronegócio brasileiro: estratégias do grupo cosan. In: ANAIS DO 49o CONGRESSO SOBER. Anais... Belo Horizonte: SOBER, 2011.

VIAN, C. E. de F. e BELIK, W. Os desafios para a reestruturação do complexo agroindustrial canavieiro do Centro-Sul. *Economia*, v. 4, n. 1, p. 153-194, 2003.

VIEGAS, R. Projeto Ambiental Etanol Verde. . São Carlos: Apresentação no Workshop de Avaliação Integrada de Sustentabilidade no contexto do etanol, 2010.

VIEIRA, S. P. e MENDES, A. G. S. T. Governança Corporativa: Uma Análise de sua Evolução e Impactos no Mercado de Capitais Brasileiro. *Revista do BNDES*, v. 11, n. 22, p. 103-122, 2004.

WATANABE, M. A *desregulamentação do setor sucroalcooleiro e seu impacto na estratégia de produção das usinas no Estado do Paraná*. Dissertação (Mestrado em Administração) -

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre. 2001.

[WCED] World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. [S.l.]: UN, 1987. v. Report ofp. 300

WINTER, E.; LIMA, A. A. e MENDES, C. D. de S. Mapeamento tecnológico da cadeia produtiva do etanol proveniente da cana-de-açúcar sob enfoque dos pedidos de patentes. In: CORTEZ, L. A. B. (Ed.). *Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade*. São Paulo: Blucher, 2010. p. 87-100.

[WWI] World Watch Institute. *Biofuels for transportation: Global Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century (Summary)*. Washington DC: Worldwatch Institute, 2006.

ZAIA, C. *Socorro Tardio*. Disponível em:
<http://www.istoedinheiro.com.br/noticias/117759_SOCORRO+TARDIO>. Acesso em: 30 abr. 2013.

ZANCUL, A. Comunicação pessoal. São Carlos: [s.n.], 2012.

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

Pasivos ambientales en la agroindustria de la caña de azúcar y el etanol en Colombia

Environmental liabilities in the sugarcane and ethanol industry in Colombia

RESUMEN

La industria de la caña de azúcar en Colombia es un sector de creciente trascendencia para la economía nacional, que ha incrementado su importancia estratégica con la producción de etanol desde 2005. Sin embargo, los éxitos económicos del sector cañicultor no han sido gratuitos en términos ambientales. Su dinámica productiva lleva implícita una gran huella ecológica que se refleja en el uso intensivo de recursos naturales y en sus procesos contaminantes. Partiendo del concepto de pasivos ambientales, que corresponde a los costos ecológicos no asumidos por la actividad económica que los genera, y son trasladados a diferentes grupos de la población y al entorno natural, se cuantificaron monetariamente los pasivos ambientales de la agroindustria de la caña de azúcar en Colombia para el periodo 1990-2007. Los pasivos ambientales estimados fueron: el uso y la apropiación del agua por parte de la actividad agrícola cañera; la contaminación del recurso hídrico en la actividad transformadora; y la contaminación atmosférica por la quema de caña. El estudio permitió aproximarse a una valoración económica de la deuda ambiental del sector cañicultor que ayuda a visibilizar su responsabilidad con la insustentabilidad ambiental de la región, y en consecuencia, lo obliga a redoblar esfuerzos para asumir un mayor compromiso con la justicia y la ética ambiental.

PALABRAS CLAVE: Caña de azúcar; Colombia; Deuda ecológica; Pasivos ambientales; Valoración económica de la calidad ambiental.

ABSTRACT

The sugarcane industry in Colombia is a sector of growing importance to the national economy. The sector has increased its strategic importance with the production of ethanol since 2005. However, the economic successes of the sector have not been free in environmental terms. Its production dynamics implies a large footprint, which is reflected in the intensive use of natural resources and polluting processes. Based on the concept of environmental liabilities, which corresponds to the ecological costs not borne by economic activity that produces them, and are transferred to different population groups and the natural environment, we quantified monetarily environmental liabilities of the sugarcane industry in Colombia for the period 1990-2007. The estimated environmental liabilities were: the use and appropriation of water by sugarcane farming; pollution of water resources for transforming activity; and air pollution from burning cane. The study allowed to approach an economic valuation of environmental debt sugar sector that allows your responsibility to make visible environmental un-sustainability of the region and therefore to redouble efforts to assume a greater commitment to justice and environmental ethics.

KEYWORDS: Sugar cane, Colombia, Ecological Debt, Environmental liabilities, Economic valuation of environmental quality.

Mario Alejandro Pérez Rincón

Doctor en Economía Ecológica, Profesor Universidad del Valle - Instituto CINARA Meléndez, Cali, Colombia
mario.perez@correounivall e.edu.co

Tadeu Fabricio Malheiros

Doctor en Salud Pública, Profesor Universidad de Sao Paulo (USP), São Carlos – SP – Brasil
tmalheiros@usp.br

INTRODUCCIÓN

La industria de la caña de azúcar en Colombia se ubica esencialmente en los departamentos del occidente del país: Valle del Cauca, Cauca y Risaralda, teniendo sembradas en la actualidad un poco más de 220 mil hectáreas (ver Figura 1). Desde el siglo XIX, la actividad se expandió por esta región hasta convertirse hoy en día en una de las principales industrias del país, con una elevada productividad (126 ton de caña y 12 de azúcar por ha, superando a Australia y Brasil), y con una muy consolidada cadena productiva que la convierte en la base del desarrollo económico y social de estos departamentos, en particular del Valle del Cauca.

Este desarrollo agroindustrial le ha permitido al sector convertirse en un fuerte interlocutor a nivel gremial que le ha ayudado a conseguir importantes apoyos por parte del gobierno nacional. Así, el sector cañero y azucarero ha sido objeto de variadas políticas públicas de soporte por parte del Estado y de la sociedad colombiana en su conjunto, aspecto que le han permitido incrementar su base económica y con ello mejorar su posición estratégica en la economía nacional.

El avance del monocultivo de caña en los últimos años, se enmarca en el desarrollo de los grandes proyectos agroindustriales que ha venido impulsando el gobierno nacional como política de desarrollo agropecuario. En particular, los cultivos para agrocombustibles (principalmente caña de azúcar y palma aceitera) vienen recibiendo enormes incentivos, a través de una estructura normativa basada en tres pilares: i) la obligatoriedad en el consumo que promueve la mezcla de gasolina con etanol iniciando con un 10% (E10) a 2009 [Ley 693/2001], pero con la perspectiva de intensificarse al 85% (E85) para los nuevos motores a partir de 2012 con

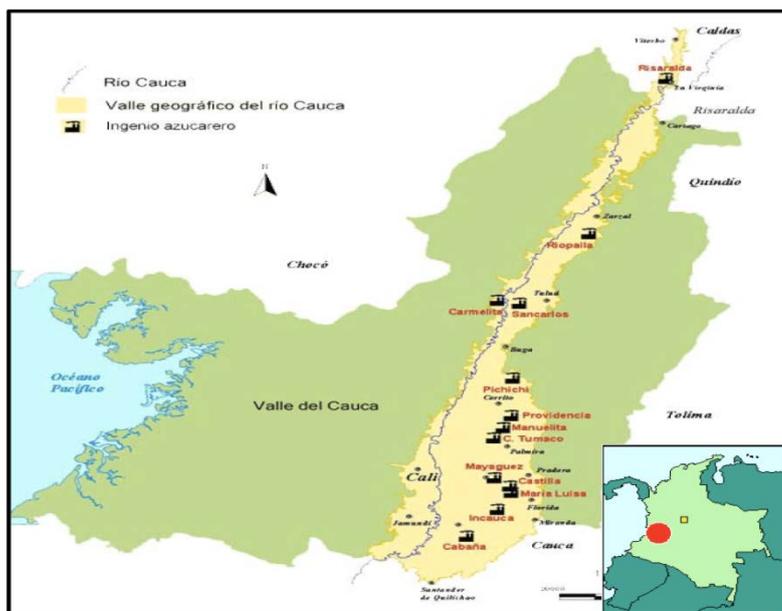


Figura 1 - Localización zona productora de caña de azúcar en Colombia y sus ingenios azucareros

Fuente: www.asocaña.com.co

el Decreto 1135 de 2009. ii) Exenciones tributarias en IVA, Impuesto Global y Sobretasa al componente de alcohol en combustibles (Ley 788 de 2002 de reforma tributaria); iii) Precios de sustentación que permiten hacer atractivo el negocio a costa de un pago mayor por parte de los consumidores. Resultado de esta política, cinco de los 14 ingenios azucareros han instalado destilerías en sus plantas con una capacidad de producción de 1,250,000 litros diarios de etanol que abastecen el 60% del mercado interno. Se mencionan otras 7 plantas que entrarían en funcionamiento en 2012-2013, que generarían 1,250,000 litros diarios adicionales.

En suma, la industria cañera es un sector poderoso y altamente subsidiado a través de un esquema de precios de sustentación de algunos de sus derivados como el azúcar y de importantes exoneraciones impositivas al etanol. Pero además, a la par de estos subsidios económicos, existen también subsidios ecológicos, relacionados con la explotación de los recursos naturales y los impactos ambientales de sus procesos

productivos que no son incluidos en los costos de producción, y se trasladan al resto de la sociedad y de los ecosistemas a través del uso y contaminación del agua y del suelo, la contaminación atmosférica por la quema de la caña y otros efectos perversos sobre el ambiente y la salud pública. Ello ha creado una **deuda ecológica** del sector cañicultor con la sociedad y con el ambiente que lo obliga a redoblar su responsabilidad social con la justicia y la ética ambiental. Esta deuda ecológica equivale a los **pasivos ambientales** que genera una actividad económica por el uso indiscriminado de los recursos naturales y de los servicios ambientales sin que la actividad asuma plenamente los costos sociales relacionados con estos impactos.

En este escenario, el presente escrito tiene como propósito identificar y cuantificar la deuda ecológica o los pasivos ambientales del sector cañero en Colombia, haciendo énfasis en los departamentos del Valle del Cauca, Cauca y Risaralda, donde se cultiva el 95% de la caña de azúcar del país. Con este trabajo se pretende

mostrar como a la par de la inmensa riqueza generada por un sector económico como el cañicultor, se generan igualmente importantes impactos ambientales que perjudican los ecosistemas y con ello su capacidad de generar servicios ambientales afectando la calidad de vida de un número importante de personas que habitan estos territorios y a otros seres vivos. Por ello, el sector cañicultor deberá invertir importantes recursos para disminuir estos impactos ambientales y reducir sus pasivos ecológicos; pero igualmente, la autoridad ambiental deberá mantener un control más estricto sobre esta actividad para conducirla hacia una senda menos impactante y hacia la búsqueda de la justicia ambiental y la sustentabilidad.

Para alcanzar estos objetivos, este artículo está organizado como sigue. Después de esta introducción, se presenta un marco conceptual que aborda el tema de la deuda ecológica y los pasivos ambientales, mostrando sus significados, orígenes y propósitos, pero también señalando algunas limitaciones. Igualmente, se mostrarán ejemplos sobre casos importantes de deudas ambientales llevadas al escenario jurídico en diferentes países. En el tercer punto se hará una síntesis de la evolución económica del negocio azucarero en Colombia en los últimos años que permite contextualizar el punto cuarto, donde se aborda la cuantificación de los pasivos ambientales del cultivo y procesamiento de la caña. Para ello, se identifican y cuantifica el uso de las funciones ambientales (abastecedora y receptora) en términos biofísicos. Con base en ello, se hacen estimaciones monetarias de los impactos ambientales asociados al uso intensivo de tales funciones por parte de la industria azucarera. Finalmente, se entregan las conclusiones.

Se resalta, que la mayor parte de la información de este

trabajo es extraída de los informes de Asocaña, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Minas y Energía, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE). El periodo de análisis que cubre este trabajo corresponde en el área productiva al periodo 1990-2011. En la estimación de los pasivos ambientales los cálculos se hacen para un periodo más corto por limitaciones de información: 1990-2007.

DEUDA ECOLÓGICA Y PASIVOS AMBIENTALES: CONCEPTOS EN CONSTRUCCIÓN

La deuda ecológica y los pasivos ambientales son un tema trabajado por diferentes grupos sociales y académicos comprometidos en la búsqueda y defensa de la sustentabilidad y la justicia ambiental. Este concepto busca evidenciar las presiones ejercidas por las desiguales relaciones sociales, económicas y políticas, tanto a nivel nacional como internacional, que permiten trasladar los costos y cargas ambientales a ciertos territorios y grupos de personas que asumen los impactos ecológicos, para satisfacer las necesidades de consumo y el nivel de vida de las regiones importadoras. Esta realidad genera una gran división espacial del trabajo entre regiones (países natural intensivos – países natural extensivos; campo - ciudad, etc.), que produce un desequilibrio en la distribución global de los costos (en términos de la presión ambiental) y de los beneficios (en términos del estándar de vida) del uso de materiales y energía asociados al intercambio comercial, que tiene como resultado una disminución de las condiciones de vida de la población donde se desarrolla la actividad económica y un saqueo de su patrimonio natural. Bajo este

esquema analítico la deuda ecológica tiene dos perspectivas (BORRERO, 1996):

“una obligación con la biosfera por las intervenciones incompatibles en sus sistemas y procesos ecológicos que provocan la destrucción de los ecosistemas y una obligación con la humanidad por los daños a la base biofísica de las sociedades generados por islas de privilegio y economías de despilfarro cuya consecuencia es el empobrecimiento y exclusión de amplias mayorías humanas y el avasallamiento de culturas” (p. 1).

El concepto de deuda ecológica nace a finales de la década de 1980 en el Instituto de Ecología Política de Chile (ROBLETO y MARCELO, 1992). Posteriormente es retomado en los tratados alternativos entre Organizaciones No Gubernamentales en Río de Janeiro (1992), desarrollado de manera más amplia en el caso colombiano por el abogado José María Borrero en 1994, y finalmente extendido hacia una perspectiva académica, social y política en los años siguientes (MARTÍNEZ ALIER, 2001, 2002, 2003 y 2007; GUDYNAS, 2001; TORRAS, 2003; SIMMS, 2005; CORRAL, 2006). En Colombia se han realizado algunos ejercicios para identificar deudas ecológicas y pasivos ambientales desde las organizaciones sociales (CENSAT, 2001), y ahora se inicia un trabajo en las universidades e instituciones formales de educación (ORTÍZ 2007; PÉREZ, 2008).

Sin embargo, es importante seguir ampliando esta base de conocimiento, aportando elementos conceptuales, metodológicos y empíricos con el fin de dar mayor solidez a esta herramienta que

ayuda a visibilizar la problemática ambiental, y alcanzar mayores niveles de legitimidad como aquéllos en Ecuador, donde la deuda ecológica y los pasivos ambientales son reconocidos a nivel gubernamental y se utilizan como argumento en las negociaciones políticas internacionales con la meta de garantizar la soberanía y autonomía de los pueblos, pero también para recuperar parte de los costos ambientales generados por empresas en los tribunales nacionales e internacionales, como en el caso Chevron-*Texaco* (MARTÍNEZ ALIER, 2010).

Pero, ¿qué se define como deuda ecológica o ambiental?. En la historia de este concepto aparecen varias definiciones complementarias. ROBLETO y MARCELO (1992), sostienen que deuda ecológica "*es el patrimonio vital de la naturaleza, necesario para su equilibrio y reproducción, que ha sido consumido y no restituido a ella*" (p. 8), incluyendo tanto los llamados recursos naturales como los procesos ecológicos. BORRERO (1996) por su parte señala que "*corresponde al conjunto de externalidades sociales y ambientales no asumidas, para las cuales debería haber una cuantificación así como un "pago" a la naturaleza con políticas ambientales efectivas*" (p. 4). En forma más reciente y haciendo referencia a espacios territoriales, "*la deuda ecológica es aquella que resulta del uso del patrimonio natural (atmósfera, agua, ciclos de nutrientes, biodiversidad, etc.) de un país o un territorio por parte de otro país o territorio, para mantener sus niveles de vida y de consumo*" (HEMLEY, 2005, p. 36).

Por su parte, MARTÍNEZ ALIER (2001, p. 25-27 y 2007) desagrega la deuda ecológica en varios componentes: la *deuda del carbono*, referida a la sobreutilización de la capacidad de sumidero de la atmósfera, los océanos y los bosques por las emisiones de gases efecto

invernadero; la *biopiratería*, que se refiere al saqueo de la biodiversidad y los conocimientos asociados a ella que realizan corporaciones, gobiernos e individuos de países industrializados; los **pasivos ambientales**, que corresponden a la deuda adquirida por los efectos o impactos de las actividades económicas de empresas nacionales y extranjeras, principalmente extractivas, sobre las comunidades y el entorno natural; y por los costos que no se pagan, como en el caso de la pérdida de suelo, biodiversidad, agua por la producción a gran escala y posterior exportación de flores, banano, café, caña de azúcar entre otros. Y finalmente, la *exportación de residuos tóxicos* originados en los países industrializados y depositados en los países más pobres. En este marco analítico, mientras la deuda ecológica abarca un concepto más centrado en el territorio a diferentes escalas (nacional, regional, local), los **pasivos ambientales** ("*Environmental Liability*" en inglés) tienen el énfasis centrado en los agentes económicos, ya sea empresas o sectores productivos.

A nivel de territorios nacionales, la deuda ecológica hace referencia al agotamiento del patrimonio natural de un país, a su usufructo desproporcionado, para sostener un modo de vida insostenible desde el punto de vista energético y ambiental de otros países. A nivel empresarial o sectorial se quiere resaltar el excesivo uso de recursos naturales y servicios ambientales, y la contaminación producida, para mantener la dinámica creciente de una actividad económica que deteriora la base ecosistémica de una región, generando **pasivos ambientales** sobre otros grupos poblacionales que habitan el mismo espacio geográfico u otros territorios circunvecinos que también pueden ser afectados. Este es el enfoque que será utilizado en este artículo.

De otra parte, aunque este agotamiento es inconmensurable en

términos monetarios, debido al carácter vital de su existencia, su estimación es un ejercicio pedagógico y político, pero cada vez más jurídico, que permite visibilizar esta problemática y enfrentarla a los instrumentos de control por parte de las economías industrializadas y de los sectores económicos más poderosos¹. Así, la estimación de la deuda ecológica a nivel de las naciones y de los pasivos ambientales a nivel de las empresas, se proponen como una estrategia de resistencia a las presiones ejercidas por algunos países y grupos económicos sobre la población del mundo, con el objetivo de evidenciar las injusticias ambientales y buscar formas de vida más sostenibles, autónomas y equitativas. Es necesario decir también, que esta estrategia de resistencia ha venido adquiriendo un enfoque cada vez más jurídico, tanto en el plano nacional como en el internacional, lo que acrecienta la necesidad de cuantificar los pasivos ambientales.

En consonancia con el discurso moderno de la sustentabilidad y de la responsabilidad social del mundo corporativo, las preocupaciones ambientales deben reflejarse en forma creciente en la contabilidad de las empresas. En el balance contable de las mismas hay Activos

¹ GUDYNAS (2001, p. 3) recuerda las contradicciones del concepto *Deuda Ecológica* con los principios conceptuales de los movimientos que impulsan el término como estrategia política: el "ecologismo popular", la ecología política (EP), la economía ecológica (EE) y los movimientos de base, ambientales y sociales, de los países del Sur que usualmente están en contra del reduccionismo económico. "El concepto de deuda ambiental genera dos problemas interrelacionados, el de la economización de la naturaleza y el de la cuantificación de la deuda en términos monetarios". Apelar al concepto de *deudor* reclamando la cuantificación de esa deuda lleva directamente a la asignación de precios, expandiendo la valoración económica a la naturaleza.

(lo que la empresa tiene) y Pasivos (lo que la empresa debe). En el Pasivo hay deudas a corto y largo plazo, ya sea a los proveedores o a los bancos, o al estado como impuestos. Sin embargo, estas empresas no incluyen las deudas con los damnificados por daños ambientales como Pasivos porque dicen que estas caen por fuera de la contabilidad porque son "externalidades". Empero, "esta actitud es cada vez más criticada por los propios economistas que claman por la "internalización de las externalidades" en el sistema de precios" (MARTÍNEZ ALIER, 2010, p. 2). En forma contraria a la Ciencia Económica, el Derecho nunca ha aceptado la noción de "externalidad". Así, nos lo recuerda MARTÍNEZ ALIER (2010):

"El Derecho exige la reparación y restauración de los daños, ya desde antes que se implantara en los tratados internacionales y legislaciones nacionales el principio de "Quien Contamina, Paga". Ese principio no es, en Derecho, ninguna novedad, la legislación sobre responsabilidad y daños siempre lo ha reconocido así. Pero además, los Pasivos Ambientales incluyen tanto los costos de prevenir daños futuros como los valores económicos por los daños causados durante la operación de la empresa". (p. 2)

Aunque es en el Derecho donde aparece un largo listado de procesos judiciales que buscan cobrar pasivos ambientales, es en la economía ambiental donde se desarrollan las herramientas para cuantificar las indemnizaciones o pagos que se deben hacer para tratar de compensar los daños materiales y morales de las poblaciones afectadas y tener

recursos para la restauración del medio ambiente. MARTÍNEZ ALIER (2002, 2003, 2011) hace un inventario amplio de varios procesos en diferentes documentos, dentro de los cuales se pueden resaltar: el caso reciente de la Chevron-Texaco en Ecuador, donde un juez de Sucumbíos en Nueva Loja, el 14 de febrero de 2011, emitió sentencia que obliga a pagar a la transnacional US\$ 9.500 millones de dólares por el deterioro de la selva amazónica y de sus comunidades generado por su actividad extractiva desde los sesenta (la sentencia se puede ver en REDIBEC, 2011). Otro caso reciente y ampliamente conocido es la tragedia producida por una fuga continua de petróleo que provocó en mayo de 2010 la British Petroleum (BP) en el Golfo de México. A la BP se le obligó depositar una fianza de 20,000 millones de dólares para hacer frente a una parte de las responsabilidades que deberá afrontar. Igualmente, en el Delta del Níger en Nigeria, se conoció una sentencia que condenaba a la Shell a "dejar como estaba" una zona que contaminó desde 1960, obligándola a pagar US\$ 105 millones a una pequeña comunidad por una superficie dañada de 255 hectáreas (MARTÍNEZ ALIER, 2011, p. 3). Finalmente, son conocidas las demandas contra las industrias de asbestos y de tabaco por los Pasivos ambientales y de salud pública generados por sus actividades².

² En la actualidad se desarrolla un importante proyecto a nivel mundial relacionado con este tema: EJOLT, *Environmental Justice Organisations, Liabilities and Trade*. EJOLT (www.ejolt.org/es) es un proyecto colaborativo que busca acercar a la ciencia y a la sociedad para analizar e inventariar los conflictos de distribución ecológica con el propósito de enfrentar la injusticia ambiental. Tiene como uno de sus principales objetivos recopilar y poner a disposición un "Mapa de injusticia ambiental", que corresponde a una gran base de datos de extracción de recursos y conflictos ambientales que

Estos, y muchos otros casos prueban, que es posible en Derecho, obligar al pago de enormes deudas y pasivos ambientales a empresas que generaron importantes impactos que afectaron a diferentes grupos de la población. Un paso inicial para ello es la identificación y cuantificación de estos impactos y esto es lo que se hará en el presente artículo para el negocio de la caña de azúcar en Colombia. Sin embargo, antes de desarrollar este tema, veamos como es el contexto de la dinámica económica del sector cañicultor en los últimos años en el país.

DINÁMICA ECONÓMICA DEL SECTOR CAÑICULTOR EN COLOMBIA

Las condiciones geográficas y ambientales del valle geográfico del río Cauca (Cauca, Valle y Risaralda) son excepcionales para el desarrollo del cultivo de la caña de azúcar: 1000 metros sobre el nivel del mar, temperatura promedio de 25 grados centígrados con oscilaciones de 12 grados entre el día y la noche, brillo solar superior a las 6 horas diarias, humedad relativa de 76% y una precipitación promedio de 1,400 milímetros (ASOCAÑA, 2004) [Figura 1]. Estas condiciones han permitido el avance de la cañicultura en esta zona del país por más de 140 años desde que en 1867 se construyó el primer trapiche en el antiguo departamento del Cauca, hasta convertirse hoy en la región de mayor producción azucarera de Colombia, pasando por varias etapas de auge. Casi se duplica el área sembrada entre los sesenta y los ochenta al pasar de 64 mil a 110 mil ha, debido al aumento de las exportaciones de azúcar a EEUU que en los sesenta había

van desde la lucha política hasta la lucha jurídica para disminuir y cobrar sus pasivos ambientales.

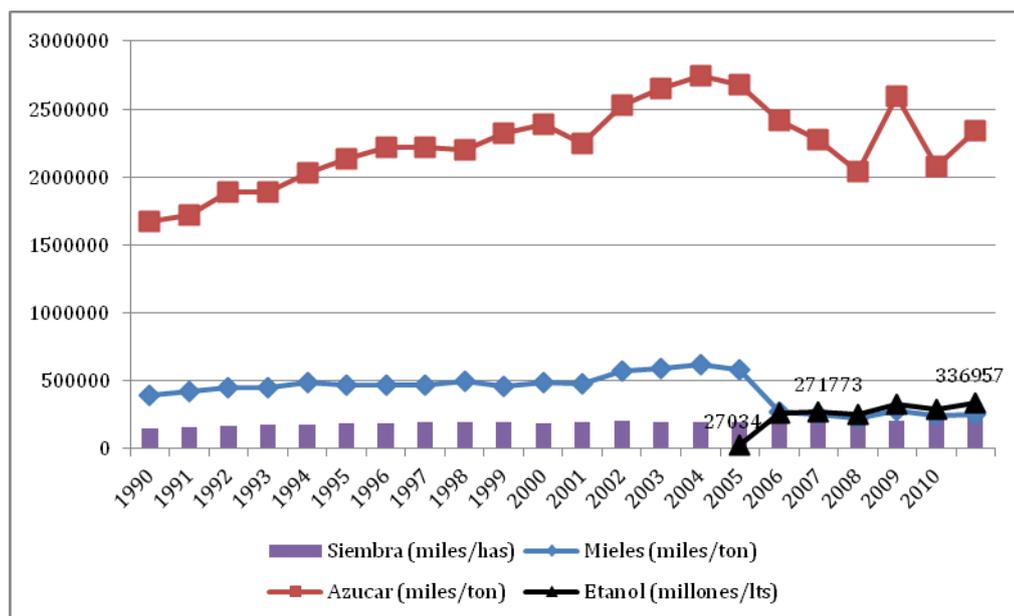


Figura 2 - Dinámica productiva de la industria cañera en Colombia (1990-2011)
Fuente: ASOCAÑA (2011).

cancelado sus compras a Cuba (RAMOS, 1994). Por su parte, la apertura económica de los noventa acentúa el proceso de especialización de la región hacia el cultivo de la caña de azúcar hasta alcanzar las actuales 225 mil ha sembradas en 2011, que representan la mitad de la disponibilidad de tierra del valle geográfico (Figura 2).

Los principales productos elaborados por el sector cañicultor, son el azúcar, las mieles y más recientemente el etanol que le abre un nuevo panorama de negocios al sector impulsado por los altos precios del petróleo resultado de su creciente escasez y la alta demanda energética. En términos de producción azucarera esta pasó de 1,2 a 2,6 millones de toneladas entre 1980 y 2009³. Parte de este despeje azucarero, se explica por la dinámica exportadora que se incrementó de 280 mil ton de azúcar y derivados en 1980 a 1,2 millones en 2005, para luego descender a 478 mil ton en 2008 por el desplazamiento del

cultivo de caña hacia la producción de etanol. Para 2009, se produce una recuperación de las exportaciones azucareras a 1,1 millones de ton. La producción de miel por su parte se ha reducido al pasar de 321 mil ton en 1980 a 279 mil en 2009 y 254 mil en 2011 (ASOCAÑA, 2011).

Por su parte, el nuevo negocio agrocombustible, apoyado por las políticas gubernamentales, ha crecido en su producción desde su inicio en 2005 al pasar de 29 millones a 325 millones de lts de etanol en 2009 (ver Figura 2). Para 2011 alcanzó una producción de 337 millones de lts. Se estima además que a mediados de 2013 entrarán en operación las plantas de Bioenergy (Meta) y de Agrifuels (Magdalena), incrementándose la oferta del país a más de 513 millones de litros en ese año. Para 2014 entrarían en operación tres proyectos más con una capacidad de producción adicional de 500.000 litros por día. Así, la producción de alcohol en 2014 alcanzaría los 706 millones de litros, suficiente para una mezcla de 15.8% con gasolina del país (ASOCAÑA, 2011).

Esta dinámica, ha permitido crear y consolidar un gran

conglomerado (*cluster*) en la región, que produce y vende en la actualidad una gran variedad de productos y servicios, compuesto por cerca de 1200 proveedores de caña de azúcar, 14 ingenios, más de 40 empresas procesadoras de alimentos, bebidas y licores; dos cogeneradoras de energía eléctrica; un productor de papel, tres industrias sucroquímicas, más de 50 grandes proveedores especializados y varias empresas de terciarización laboral, que la han constituido como la columna vertebral del desarrollo económico y social de estos departamentos (CNP, 2002). A este gran conglomerado se le suman las cinco destilerías de alcohol carburante que están operando dentro de sendos ingenios azucareros en la actualidad en el valle del río Cauca. Este complejo industrial, le ha conferido al sector un gran poder político que se traduce en una elevada injerencia sobre las autoridades no solo departamentales, sino del nivel nacional, poder que se ha acrecentado con la producción de etanol, al mejorar su posición estratégica en la economía del país. En el plano regional y en el tema ambiental, esta situación facilita lo

³ Por el desplazamiento de la producción de azúcar hacia el etanol, en 2011 la producción azucarera descendió a 2,3 millones de toneladas.

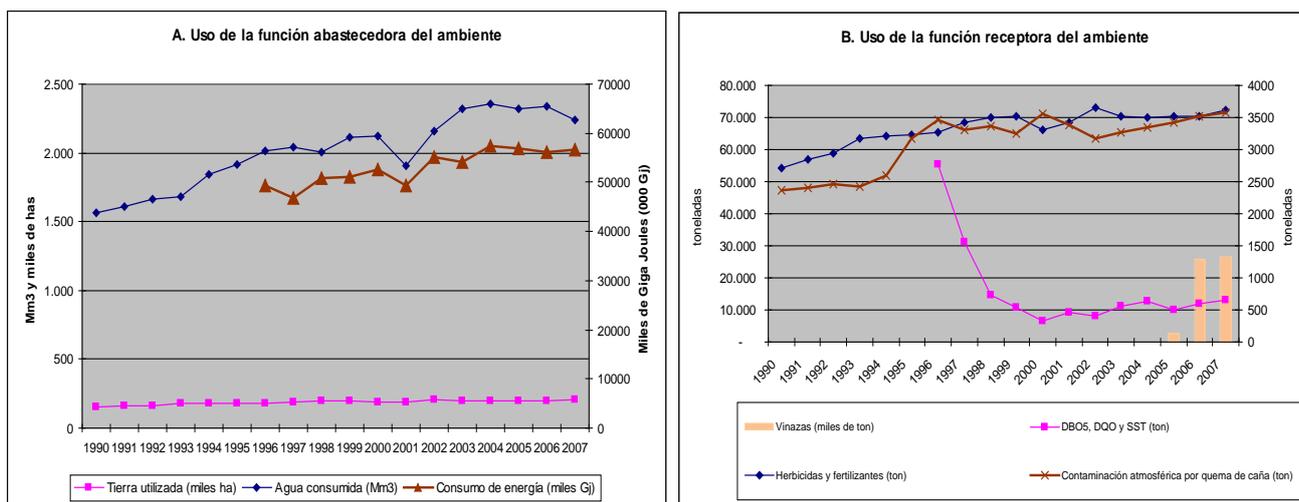


Figura 3 - Uso de recursos naturales por parte del sector cañicultor en Colombia: fases de cultivo y producción de azúcar y etanol (1990-2007)

Fuentes: Para función abastecedora con base en: Agua consumida (CHAPAGAIN Y HOEKSTRA, 2004 y PÉREZ, 2008); tierra utilizada y energía consumida (incluye producción de etanol) [ASOCAÑA, 2008]. Para función receptora: DBO5, DQO y SST (ASOCAÑA, 2008; incluye tanto la producción de azúcar como de etanol); Herbicidas y Fertilizantes (CENICAÑA, 1995); Contaminación atmosférica por quema de caña (MADRIÑAN, 2002 y DÁVALOS, 2007) y producción de vinazas (CHAVARRÍA, 2008 y ASOCAÑA, 2008).

Notas: Mm³ = Un millón de m³; GJ = Mil millones de Joules

que se ha denominado la “captura” de la autoridad ambiental, que limita su capacidad de actuación en el control y la regulación ambiental particularmente en los departamentos de Valle y Cauca.

LA DEUDA AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA CAÑERA COLOMBIANA

Uso intensivo de las funciones ambientales por parte del sector cañicultor

El éxito económico del sector cañicultor mediante el cual ha podido consolidar un importante *cluster* con poder político-empresarial, no ha sido gratuito en términos ambientales y sociales. Esta gran dinámica económica lleva también implícita una gran huella ecológica que se refleja en el uso de los recursos naturales y en sus procesos contaminantes asociados. Ello ha conllevado a importantes conflictos ambientales relacionados con problemas ecológicos que han venido padeciendo las comunidades que viven cerca a los cultivos. Además, los grandes problemas

ecológicos generados por el cultivo cañero, se han mantenido casi por fuera del control de la autoridad ambiental por el gran poder político, económico y de cabildero que tiene el gremio.

El sector cañicultor es un usuario intensivo de recursos naturales, tanto de la función abastecedora del ambiente que provee de recursos a la actividad económica como de la función receptora que permite asimilar los desechos. En la Figura 3, se aprecia con claridad el uso intensivo de recursos naturales por parte del sector, encontrando una dinámica creciente en la demanda de agua, tierra y energía que corresponden a la función proveedora del ambiente (parte A)⁴, y una dinámica que tiene diferentes comportamientos en la

⁴ Estimaciones a partir de datos de ASOCAÑA (2008) en área sembrada; CHAPAGAIN y HOEKSTRA (2004) y PÉREZ (2008) para el cálculo de la huella hídrica de la caña; y, ASOCAÑA (2007) para la cantidad de energía consumida para la producción de azúcar complementando la información con el uso de energía para la fabricación de etanol usando la equivalencia de 29 litros de etanol por cada quintal de azúcar (50 kg.) tomada de KALMANOVITZ (2008).

función asimiladora de la biosfera (parte B): por un lado, la contaminación de suelos y aguas y la atmosférica se han visto incrementadas en forma respectiva por el uso intensivo de herbicidas y fertilizantes⁵ y por la quema de la caña de azúcar para su cosecha⁶.

Igualmente, los niveles de contaminación del suelo y del agua también se han visto presionados al

⁵ Estos se estiman con base en la suma de lo utilizado en fertilizantes y herbicidas, alcanzado para 2007 un nivel de consumo de 72 mil toneladas. En fertilizantes, acorde a CENICAÑA-QUINTERO (1995, p. 146), se recomienda usar en promedio para diferentes tipos de suelos 250 kg/ha de nitrógeno (urea) y entre potasio, fósforo y calcio otros 100 kg/ha. Para herbicidas, acorde a CENICAÑA-GÓMEZ (1995, p. 150), se recomienda usar 5,7 kg/ha correspondientes a: 2,5 kg/ha de Ametrina; 1,5 kg/ha de Diurón polvo; 1,5 kg/ha de 2,4-DA (diamina) y 0,2 kg/ha de Surfactante. Se ha supuesto que un litro equivale a 1 kg.

⁶ Se estimó con base en el área de caña quemada suministrada por la CVC (70% del área total) y un factor de emisión de 75,9 Kg de PM10 (partículas menores a 10 micras) por hectárea quemada al día con base en MADRIÑAN (2002) y DÁVALOS (2007).

alza por la producción de vinazas, principal subproducto de la producción de etanol, el cual aunque tiene un importante potencial de uso como abono, también tiene un significativo nivel de contaminación por su riqueza en materia orgánica⁷, aspecto que puede incrementarse por el efecto masa al aumentar la producción de etanol en el tiempo, fenómeno que afecta su potencial económico de reuso. Por el contrario, se aprecia una disminución importante de la contaminación hídrica (DBO5, DQO y SST) asociada a la producción de azúcar y etanol en los últimos años relacionada con las mejoras en el proceso productivo y la construcción y operación de sistemas de tratamiento.

Bajo esta realidad, se puede decir que el sector no solo recibe subsidios monetarios sino también subsidios ecológicos por parte de la sociedad y de los ecosistemas donde desarrolla sus actividades. Es acá donde aparece el concepto de **pasivo⁸ ecológico o ambiental** el cual puede definirse como **toda aquella obligación legal o social de**

⁷ Análisis realizados sobre la composición de la vinaza concentrada a 60° Brix encuentran que posee sólidos totales en un 60%, sólidos volátiles 44%, carbono 22%, proteína bruta 9,1%, potasio 5,7%, azufre 4,7%, calcio, cloro, nitrógeno, magnesio y fósforo (Fuente: Informe PROQUIP S.A., Brasil). Acorde a CHAVARRÍA (2008) y ASOCAÑA, la cantidad de vinaza por cada unidad de etanol (litros) producido se estimó en un promedio ponderado de **4.8** dado que este factor depende de la materia prima a utilizar para la producción de etanol, así: a partir de jugo de caña: 12-14 litros de vinaza; a partir de mieles: 8-12 litros; a partir de madadura: 1-4 litros (CHAVARRIA, 2008). Asocaña por su parte señala una relación de 1,5. Con base en estos datos se estimó un promedio ponderado.

⁸ Un pasivo es la obligación de incurrir en un gasto por parte de una persona o una empresa como consecuencia de un compromiso contractual, de una decisión de una autoridad administrativa o judicial o incluso asumida de manera voluntaria y unilateral.

pagar o incurrir en un gasto como consecuencia de un daño ambiental⁹ o un daño social¹⁰, resultado del uso de los recursos naturales y del ambiente. Este gasto tiene el propósito de devolver, en lo posible, la capacidad de las funciones ambientales (abastecedora o receptora) para continuar prestando sus servicios en forma adecuada al resto de ecosistemas y a la sociedad en su conjunto. En otras palabras, este gasto tiene como objetivo intentar corregir las externalidades negativas¹¹ generadas por el uso de las funciones ambientales de la biosfera para el desarrollo de las actividades productivas y de consumo. Cuando las actividades económicas no cubren estos pasivos ambientales o externalidades, se genera una deuda ecológica, la cual puede ser también vista como un **subsidio ecológico o ambiental** transferido por la sociedad al sector contaminante, cuando estos costos (deuda) no son asumidos dentro del flujo de egresos de la empresa contaminadora. Así, mientras el pasivo ambiental resulta de una transferencia de costos ambientales desde el contaminador hacia el resto de la sociedad y de los ecosistemas; el subsidio ambiental, como la otra cara de la misma moneda, significa una transferencia de beneficios (costos no pagados) desde la sociedad a los contaminadores para

⁹ Daño que afecta el normal funcionamiento de los ecosistemas, ya sea de su función abastecedora o de la receptora, o de la renovabilidad de sus recursos y componentes.

¹⁰ Los ocasionados a la salud humana, el paisaje, la tranquilidad pública, los bienes públicos y privados y demás bienes con valores económicos y sociales directamente afectados por la actividad contaminante.

¹¹ Costos impuestos sobre la sociedad y el ambiente que no son considerados en el valor del mercado por productores y consumidores. Incluye daños al ambiente natural y construido, tales como efectos de la contaminación a la salud, las construcciones, las cosechas, los bosques, las amenazas globales, etc.

el desarrollo de sus actividades productivas.

Es necesario señalar de todas formas que la estimación de estos pasivos ambientales son solo aproximaciones unidimensionales a la magnitud del impacto. Los costos estimados no operan bajo el paradigma de precios perfectos de la economía neoclásica, siendo los mismos “precios ecológicamente incorrectos” por tres razones esenciales: i) los sistemas biofísicos no son simples sino complejos y además cambian todo el tiempo. En cualquier momento, una gran cantidad de factores puede influir en el resultado de un suceso en diferentes formas (COMMON & STAGL, 2008, p. 377); ii) Por otro lado, aparece el tema de la irreversibilidad. Como lo señala COMMON & STAGL (2008, p. 390), “si todas las decisiones acerca de la utilización de los recursos fueran reversibles, gran parte de la fuerza que avala los argumentos de la sostenibilidad se perderían. La reversibilidad implicaría que nada esta perdido irremediablemente”. Sin embargo, muchas decisiones sobre la utilización de los servicios ambientales no se pueden revertir, con lo cual no hay dinero en el mundo que recupere un recurso o un ecosistema extinto; iii) Y finalmente, la valoración parte del concepto de conmensurabilidad fuerte en el sentido que todo se puede medir, cuando en realidad existen multitud de sistemas y valores que son inconmensurables tanto en los ecosistemas (belleza paisajística, disfrute escénico, etc.) como en el mundo humano (valores culturales) (MARTÍNEZ ALIER, 2002, p. 118). Esto hace que la internalización de las externalidades no sea suficiente para resolver los problemas ambientales o cubrir los pasivos ecológicos.

El **pasivo ambiental** o subsidio ecológico puede ser cuantificado tanto en forma biofísica como en forma monetaria a través de métodos de valoración desarrollados en el primer caso por

la economía ecológica y en el segundo por la economía ambiental¹². En el primer caso, la Figura 3 ya está mostrando biofísicamente el volumen de pasivo ambiental en términos de la explotación y uso de las funciones ambientales generado por la actividad cañera. Ahora, en términos monetarios, el valor del pasivo ambiental puede ser calculado por métodos sencillos de valoración económica. Precisamente, este es el objetivo que queremos alcanzar en este artículo. Sin embargo, dados los amplios usos de las funciones ambientales por parte del sector cañicultor, solo estimaremos algunos de ellos. En particular se abordarán tres: i) El pasivo asociado al uso del agua por parte del cultivo de la caña de azúcar; ii) El pasivo relacionado con el uso de las fuentes hídricas como vertedero por parte de la industria azucarera; iii) El

¹² Las economías ambiental (EA) y ecológica (EE) funcionan bajo diferentes paradigmas. Mientras la primera, que opera bajo el esquema de la economía neoclásica, considera a la economía como un sistema cerrado, la segunda lo mira como un subsistema de un sistema mucho más grande, finito y global (la *biosfera*), que está abierto a la entrada y salida de energía, materiales y desperdicios. Esta diferente cosmovisión, genera diferentes tipos de diagnóstico y de soluciones al problema ambiental. Mientras la EA supone que las *externalidades* se explican por la ausencia de precios de los recursos naturales y en consecuencia la solución es la valoración económica del ambiente y su internalización en el sistema de precios. Por su parte, la EE considera que el problema ambiental se explica por el creciente metabolismo social que demanda más recursos naturales y genera más contaminación. Por ello, su preocupación es la sustentabilidad ambiental de la economía, dado el conflicto continuo entre expansión económica y conservación del medio ambiente. La EE acepta los intentos de asignar valor monetario al ambiente, pero prefiere desarrollar indicadores biofísicos de sustentabilidad que tomen en cuenta el agotamiento de la naturaleza.

pasivo ambiental relacionado con la quema de la caña de azúcar.

Valoración económica de algunos pasivos ambientales relacionados con el sector cañicultor

Para el cálculo de los pasivos ambientales existen diferentes tipos de metodologías creadas por parte de la economía ambiental¹³. En esta estimación se recurre a algunas de ellas para aproximarse al valor económico de tales pasivos por parte de la industria azucarera. Se señala que estos cálculos no están exentos de dificultades por la poca e inconsistente información que existe en temas ambientales.

Para el caso del pasivo asociado al uso del agua, este puede estimarse a través del diferencial entre el precio pagado a la Autoridad Ambiental (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC) por la tasa de uso, y el costo económico requerido para preservar una cuenca hidrográfica en condiciones adecuadas. El pasivo asociado al uso de las fuentes hídricas como vertedero de residuos por parte de la industria azucarera, puede calcularse a través del método denominado “costos de prevención” o “costos evitados”. Mediante este método, se estima el valor del daño ambiental acorde al volumen de gastos efectivos realizados por los individuos, firmas, gobiernos o comunidades, para prevenir o mitigar efectos ambientales indeseables. En este caso, se trata de disminuir el nivel de la carga contaminante que aún se arroja a las fuentes hídricas por la industria azucarera a través de la optimización y mejoras de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) existentes¹⁴. Es

¹³ Para mayor detalle puede ver: AZQUETA (1999); URIBE *et al.* (2003), CRISTECHE, E. y PENNA, J. (2008).

¹⁴ Acá es importante señalar que el sector, como puede observarse en la Figura 3-B, ha venido disminuyendo en forma importante los niveles de contaminación arrojados a las fuentes

necesario señalar que estos dos tipos de pasivos (o subsidios) no son exclusivos del sector, sino que los mismos también son generados por el resto de sectores usuarios del recurso hídrico que arrojan sus aguas residuales a las fuentes superficiales.

Finalmente, con el propósito de mejorar la productividad de los corteros los ingenios y cultivadores queman la caña previamente a su recolección¹⁵. Dicha quema agrícola genera aumentos en la productividad, pero libera a la atmósfera monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO, NO₂), (NO_x), metano (CH₄), hidrocarburos no metálicos (NMHC) y partículas menores de 10 micras (PM₁₀) (MADRIÑÁN, 2002). Estas sustancias alteran el funcionamiento normal del sistema respiratorio (ARBEX, 2001), cardiovascular, reproductivo y neurológico (CURTIS *et al.*, 2006). El presente ejercicio se concentra en los efectos nocivos que genera la contaminación en el sistema respiratorio. El pasivo relacionado con la quema de caña puede ser obtenido mediante el método de “gastos defensivos” también llamado “función de daños”, mediante el cual el valor del daño ambiental equivale a los gastos que implica resolver o amortiguar los efectos causados por ese impacto. En este caso, se toman los costos generados por enfermedades relacionadas con la contaminación atmosférica¹⁶ en la salud de la población que puede estar siendo afectada por la quema de la caña en

hídricas, precisamente por medio de la construcción y operación de PTAR, que en este caso corresponden a lagunas de estabilización.

¹⁵ Sin quemar la caña de azúcar, un cortero corta entre dos y tres toneladas diarias, mientras que si ésta se quema, se alcanza un rendimiento de entre cinco y seis toneladas diarias por cortero (MADRIÑÁN, 2002).

¹⁶ Estas corresponden a las que en salud pública son denominadas como Infección Respiratoria Aguda, IRA.

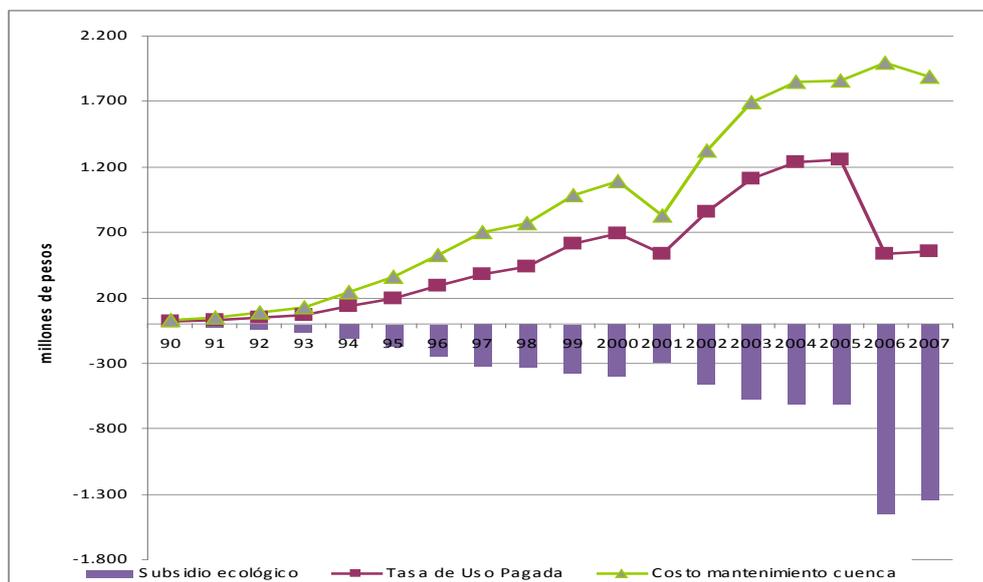


Figura 4 - Pasivo ambiental por el uso del agua: diferencial entre lo que pagan los cañicultores por su uso y los costos de mantener una cuenca hidrográfica en el Valle del Cauca, Colombia (1990-2007)

Fuente: ASOCAÑA (2008); ESCOBAR y GÓMEZ (2008); CHAPAGAIN y HOEKSTRA (2004); CVC, varias resoluciones.

la zona de cultivo (en particular Valle del Cauca y Cauca), tales como medicamentos, costos de consulta y días laborales perdidos por los afectados¹⁷.

Utilizando estos métodos señalados, se procedió a hacer la estimación de los pasivos ambientales generados al sector cañicultor para el periodo 1990-2007. Para el caso del uso del agua por parte del cultivo de la caña de azúcar, se estimó primeramente la cantidad de agua requerida para producir el total de toneladas de caña en cada año. Este cálculo puede estimarse a partir del concepto de "Huella Hídrica", la cual equivale al volumen de agua requerido por cada tonelada de producto agrícola generado, estimando los requerimientos de agua del cultivo desde que se siembra hasta que se cosecha (CHAPAGAIN y HOEKSTRA, 2004). Posteriormente, se calculó la oferta hídrica para estos requerimientos generada directamente por el nivel de pluviosidad. La diferencia entre ambos resultados permite obtener

la cantidad de agua requerida de las fuentes hídricas superficiales y subterráneas para abastecer el resto de requerimientos del cultivo. Este dato resultante fue multiplicado por la tasa de uso pagada a la CVC¹⁸ por cada m³, obteniendo el pago total, real o hipotético, puesto que no siempre se ha cobrado¹⁹, que por el uso del agua ha realizado el sector cañicultor en Colombia.

Posteriormente, a través del estudio realizado por ESCOBAR y GÓMEZ (2008), denominado "*El valor económico del agua para riego*", se estimó el costo de mantener en forma adecuada un caudal de una cuenca hidrográfica determinada en términos de cantidad y calidad a través de

diferentes inversiones y costos de mantenimiento para un determinado año²⁰. Utilizando la metodología de Costo Incremental Promedio de Largo Plazo (CIPLP), se encontró que el costo por m³ alcanzaba la suma de COL\$ 3,83 (USD\$ 0,02: $TC = X/24/2012$) para 2007 usando el caso específico del río Tulúa en el Valle del Cauca, cifra que fue deflactada para los siguientes años. Al multiplicar este costo por el total de agua captada de las fuentes hídricas superficiales y subterráneas para el cultivo de la caña anualmente, se obtiene una aproximación al valor que le cuesta a la sociedad el uso de este recurso para el riego de caña. Precisamente, la diferencia entre lo que los cultivadores pagan o debieron pagar por la tasa de uso y lo que cuesta el mantenimiento y preservación de una cuenca hidrográfica, es el pasivo ambiental que el sector cañicultor

¹⁸ Se tomó el dato que tenía la CVC para los años 2000-2008, tanto para aguas subterráneas como superficiales, deflactándolo para los años anteriores por el IPC.

¹⁹ Acá es importante señalar que la estimación de esto monto pagado, en muchos casos es hipotético porque no siempre en todos los años analizados los usuarios agrícolas han respondido por este pago. Incluso, los montos pueden ser menores pues solo desde 2004 se ha pagado por volumen de agua consumida, esto es por m³. Antes, el cobro realizado por la CVC era por caudal asignado (lps/mes) y según el rango y el tipo de uso.

²⁰ Los rubros de inversiones estimadas para mantener esta cuenca hidrográfica fueron: operación y procesamiento de la información hidroclimatológica para las estaciones de la cuenca; mantenimiento de la cobertura boscosa en las orillas y nacimientos de las corrientes; desarrollo y ejecución de un programa de conservación de suelos; proyecto de distribución de caudales y diseño y construcción de las obras requeridas para cumplir con este objetivo.

¹⁷ Acá se tuvo cuidado de no cargar todos los impactos de la contaminación atmosférica a la caña a través de la elasticidad de consultas por IRA asociada a los incrementos en área de quema de caña de azúcar.

Tabla 1 - Información básica para la estimación de costos de TAR de los efluentes marginales de los ingenios azucareros en Colombia

AÑO	DBO (ton)	SST (ton)	CAUDAL L/S	Concentración (mg/l)	
				DBO	SST
1998	5281	1760	1160	144,4	48,1
1999	4650	1163	893	165,1	41,3
2000	2870	717	516	176,4	44,1
2001	3367	1122	759	140,7	46,9
2002	2782	1517	556	158,7	86,5
2003	2998	1547	971	97,9	50,5
2004	4507	1424	584	244,7	77,3
2005	3006	1093	564	169,0	61,5
2006	3454	1151	580	188,8	62,9
2007	3851	1100	618	197,6	56,4
			720,1	168,3	57,6
			720,1	720,1	
	Cargas calculadas		4487,23	1281,73	

Fuente: ASOCAÑA (2008) y estimaciones de APONTE (2009).

traslada a la sociedad. Así, el monto que alcanza este pasivo en pesos corrientes colombianos para los 17 años analizados (1990-2007), alcanza la suma de **COL\$ 7.417 millones** o US\$ 4,1 millones: TC= X/24/2012) (Figura 4).

Para el cálculo del pasivo ambiental por el uso de las fuentes hídricas superficiales como vertedero de la industria cañera, se procedió al siguiente ejercicio²¹. Se parte de información de Asocaña (2008) sobre vertimientos de DBO y SST por cada tonelada de azúcar producida, a lo cual se le suma la contaminación de la producción de etanol para el periodo 2005-2007. Con ello se obtuvo la contaminación vertida asociada a la producción anual de estos dos bienes para el periodo 1996-2007, dadas las limitaciones de información²². Es

²¹ Los cálculos de este ejercicio fueron realizados por el Ing. Alex Aponte, estudiante doctoral de la Universidad del Valle, utilizando el modelo de costos que para lagunas facultativas tiene el Grupo de Investigación de Saneamiento Ambiental de la misma Universidad.

²² Esta contaminación hace referencia particular a los vertimientos del proceso de fabricación de azúcar y etanol. Los

necesario decir que esta contaminación es residual pues el vertimiento total ya ha pasado por un proceso de tratamiento que cumple en general lo señalado por el Decreto 1594 de 1984. Sin embargo, estos vertimientos residuales aún siguen contaminando.

Se considera igualmente la existencia de 13 sistemas de tratamiento de aguas residuales, uno por cada ingenio existente. Estos sistemas corresponden a lagunas de estabilización, siendo sus efluentes arrojados por las correspondientes lagunas facultativas. Dado que los efluentes de este tipo de sistemas pueden ser mejorados con la construcción de filtros en piedra, para la separación de algas del efluente, se proyecta como alternativa de mejora de tratamiento esta solución. Es claro que un análisis más integral de la situación implicaría llevar a cabo consideraciones relacionadas con el

datos de contaminación arrojan niveles que van desde 10.652 ton de DBO₅ y 17.088 ton de SST en 1996 hasta 3.851 y 1.100 ton respectivamente en 2007, mostrando importantes resultados en la reducción de la contaminación hídrica por parte de la industria azucarera.

uso de los efluentes, el sitio de vertimiento, la capacidad de autodepuración de las fuentes receptoras, entre otros, válidos dentro de un enfoque ecosistémico de mayor dimensión (APONTE, 2009).

Los criterios asumidos son prospectivos, en el sentido de considerar una tendencia hacia el futuro en cuanto a cargas y caudales de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de los ingenios. Se asume que el volumen de efluentes de las lagunas es proporcional al número de ingenios. La concentración de efluentes de las lagunas se estima tomando el valor para el año 2007, dado que los volúmenes de descarga han disminuido, pero las concentraciones tienen una tendencia creciente en los últimos 3 años. Se adopta un valor de 197,6 mg DBO/L y 56,4 mg SST/L. El caudal de efluentes de las lagunas se estima como el promedio durante el periodo 1998-2007. Se adopta un valor de 720,1 L/s. Sin tratamiento de estos efluentes, la carga anual sería de 4.487 Ton de DBO y 1281 Ton de SST. Los resultados de esto pueden verse en la Tabla 1.

Tabla 2 - Pasivo ambiental contaminación hídrica = Costos de construir y operar las mejoras de las PTAR de los ingenios azucareros a través de la construcción de filtros de piedra (2008)

Partidas	Costos (COL\$)
Costo de inversión por ingenio	872.924.674
Costo de inversión total (13 ingenios)	11.348.020.762
Costo VPN (15 años, TD: 10%) por ingenio (incluye inversión, O&M y administración)	1.494.658.995
Costo VPN (15 años, TD: 10%) total (13 ingenios) (incluye inversión, O&M y administración)	19.430.566.937
Costo total (I + O&M + A) (millones de pesos corrientes)	27.288
Costo total (I + O&M + A) (US\$ millones de 2008)	13,9
Costo VPN (13 ingenios) (millones de pesos)	19.431
Costo VPN (13 ingenios) (millones US\$)	9,6
Cargas Vertidas Luego De Los Filtros En Piedra	
DBO	2.244 Ton de DBO / año
SST	641 Ton de SST / año

Nota: VPN = Valor Presente Neto.
Fuente: Estimaciones APONTE (2009).

Para el cálculo de los filtros en piedra se aplicó el procedimiento de cálculo sugerido por MARA *et al.* (1992). Para cada ingenio se adopta un número de 4 filtros en piedra, suponiendo cero evaporaciones en los mismos. Se incluye el valor de la tierra para la construcción de los filtros, adoptando secciones cuadradas con profundidades no mayores a 2 metros de lecho filtrante. Se incluyen costos de tuberías y válvulas y se adoptan reducciones en concentración del 50% en DBO y SST. Se calculan costos de administración considerando: tiempo parcial de administrador, secretaria, personal operativo, personal técnico; costos de insumos de operación, análisis de laboratorio y servicios públicos. Para la estimación de costos se utiliza información generada por un modelo de costos sencillo empleado por el Grupo de Saneamiento Ambiental de la Universidad del Valle, que considera los rubros más importantes en la construcción de un filtro de piedra, corrigiendo valores unitarios con base en proyectos de tratamiento de aguas residuales a escala real construidos recientemente en la región. Los

costos incluyen Administración, Imprevistos y Utilidades (AIU) y factores de holgura. Los resultados obtenidos de estas estimaciones se presentan en la Tabla 2.

Con base en esto se puede decir que el pasivo ambiental o deuda ecológica asociada al uso de las fuentes hídricas como vertedero de aguas residuales tratadas, pero aún con importante carga contaminante, de la industria azucarera, equivale al costo de optimizar las plantas existentes de los ingenios a través de la construcción y operación de filtros en piedra. Siendo así, este pasivo ambiental equivale en pesos corrientes a **COL\$ 27.288 millones** (USD\$ 15,1 millones: $TC = X/24/2012$) o en términos de Valor Presente Neto (VPN_{10%}) a COL\$ 19.431 millones (USD\$ 10,7 millones: $TC = X/24/2012$).

Finalmente, la estimación del pasivo ambiental asociado a la quema de la caña se hizo mediante el siguiente procedimiento para el periodo 1990-2007²³. Con base en

²³ La práctica agrícola de la quema de la caña de azúcar se adoptó en Colombia en la mitad de la década de los setenta

información de la CVC sobre el número de hectáreas quemadas de caña anualmente, y tomando el factor de emisión de Kg/PM10/ha/quemada/día (75,9) de DÁVALOS (2007) y MADRIÑAN (2002), se obtuvo la contaminación total por quema de caña en términos de ton/PM10/año. Ahora, del estudio de DÁVALOS (2007) se tomó la elasticidad de consulta sobre IRA²⁴ asociada a incrementos de área de quema de caña y la contribución de la misma a la contaminación de PM10 para la ciudad de Palmira, principal municipio productor de caña en el Valle del Cauca.

Estos datos se extrapolaron para la población de los municipios con una significativa área de cultivo de caña en el Valle del Cauca y Cauca, tomando de los mismos, información sobre la incidencia de IRA. Esto nos arrojó un número de pacientes con IRA relacionados con

(ASOCAÑA-CENICAÑA, 2003), a fin de facilitar el corte, reducir las plagas, eliminar las malezas, aumentar la eficiencia del cortero y reducir la cantidad de materia extraña que se incorpora en el procesamiento.

²⁴ Infección Respiratoria Aguda (IRA).

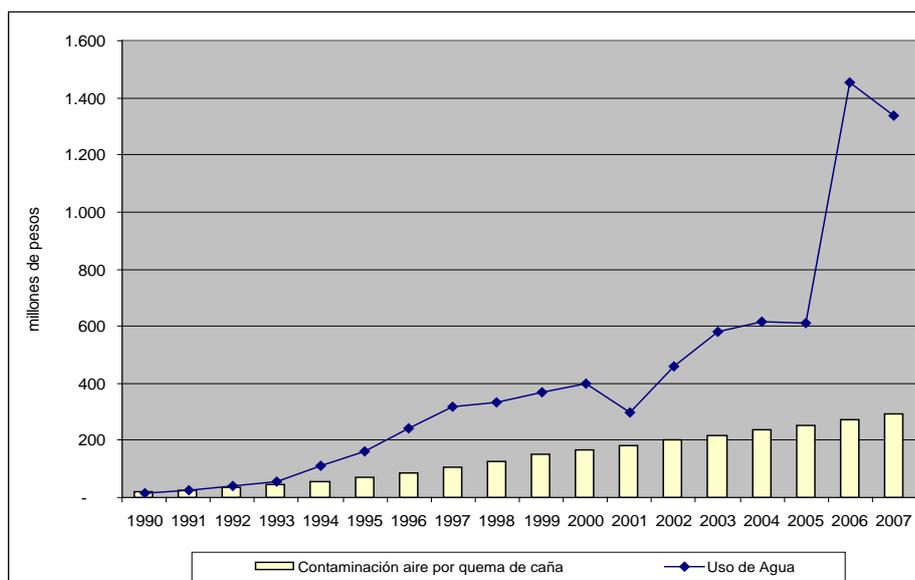


Figura 5 - Estimación del pasivo ambiental de la industria cañera Colombiana: uso del agua y quema de la caña (1990-2007)

Fuente: Con base en: ASOCAÑA (2008); ESCOBAR y GÓMEZ (2008); CHAPAGAIN y HOEKSTRA (2004); CVC, diferentes resoluciones; DÁVALOS (2007); MADRIÑAN (2002); Committee On Environmental Health (2004).

la quema de caña de azúcar en ambos departamentos. Por su parte, la metodología de “gastos defensivos” nos dice que es necesario calcular los costos para resolver el daño, los cuales equivalen a los de consulta y medicamentos que fueron estimados para 2007 en COL\$ 50.000 (USD\$ 27,6: TC= X/24/2012). Este valor fue deflactado para el resto de los años por el IPC. Además se le agregó una pérdida laboral de cinco días promedio acorde al “Committee on Environmental Health” (2004). El costo de estos días laborales perdidos equivale a su valor en términos del SMDLV (Salario Mínimo Diario Legal Vigente) para cada año analizado. Así, la suma de los costos asociados a la deuda o subsidio ambiental por la quema de la caña de azúcar ascendió para todo el periodo analizado a **COL\$ 2.533 millones** de pesos corrientes o USD\$ 1,4 millones (TC= X/24/2012) (Figura 5)²⁵.

²⁵ En esta gráfica también se presenta el pasivo ambiental relacionado con el uso del agua como expresión del diferencial entre la tasa de uso y los costos de conservar las cuencas.

Retomando a DÁVALOS (2007), ello indica que la quema de la caña de azúcar no sólo genera un aumento en la productividad de los corteros, propósito final de la misma, sino que también produce una externalidad negativa sobre la población de las regiones donde se cultiva y quema la gramínea, incrementando las visitas que éstos hacen al médico. Dicho de otro modo, “el aumento en la productividad derivada de esta quema agrícola, está siendo asumido por la población de algunos municipios de los departamentos del Valle y del Cauca donde se cultiva esta planta. Esta franja de la población está padeciendo, a través de sus problemas de salud, las debilidades de la normativa ambiental colombiana”.

Finalmente, es importante identificar ahora el total del pasivo ambiental encontrado en este ejercicio que ha sido trasladado por parte del sector cañicultor al resto de la población y los ecosistemas. Estos pasivos están midiendo igualmente el grado de éxito de transferir externalidades a otros sectores por parte del sector cañero. Al sumar las tres cifras se encuentra

un pasivo ambiental o deuda ecológica que alcanza un total de **COL\$ 37.337 millones** de pesos corrientes²⁶ (US\$ 20,6 millones: TC= X/24/2012): COL\$7.417 millones (USD\$ 4,1 millones) por el uso del agua; COL\$ 2.533 millones (USD\$ 1,4 millones) por la contaminación del aire y COL\$ 27.288 millones (USD\$ 15,1 millones) por la contaminación hídrica.

CONCLUSIONES

Los conceptos de **deuda ecológica** y de **pasivos ambientales** son de gran utilidad para evidenciar las presiones ejercidas por las desiguales relaciones sociales, económicas y políticas, tanto a nivel nacional como internacional, que permiten trasladar los costos ambientales a ciertos territorios y grupos de personas que asumen los impactos ecológicos. Aunque se reconocen limitaciones en la valoración económica de dichos pasivos, debido al carácter vital de la existencia de la biosfera, su

²⁶ En VPN (2008) esto suma **COL\$ 22.395 millones** (US\$ 12,4 millones) suponiendo una tasa de descuento del 10%.

estimación es un ejercicio pedagógico y político, pero cada vez más jurídico, que permite visibilizar esta problemática, convirtiéndose en una estrategia de resistencia a las presiones ejercidas por algunos países y grupos económicos sobre la población del mundo, y en una herramienta que ayuda a evidenciar las injusticias ambientales y buscar formas de vida más sostenibles, autónomas y equitativas.

Bajo este marco conceptual, el trabajo realizado encuentra fuerte evidencia de los importantes pasivos ambientales que la actividad del cultivo y procesamiento de caña de azúcar ha generado sobre la biosfera en los sitios donde se cultiva y procesa y sobre la población que los habita. El estudio desarrollado permite aproximarse a una valoración económica de una parte de los pasivos ambientales generados por el sector cañicultor durante el periodo 1990-2007. En forma particular, el uso del agua para la actividad agrícola cañera alcanzó un pasivo que asciende a **COL\$ 7.417 millones** (US\$ 4,1 millones). Las externalidades asociadas al uso de las fuentes hídricas como vertedero de aguas residuales tratadas significaron pasivos que suman **COL\$ 27.288 millones** (US\$ 15,1 millones). Finalmente, las externalidades relacionadas con la quema de la caña de azúcar alcanzaron pasivos que representan **COL\$ 2.533 millones** (US\$ 1,4 millones). Así, el pasivo total generado por la actividad cañicultora en Colombia durante el periodo 1990-2007, incluyendo solo estas tres externalidades, asciende a un total de **COL\$ 37.237 millones** (US\$ 20,6 millones).

La actividad cañera, tanto en sus procesos de cultivo como de transformación hacia la producción de bienes mercadeables (azúcar, mieles y etanol), es un usuario intensivo de las funciones ambientales de la biosfera. Este uso intensivo de los recursos y servicios de la naturaleza genera importantes

impactos ambientales que son transferidos a la sociedad y a los ecosistemas en su conjunto, a través de un importante número de externalidades relacionadas tanto con el uso de recursos naturales como con diferentes fuentes de contaminación. En este caso particular se evaluaron tres tipos de externalidades que generan igualmente tres tipos de pasivos ambientales. El uso del agua para el cultivo de la caña, el uso de las fuentes hídricas como vertedero y la contaminación del aire por la quema de la caña y sus impactos sobre la salud humana. Los pasivos ambientales generados por estos impactos representan los costos que asume la sociedad por las diferentes fuentes de contaminación, con lo cual, mientras los pasivos ambientales de la generación de desechos y de la apropiación de recursos se socializan, los beneficios derivados del proceso productivo son capturados por el sector privado.

La apropiación del uso de estos recursos y servicios ecosistémicos por un solo grupo social es lo que genera los "*conflictos ambientales distributivos*", y lo que explica la deuda o pasivo ambiental que una actividad económica adquiere con el resto de la sociedad. En este ejercicio, se pueden identificar los grupos afectados por algunas externalidades evaluadas en el sector cañicola: el resto de usuarios del agua tanto para otros cultivos, la industria y el consumo humano, como también los ecosistemas vivos. Sobre esto son múltiples los conflictos que se han generado en particular con los usuarios que demandan agua para uso doméstico (Candelaria, Pradera, Florida, Gorgona en el Valle del Cauca; el caso del río Ovejas en el Cauca) y el debate por la necesidad de preservar un caudal ecológico en las cuencas de la zona plana de los departamentos del Valle y del Cauca; los usuarios aguas abajo que asumen las externalidades de la

contaminación hídrica en términos de salud y de disminución de su productividad; los habitantes urbanos y rurales que viven cerca de los cultivos de caña y son afectados por su quema. Aquí, aparece un conflicto sin solución por el momento que ha llevado a importantes procesos de negociación para disminuir la quema, los cuales se han visto frustrados porque resulta más importante el aumento de la productividad del sector que la salud de la población.

La resolución de estos problemas y conflictos ecológicos son parte de los retos que tiene que asumir las Autoridades Ambientales, en un contexto donde la importancia estratégica del negocio cañicultor para la economía de la región y del país, generan el fenómeno de "captura de la autoridad ambiental", limitando la independencia de las instituciones encargadas de la gestión de los recursos naturales (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca –CVC- y Corporación Regional del Cauca -CRC) para hacer un mejor manejo de los mismos. Esta situación dificulta resolver estos *conflictos ecológicos distributivos* por el acceso a los recursos y servicios ambientales. Por ello es fundamental que la política de la autoridad ambiental esté guiada por la defensa del interés general y no particular, tendiente a mejorar la gobernabilidad de las instituciones locales y nacionales para reducir presiones ambientales e implementar políticas para una adecuada gestión del ambiente. Ello podrá garantizar un desarrollo más sostenible para las regiones donde se realiza el cultivo de la caña de azúcar. Empero, dadas las debilidades de las instituciones del estado por las políticas de estrechamiento fiscal y de fortalecer otras prioridades, se hace necesaria la vigilancia de los movimientos sociales y del conjunto de la sociedad sobre estos aspectos y sobre el resto de temas tratados en este artículo, con el fin de demandar del sector cañicultor el

cumplimiento de su Responsabilidad Social Empresarial y la amortización de sus pasivos ambientales.

REFERÊNCIAS

APONTE, A. Consideraciones en la estimación de costos de tratamiento de los efluentes de los sistemas de lagunas de los ingenios azucareros. Mimeo, 2009.

ASOCAÑA. Informe anual 2003-2004, Cali, Colombia, 2004.

ASOCAÑA . Informe anual 2006-2007, Cali, Colombia, 2007.

ASOCAÑA. Informe anual 2007-2008, Cali, Colombia, 2008.

ASOCAÑA. Informe anual 2010-2011, Cali, Colombia, 2011. Esta información se puede consultar en www.asocana.org.

ASOCAÑA-CENICAÑA. Evaluación y propuesta para regular las quemadas controladas de caña de azúcar. Informe entregado al Ministerio del Medio Ambiente, Cali, 2003.

ARBEX, M. Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara-SP". Tese de doutorado em medicina, Universidade de São Paulo, 2001.

AZQUETA, D. Valoración Económica de la Calidad Ambiental. Mac Graw Hill, Madrid, 1994.

BORRERO, J. M. (1994). Deuda ecológica: arqueología y sentido de un concepto. En: <http://www.deudaecologica.org/Que-es-Deuda-Ecologica/Deuda-ecologica-arqueologia-y-sentido-de-un-concepto.html>. Investigado marzo 15 de 2012.

CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cap. Control de malezas: Jaime Gómez

(pp. 143); Cap. Fertilización y Nutrición: Rafael Quintero (pp. 153), Cali, Colombia, 1995.

CENSAT AGUA VIVA. Una exigencia del sur: reconocer la deuda ecológica. Censat Agua Viva-FoE, Bogotá 165 pp. 2001.

CHAVARRÍA, J. C. Etanol una solución para la industria azucarera. <http://www.agroinsumos.net>. 2008.

CHAPAGAIN, A. K. y HOEKSTRA, A.Y. (2004). Water Footprints of Nations. Volume 1: Main Report. Value of Water, Research Report Series No. 16, November. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands. <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16.pdf>.

CNP, Centro Nacional de Productividad. El conglomerado del azúcar del Valle del Cauca, Colombia. CEPAL, Santiago de Chile, 2002.

COMMITTEE ON ENVIRONMENTAL HEALTH (2004). Environmental air pollution: Health hazards to children", American Academy of Pediatrics, 114(6): 1699-1707.

COMMON, M. & STAGL, S. Introducción a la economía ecológica. Editorial Reverté, Barcelona, 2008.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE, CVC (vários años). Resoluciones varias sobre la tasa de uso de agua.

CORRAL, L. Sembrando desiertos. Acción Ecológica, Quito, 78 pp. 2006.

CRISTECHE, E. y PENNA, J. Métodos de valoración económica de los servicios ambientales. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires, 2008.

CURTIS, L.; REA, W.; SMITH-WILLIS, P.; FENYVES, E., and PAN, Y. Adverse health effects of outdoor air

pollutants". Environmental International, 2006.

DÁVALOS, E. La caña de azúcar: ¿una amarga externalidad? Not so sweet sugar cane. En: Desarrollo y Sociedad 59, Revista Uniandes, 2007.

ESCOBAR, L. y GÓMEZ, A. El valor económico del agua para riego: un estudio de valoración contingente. Revista de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad del Valle-EIDENAR, No. 6. 2008.

GUDYNAS, E. Más que "deuda" un robo. En: Eco-tico, No. 97, octubre, págs. 10-12. 2001.

HEMLEY, N. Ecological debt: An inquiry for clarification of the concept. MsC. Thesis, Centre for Human Ecology, Scotland, 2005. KALMANOVITZ (2008). El Espectador, XI/30/08.

MARA D. D., ALABASTER, G.P., PEARSON, H.W. & MILLS, S.W. Waste stabilization ponds. A design manual for eastern Africa. Leeds, England, Lagoon Technology International, ODA, 1992.

MADRIÑAN, C. Compilación y análisis sobre la contaminación del aire producida por la quema y la requema de la caña de azúcar. Tesis de Especialización en Agroecología, Universidad Nacional, Palmira, 2002.

MARTÍNEZ ALIER, J. (2011). El caso Chevron Texaco en Ecuador: una muy buena sentencia que podría ser un poco mejor. En: América Latina en Movimiento. <http://www.alainet.org/active/44476&lang=es>. Investigado el 15 de marzo de 2012.

MARTÍNEZ ALIER, J. El Pasivo Ambiental de CHEVRON-TEXACO en ECUADOR. Mimeo, 2010.

MARTÍNEZ ALIER, J. (2007). Cuantificación de la deuda ecológica.

En: Encuentro sobre Las Deudas Históricas, Sociales y Ecológicas, IEETM, Universidad Andina, Quito, 20-22 de agosto de 2007.

MARTÍNEZ ALIER, J. y OLIVERA, A. ¿Quién debe a quién? Deuda ecológica y deuda externa. Icaria Editorial, Barcelona, 2003.

MARTÍNEZ ALIER, J. The Environmentalism of the Poor. A Study of Ecological Conflicts and Valuation. Edward Elgar, Cheltenham, 2002.

MARTÍNEZ ALIER, J. La deuda ecológica. En Roa Tatiana (Ed): "Una exigencia del sur: reconocer la deuda ecológica". Censat Agua Viva-FoE, Bogotá, 165 pp. 2001.

ORTIZ, A. Deuda ecológica asociada a las exportaciones de la cadena del cuero en Colombia: análisis para el eslabón de las curtiembres. Tesis de grado para optar por el título de economista, Universidad del Valle Cali, 58 pp. 2007.

PÉREZ, M. (2007). Deuda ecológica, flujos de capital y comercio internacional, presentación realizada en el Taller "En Deuda con los Derechos", Cali, mayo 12 de 2007.

PÉREZ, M. Comercio internacional y medio ambiente en Colombia: mirada desde la economía ecológica. Programa Editorial Universidad del Valle, Cali, 2008.

RAMOS, O. La evolución de la industria azucarera en el Valle del río Cauca. Mimeo, 1994.

REDIBEC (2011). Red Iberoamericana de Economía Ecológica. http://www.redibec.org/pdf/sentencia_TEXACO.pdf.

REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 693/2001, obliga mezcla de etanol con gasolina para su consumo, 2001.

REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 939/2004, obliga mezcla de biodiesel en el diesel, 2004.

ROBLETO, M. y MARCELO W. *La deuda ecológica. Una perspectiva sociopolítica*. Instituto Ecología Política. Santiago, 1992.

SIMMS, A. Ecological debt: The health of the planet and the wealth of nations, Pluto Press Londres, 214 pp. 2005.

TORRAS, M. An ecological footprint approach to external debt relief. In: World Development, vol 31 (12): 2161-2171. 2003.

URIBE, E., MENDIETA, J. C., RUEDA, H. y CARRIAZO, F. Introducción a la Valoración Ambiental y Estudios de Caso, Uniandes, Bogotá, 2003.

Páginas web consultadas

ASOCAÑA, www.asocana.org.co
Banco de la República, www.banrep.gov.co

Departamento Nacional de Planeación, DNP. www.dnp.gov.co

Proyecto EJOLT, *Environmental Justice Organisations, Liabilities and Trade*. www.ejolt.org/es

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

Efeitos do etanol para além da economia: um estudo de caso em Piracicaba (SP)

Effects of ethanol beyond economy: a case study for Piracicaba (SP-Brazil)

RESUMO

O Brasil se consolida como um grande produtor de etanol derivado da cana-de-açúcar. O incentivo à produção ganha notoriedade em comparação a outros tipos de culturas e com isso se propaga a existência de monoculturas que interferem diretamente nas populações rurais, suas práticas e conhecimentos, além das implicações ambientais. O atual debate discute a viabilidade desse processo frente aos impactos socioambientais num contexto em que a modernização no campo, iniciada pela Revolução Verde, colocou o setor rural junto à lógica do desenvolvimento econômico, reorganizando o papel dos agentes que o administram. Diante desse contexto propôs-se a realização de um estudo de caso no município de Piracicaba, SP, direcionado ao reducionismo na agricultura provocado pela intensificação da cultura de cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE: etanol; setor rural; conhecimento tradicional; monocultura; Piracicaba

Samir de Souza

Bacharel em Ciências Sociais –
Universidade Federal de São
Carlos (UFSCar)
São Carlos, SP, Brasil
samircso@hotmail.com

**Thales Haddad Novaes de
Andrade**

Doutor em Ciências Sociais
Docente do Departamento de
Ciências Sociais – Universidade
Federal de São Carlos (UFSCar)
São Carlos, SP, Brasil
thales@ufscar.br

ABSTRACT

Brazil has established itself as a major producer of ethanol derived from cane sugar. The incentive to produce gains notoriety as compared to other cultures and thus propagates the existence of farms that directly affect rural populations, their practices and knowledge, and environmental implications. The current debate discusses the feasibility of this process forward social and environmental impacts in a context that modernization in the field, initiated by the Green Revolution, put the rural sector with the logic of economic development, reorganizing the role of agents who manage it. In this context we propose to conduct a case study in Piracicaba, SP, directed to reductionism in agriculture caused by the intensification of the culture of cane sugar.

KEYWORDS: ethanol; rural sector; traditional knowledge; monocropping; Piracicaba

INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira está diretamente ligada às chamadas energias limpas e de baixo impacto ambiental. Com sua reafirmação e incentivo um dos fenômenos que se observa remete à intensificação do cultivo da cana-de-açúcar da qual se deriva o etanol, com grande potencial para suprir a demanda interna, além de ser um produto de exportação. Assim, com tamanha visibilidade e volume de produção, ressalta-se a importância de discutir esse fenômeno e observar a dinâmica social decorrente da produção e os agentes sociais que participam desse processo.

Para isso é preciso ressaltar fatores que antecedem a presente configuração no setor rural, principalmente no que tange às movimentações que o levaram a se tornar um espaço que agrega valores e dinamiza a economia do país.

O caso da cana-de-açúcar se situa em torno de importantes questões político-econômicas, devido à relevância do setor como um dos geradores de superávits na balança comercial, favorecido pelas exportações de açúcar e ultimamente de biocombustível (IGLECIAS, 2007).

Atualmente a dinâmica da inovação na agricultura segue por meio de processos de modernização advindos de novas tecnologias como a biotecnologia e informática, cujos limites se deparam com restrições ecológicas e sociais. As fronteiras se evidenciam na medida em que se lançam os desafios de manter a proteção ambiental e adequação social frente a projetos que objetivam transformar o caráter “arcaico” da agricultura em uma linha de produção mercadológica próxima dos sistemas econômicos industriais (ROMEIRO, 1998; ANDRADE, 2004).

A padronização agrícola, ancorada na modernização do campo evidencia riscos econômicos

por atrelar a economia de um Estado a setores específicos, e ser caracteristicamente destinada à exportação, além de provocar danos ambientais por não diversificar a produção no solo em questão, ignorando a existência da troca de nutrientes entre este e o que se produz (SHIVA, 2003; BRANDEMBURG, 2005).

Ainda sobre a industrialização do campo figurado por meio de monoculturas, ressalta-se que as novas tecnologias, na forma com que são administradas atualmente, interferem diretamente no saber local de comunidades autóctones, compreendido como conhecimentos adquiridos por um processo contínuo de técnicas em que se envolvem tradição e produção local de acordo com as disponibilidades ambientais (SHIVA, 2003; ROBIN, 2008).

Diante desse debate ressalta-se a problemática sobre a padronização agrícola resultante da expansão da cultura de cana-de-açúcar, de modo a sintetizar nas seguintes questões: quais os impactos das inovações tecnológicas na agricultura frente às práticas agrícolas tradicionais? Como os trabalhadores estão recebendo esse processo de qualificação técnica competitiva? Qual a sua interferência no processo de perda do saber local?

Na intenção de encontrar respostas para essa indagação recorreu-se ao caso do município de Piracicaba, no interior do estado de São Paulo, utilizando de suas peculiaridades no que tange a produção de cana-de-açúcar. O município consiste numa das principais regiões do Brasil na produção de cana-de-açúcar. Segundo números do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a região ocupou o 7º lugar no ranking nacional de produção de cana-de-açúcar, e 6º no estado de São Paulo no ano de 2006. A área colhida foi de 40.000 hectares, com uma produção de 3,2 milhões de toneladas do produto, registrando

7% em volume da safra nacional (IBGE, 2007).

Ainda de acordo com o IBGE (2007), da área total destinada às lavouras temporárias em Piracicaba no ano de 2006, 94% foram destinadas ao plantio da cana-de-açúcar. Do total de toda a área do município, 45,5% é destinada ao plantio deste produto (IPEF, 2006).

Com base nesses dados pode-se afirmar que a produção de cana-de-açúcar no citado município implica diretamente na limitação de outros tipos de culturas, o que confere inevitavelmente uma interferência na diversidade de saberes e práticas decorrentes da atividade agrícola, principalmente aquela direcionada para pequena escala, ou seja, a agricultura familiar diversificada orientada para a subsistência e pequena circulação comercial.

A produção de cana-de-açúcar, típico exemplo de monocultura, incentivada pela economia internacional, implica em diversos impactos potenciais. Ela ocasiona uma padronização tecnológica, em que a maioria das propriedades, como fazendas e usinas, compartilham os mesmos processos tecnológicos.

Os empreendimentos tecnológicos, junto da padronização agrícola descaracterizam o saber local de comunidades, constituído de diferentes práticas agrícolas. De acordo com SHIVA (2003), compreende-se como saber local o conhecimento de comunidades adquiridos por um processo contínuo de técnicas em que se envolvem tradição e produção local de acordo com as disponibilidades ambientais. Para a autora o ambiente das comunidades locais é colonizado por normas e técnicas consideradas científicas e universais. Logo, considera-se o saber local inadequado e não científico, apesar de sua diversidade.

Os dados para o estudo de caso foram coletados entre Fevereiro de 2009 e Março de 2010

no município de Piracicaba, SP, precisamente nos distritos de Santa e Santa Olímpia, região que de meados do século XX até os dias atuais vem continuamente se transformando devido à introdução da monocultura de cana-de-açúcar. Além dos dados estatísticos e geográficos, atentou-se principalmente às transformações ocorridas na história de vida dos moradores da região.

Os encontros com os moradores foram realizados numa perspectiva de segurança e liberdade por parte dos entrevistados, de exporem momentos de suas vidas, numa relação de confiança criada na medida em que os encontros se tornavam mais próximos. As entrevistas foram substituídas por “conversas”. Dispunha-se de um conjunto de questões estruturadas que por meio de visitas e momentos informais foram respondidas pelos moradores.

Além dos encontros fixos com sete moradores locais e seu respectivo núcleo familiar, as visitas à comunidade, a observação de movimentos cotidianos no bairro como reuniões em pequenos estabelecimentos comerciais, a concentração em frente à igreja católica, e as conversas no transporte público que quase unicamente desloca os moradores da região, colaboraram para o entendimento da organização atual do bairro. Os dados obtidos nesses momentos foram contrastados com informações vindas de moradores tradicionais do distrito, todos com idade acima dos setenta anos, juntamente com as representações das diferentes realidades vivenciadas pelo grupo.

Para compreender a atual configuração no campo em relação às monoculturas, que corresponde também ao caso estudado, necessita-se de recorrer ao período de modernização no campo trazido pelo fenômeno conhecido como Revolução Verde. Este é um dos fatores que colaboraram para o

campo se tornar um espaço que agrega valores para os seus produtos e colabora para dinamizar a economia do país.

MODERNIZAÇÃO NO CAMPO: AVANÇOS E PROBLEMAS

A década de 1960 iniciou um processo modernização no campo por meio da chamada "Revolução Verde". O objetivo era de aumentar a produtividade agrícola dos países em desenvolvimento por meio da introdução de sementes manipuladas, agrotóxicos e normas técnicas, além de grandes extensões de terras com culturas não diversificadas (BRANDENBURG, 2005).

Sua base se encontra no período após a II Guerra Mundial, num momento em que países europeus, que presenciaram o significado da insegurança alimentar, registraram a desestabilização do abastecimento de alimentos. A reestruturação do continente incluiu o campo, lugar onde novas técnicas foram introduzidas, sobretudo no que se refere à mecanização e rendimento do solo por meio de fertilizantes (PORTO-GONÇALVES, 2006).

Existe um caráter ideológico junto dessa nova reorganização no campo. Segundo Porto-Gonçalves (2006) esse conjunto de transformações indicava uma relação de poder por meio da tecnologia, implicando um caráter político e ideológico. Com a revolução verde houve um deslocamento do sentido social da fome e da miséria, registrado pelas marchas das revoluções socialistas camponesas contra a fome. Ao contrário, o viés capitalista atribuiu ao problema da insegurança alimentar uma solução estritamente técnica.

Todo um aparato técnico-científico e financeiro, assim como educacional (registra-se um forte incentivo na formação de

engenheiros e técnicos em agronomia) foi mobilizado, com a contribuição inclusive de empresários como os Rockefellers.

Somente nas décadas de 1960 e 1970 é que de fato foi utilizado o termo Revolução Verde no sentido de uma política de modernização do campo, especificamente nos países em desenvolvimento, com o intuito de reverter o atraso na agricultura frente os setores industriais da economia, de modo a colocá-lo como uma extensão da lógica industrial (PORTO-GONÇALVES, 2006).

Esse período foi o início dos grandes saldos nas colheitas de grãos nos países em desenvolvimento e a ampliação da fronteira agrícola, enquanto a técnica científica era desenvolvida nos países de centro, que após seriam exportadas para os locais de aplicação: a periferia.

Os impactos impressionantes dos resultados dessa nova dinâmica se apresentam em dois aspectos: Primeiro pelos números apresentados nos saldos de produtividade; Segundo, pela afirmação de que o problema da fome e da miséria tinha uma solução, e esta seria o desenvolvimento técnico-científico voltado para o campo. Fome e miséria deixam de ser um problema político-social, e se desloca para uma solução técnica.

Contudo, o que parecia ser a solução da segurança alimentar em sintonia com as relações sociais próprias do campo, no sentido de ser um setor da sociedade necessário não só na questão cultural e de preservação ambiental, mas também como um espaço que absorve mão de obra e fomenta a existência do meio urbano, acarretou em desdobramentos cujas implicações resultaram em processos de descontinuidades no desenvolvimento rural, ou ainda na apropriação dos recursos desse setor para o benefício de grupos e agentes específicos (SANTOS, 2005;

LACEY, 2006; PORTO-GONÇALVES, 2006).

A Revolução Verde iniciou um processo de exclusão na agricultura e em suas respectivas comunidades, além de danos ambientais. O objetivo de aumentar a produtividade agrícola dos países em desenvolvimento por meio da introdução de sementes manipuladas, agrotóxicos, normas técnicas e mecanização, resultou na depreciação socioambiental e exclusão social.

Segundo Brandenburg (2005) notou-se que as novas técnicas de produção estabeleciam uma relação predatória para com os recursos naturais. Se antes a utilização do solo era feita em harmonia entre o que se produzia, a biodiversidade e os recursos naturais, de modo a favorecer a diversidade de gêneros e a capacidade de produção do solo, agora se revertiam: a introdução das grandes produções se restringia a um número limitado de gêneros em grandes extensões de terras, o que ocasionou desmatamentos, esgotamento do solo e de recursos naturais.

Pode-se considerar que a revolução verde criou uma situação paradoxal na agricultura, com preponderância de fatores questionáveis. Se por um lado houve uma situação mais rentável incorporando-se a uma lógica de acumulação mercadológica por meio da técnica, esta se limitou a um grande volume de capital apropriado e administrado por um grupo minoritário de corporações e empresas privadas (SHIVA, 2003; BRANDEMBURG, 2005; PORTO-GONÇALVES, 2006).

Um elemento que pode exemplificar o paradigma da revolução verde são as sementes de variedades de alto rendimento (VAR), que incentivou a produção de monoculturas, principalmente em países como o Brasil e a Índia que possuem grandes extensões de terras agricultáveis.

A construção da categoria VAR não está alheia a uma neutralidade que objetiva unicamente a produtividade, cuja concepção de “sementes milagrosas” tem comprovadamente um rendimento maior que as sementes tradicionais. A categoria VAR é um conceito cujo significado condiz com o paradigma da Revolução Verde, ou seja, ela é essencialmente uma categoria reducionista que se opõe ao conceito agrícola de sistemas tradicionais:

Os sistemas agrícolas tradicionais baseiam-se em sistemas de rotação de culturas de cereais, leguminosas, sementes oleaginosas com diversas variedades em cada safra, enquanto o pacote da Revolução Verde baseia-se em monoculturas geneticamente uniformes. Nunca é feita uma avaliação realista da produtividade das diversas safras produzidas pelo sistema misto e de rotação de culturas. Em geral, o rendimento de uma única planta, como o trigo e o milho, é destacado e comparado a produtividade de novas variedades. Mesmo que a produtividade de todas as safras fosse incluída, é difícil converter a medida da produção de legumes numa medida equivalente de trigo, por exemplo, porque tanto na alimentação quanto no ecossistema, têm funções distintas. (SHIVA, 2003: 57)

Implica-se nos sistemas de cultivo uma descontextualização que envolve um conjunto de elementos como solo, a água e os recursos genéticos das plantas. Se na agricultura tradicional encontramos uma relação simbiótica entre solo, água, plantas e animais domésticos,

na Revolução Verde veem a substituição destes por sementes e produtos químicos. A grande demanda por insumos e recursos naturais para o desenvolvimento e rendimento da categoria VAR não é levado em conta no cálculo da produtividade.

Assim, compreende-se como um dos objetivos da Revolução Verde o aumento da produtividade de um único gênero, quando deveria considerar o setor rural como um amplo sistema que visa o equilíbrio, e não a superprodução de um único elemento e conseqüentemente a baixa produtividade de outros.

Muitos dos estudos que integram o debate sobre agricultura e preservação ambiental (SILVA, 1981; ROMEIRO, 1998; SHIVA, 2003) ressaltam que as sementes de alto rendimento junto da agricultura intensificada podem produzir sérios danos ambientais. Esse modelo desconsidera o fato de que o aumento de uma produção intensa implica nos processos que mantêm a própria produção agrícola. Esse tipo de produção está intimamente ligado a necessidade em demasia de recursos naturais (água e solo), além de insumos como fertilizantes químicos e pesticidas. A produtividade das sementes do tipo VAR não é uma condição imanente a ela própria, é apenas uma potencialidade estimulada por insumos externos que produzem impactos ambientais que, em certos casos, são irreversíveis como a destruição da fertilidade do solo (SHIVA, 2001).

O paradigma da Revolução Verde substituiu a diversidade genética em dois níveis: Primeiro a diversidade de gêneros foi substituída por monoculturas. Em certos países em desenvolvimento que mantêm na agricultura um dos pilares de sustentação de suas economias, estima-se que a produção de gêneros básicos da alimentação seja reduzida devido o incentivo a monoculturas voltadas para exportação (SHIVA: 2003). Em

seguida as monoculturas, até mesmo de gêneros básicos da alimentação, como é o caso do arroz e do milho na Índia, são de uma base genética limitada quando comparada com variedades genéticas tradicionais. A diversidade se perde diante da substituição das sementes autóctones pelas variedades de alto rendimento.

As inovações tecnológicas advindas da revolução verde também contribuíram para a centralização do poder à medida que foram aplicadas. As sementes que resistem a agrotóxicos e herbicidas são na maioria das vezes desenvolvidas por empresas químicas e de sementes que compartilham ações e tecnologias. Estas traçam estratégias para manter o agricultor dependente de seus produtos. Temos o caso das sementes *terminator* do grupo Monsanto que ao final da produção o agricultor não obtém o número necessário para o próximo cultivo (PORTO-GONÇALVES, 2006; ROBIN, 2008). Ou ainda as sementes *round-up ready* do mesmo grupo, que foram desenvolvidas para suportar a ação química do pesticida *round-up*.

Este contexto mostra que a Revolução Verde se manteve mais preocupada com a aplicação de processos técnico-científicos, enquanto a sua produção se revertia em lucros, do que com premissas em garantir a alimentação mundial, intenção inicial que justificava a sua adesão tanto pelos agricultores quanto os Estados.

A opinião pública, órgãos estatais e parte da comunidade científico-acadêmica não se mantiveram inertes diante das inquietações despertadas pelos desdobramentos dessa articulação. No Brasil, movimentos a favor de uma agricultura alternativa contestaram o padrão técnico introduzido na produção e incentivado por políticas de modernização do campo.

Logo após a implantação dos métodos da Revolução Verde, apoiadas por políticas

governamentais e por órgãos públicos que traziam em seu discurso uma perspectiva de progresso social e econômico, ocorreu o processo de exclusão da comunidade rural. Esse fato deu início às primeiras movimentações de grupos organizados e motivados pelos impactos sofridos no meio em que habitavam e trabalhavam, como salienta Brandemburg:

Já na década seguinte à primeira modernização agrícola, o pequeno agricultor em processo de exclusão e trabalhadores já excluídos vinculados às associações, organizações sindicais combativas e pastorais religiosas, viriam a questionar tanto as políticas agrícolas como as técnicas por elas implementadas. Surge daí um movimento de construção de uma agricultura tida como “alternativa” ao modelo hegemônico e que irá resgatar práticas tradicionais de produção, condenadas pelo modelo vigente. (BRANDEMBURG, 2005: 52).

Nesse momento algumas entidades como a Federação de Órgãos para a Assistência Social e Educação (FASE) trabalhou como assessora desses grupos formados por pequenos agricultores. Em 1983 com a formulação do Projeto Tecnologias Alternativas este órgão assume uma posição mais abrangente cobrindo mais de dez estados brasileiros. (BRANDEMBURG, 2005).

Outras entidades de representação dos agricultores também expressaram contestação frente ao modelo vigente como a Confederação Nacional dos Trabalhadores (CONTAG). Os altos custos da produção imposta pela “modernização no campo” fizeram do IV Congresso Nacional dos Trabalhadores Rurais, realizado em 1985, espaço de questionamentos

sobre as novas técnicas de produção frente os valores das vendas de produtos. Houve o consenso de que a emergência da participação dos agricultores nos processos de aprimoramento no campo deveria ser considerada, assim como o resgate de técnicas e práticas como o uso de matéria orgânica, controle biológico e consórcio de culturas (BRANDEMBURG, 2005).

Em suma, pode-se concluir que pouco das reivindicações dos pequenos produtores foram atendidas. Um modelo de agricultura moderna e sustentável apenas suscitou debates em que de um lado estavam os defensores de uma política agrária que respeitasse os valores das comunidades tradicionais junto da preservação ambiental, e de outro, um discurso com tom progressista invocando a modernidade no campo por meio da instrumentalização e técnica científica numa lógica mercadológica com vistas ao acúmulo de capital.

O CASO DE PIRACICABA

De modo a exemplificar nosso debate, nos debruçamos sobre um estudo de caso como forma de retratar por meio do trabalho empírico a especificidade causada pela modernização no setor rural. Como já dito, o recorte deste estudo foi feito numa região rural de Piracicaba (SP), mais especificamente nos bairros de Santana e Santa Olímpia. A intenção foi de verificar e analisar impactos e transformações causadas pela intensificação agrícola registrada na região e os desdobramentos na comunidade, o que imprime reflexos que são encontrados em plena atividade.

O objetivo principal se refere à dinâmica do conhecimento tradicional, suas perdas em termos de práticas e decorrências dentro do grupo familiar, junto das alterações ao longo de gerações. Objetivamos também analisar e encontrar justificativas que esclareçam o fato da comunidade, antes

autossustentável, tendo na agricultura a principal fonte de reprodução, hoje demandar do meio urbano para sua manutenção, fenômeno que coincide com o aumento da plantação de cana-de-açúcar na região.

As origens de Piracicaba se remetem ao século XVII, época em que os paulistas a consideravam como “boca de sertão”, assim como as demais regiões entre as vertentes dos rios Tietê e Capivari, até a Serra de São Pedro. A referência era de “paragem do Piracicaba”, e “porto de Piracicaba”, apenas este tinha localização precisa ao pé do Salto (ATLAS RURAL, 2006).

Piracicaba ao longo dos tempos se consolidou numa importante cidade do interior paulista, destacando-se na produção de açúcar e álcool. De fato esta é uma região privilegiada para tal atividade já que no mesmo local encontramos vastos campos para a produção de cana-de-açúcar, usinas e indústrias metalúrgicas que fabricam peças e maquinários destinados às necessidades da produção. Como não poderia se ausentar, associações e cooperativas também estão presentes, fazendo da cidade um grande cenário sucroalcooleiro do interior paulista.

Junto do parque industrial, mais precisamente os de Unileste e Uninorte, dois bairros industriais que congregam a maior parte das indústrias do município, a indústria de açúcar e álcool colabora para a dinamização da economia.

Da policultura para a monocultura

A produção agrícola no Estado de São Paulo entre 1930 e 1950 é caracterizada pela diversificação na produção. A fertilidade do solo e os grandes espaços de terras favoreciam a produção de vários gêneros. A mão de obra abundante e o desenvolvimento da técnica, sobretudo financiada pelo Estado,

principalmente para a produção de cana e algodão, colocavam o estado na vanguarda da produção agrícola.

A produção algodoeira tinha ganhado grandes incrementos devido o crescimento da indústria têxtil, e as consecutivas safras elevadas da cana faziam desses dois produtos os principais da economia rural paulista. Os produtores piracicabanos de algodão, respondendo ao estímulo externo como a política de sustentação de preços do governo norte americano, e a importação dos mercados japoneses, alemães e italianos, fizeram do município de Piracicaba um dos principais fornecedores de algodão do Estado de São Paulo (BILAC & TERCI, 2001).

A produção também encontrava escoamento no próprio território: a fábrica têxtil Arethusina, instalada na cidade, consumia parte da produção de algodão local. Esta indústria têxtil tem total ligação com o mercado açucareiro já que sua produção fornecia as sacas de algodão necessárias para embalar o produto.

A produção de laranja teve seu espaço na agricultura piracicabana da década de 1930, principalmente pela valorização internacional do produto. As terras arenosas que não eram propícias ao algodão, com adubação orgânica serviram para a citricultura. Entretanto a produção não chegou a fazer de Piracicaba um centro citricultor. Predominava o pequeno produtor totalizando 212.348 pés de laranja. A exportação do produto passou de 6,94% em 1932 para 21,54% em 1935 (BILAC & TERCI, 2001).

Passado o surto produtivo da década de 1930, o que se segue até os anos de 1950 é a redução na produção tanto de laranja como de algodão. A produção canavieira, no entanto, ganhava um grande incentivo com a criação do IAA (Instituto de Açúcar e Álcool). A política de subsídios e o estabelecimento de quotas na produção, mantinha a estabilidade

no preço do açúcar. A regulamentação entre produtores e compradores também colaborou para que essa produção fosse ganhando cada vez mais espaço na agricultura paulista, apresentando maior rentabilidade entre os agricultores (TERCI, 2005).

Duas iniciativas do IAA em Piracicaba mostraram como esse instituto beneficiou o município. Dentre diversas concessões se destacam o financiamento de uma usina piloto sem fins lucrativos cujo funcionamento era na ESALQ (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz), com o intuito de produzir pesquisas e aperfeiçoamento na produção de açúcar e álcool. Outra colaboração foi a criação de uma destilaria, ampliando os horizontes da indústria sucroalcooleira na região.

Esse investimento no município deve-se também ao fato de Piracicaba desde o início do século XX ter registrado bons desempenhos no mercado canavieiro. Embora houvesse a característica policultora, a cana sempre esteve em maior evidência. Em 1935 o município era responsável por 1/5 da produção paulista de açúcar. As Tabelas 1 e 2 exemplificam o bom desempenho por meio da produção de sacas de açúcar.

De acordo com as Tabelas 1 e 2, nota-se um crescimento absoluto na produção de açúcar durante todo o período, e na participação estadual manteve-se na maioria dos anos como fornecedora de aproximadamente 20% de toda a produção no Estado. Embora se registre um declínio na participação estadual comparando os números de 1940 a 1950, decorrência da produção do produto em outras regiões graças a políticas de incentivo ao setor.

A tendência à monocultura parecia evidente, o crescente aumento nos números ofuscava o caráter policultor que gradativamente se distanciava do município. Embora a produção de

Tabela 1- Sacas de 60 Kg de açúcar produzido nos anos de 1925 a 1935 no município de Piracicaba e participação no Estado de São Paulo

Ano	Piracicaba	% sobre o Estado
1925	18.000	7,93
1926	60.000	13,05
1927	180.000	24,22
1928	240.000	23,17
1929	270.000	21,01
1931	330.000	19,55
1932	380.000	20,1
1933	445.000	20,23
1934	420.000	19,09
1935	403.000	19,19

Fonte: Neme, 1939: 85

Tabela 2 - Participação no Estado de São Paulo na produção de açúcar

Ano	Participação no estado (em %)
1940	20,46
1950	15,67

Fonte: Censo agropecuário do IBGE para 1940 e 1950

Tabela 3 - Produção agrícola em 1934 no município de Piracicaba segundo quantidade produzida e participação no Estado de São Paulo

Produto	Piracicaba	% sobre o Estado
Mamona	1.360 Kg	0,04
Farinha de Mandioca	2.500 scs.	0,2
Batata	25.072 ars.	0,24
Alfafa	47.650 Kg	0,4
Café	229.133 ars.	0,5
Feijão	26.183 scs.	0,64
Arroz	87.428 scs.	0,88
Milho	417.671 scs.	1,61
Fumo	7.613 ars.	3,81
Algodão	300.000 ars.	4
Polvilho	100.100 Kg	9,93
Cana-de-açúcar	380.000 tn.	19,34

Fonte: Neme, 1939

cana-de-açúcar tivesse sua importância no conjunto de outras culturas, a diversificação produtiva se mantinha forte durante a década de 1930, como pode ser observado na Tabela 3.

Esses números não se sustentaram e no final da década de 1930 já se engendrava a tendência a monocultura de cana-de-açúcar no município.

Durante a existência da pequena propriedade rural e familiar, que utilizava a terra também como meio de subsistência, havia uma melhor distribuição da mão de obra. Os 59.329 alqueires de

terras férteis eram cultivados por 15.392 trabalhadores, ou seja, cada trabalhador rural cultivava 3,8 alqueires de terra, sendo que a média no Estado era de 8,5 alqueires de terra por trabalhador rural (BILAC & TERCI, 2001).

As boas condições no campo poderiam ser descritas pelas instalações de serviços de saneamento básico e educação. Em 1936 um total de 150 professores educava 8.380 crianças em áreas rurais. Essa conjuntura rural ocorria sobretudo nas áreas de regime de colonato, que também favoreceu a concentração de terras por parte das usinas de cana.

A tarefa do colono era como de um fornecedor de cana, inclusive se responsabilizando pelos riscos agrícolas, pelo plantio, tratamento e colheita da cana, porém sem possuir a terra. Era remunerado pelo trabalho e tinha o direito de utilizar um espaço de terra para o plantio de gêneros básicos para o próprio consumo.

As medidas reguladoras do IAA, que patrocinaram a expansão da agricultura canavieira, contribuíram para a eliminação do regime de colonato. À medida que as usinas necessitavam de terras para expansão da produção, iam adentrando nos espaços dedicados às roças de subsistência dos colonos.

Ou seja, no regime de colonato o colono se responsabilizava junto de sua família por um espaço de terra onde produzia os próprios produtos. Durante a safra da cana toda a família se concentrava nas atividades canavieiras. Nos momentos de entressafra, em que não havia grande necessidade de mão de obra, os membros da família que não estivessem ocupados no trato da terra, seja da cana, ou da roça de subsistência, poderiam se candidatar as atividades diaristas na usina, executando os mais variados serviços de manutenção.

A expansão da área da lavoura canavieira, a concentração fundiária, a crise do café e sua

substituição pela cana, que diminuiu a concorrência por mão de obra, e a mecanização da agricultura, foram fatores que contribuíram para os usineiros não mais fixarem os trabalhadores em suas circunscrições, vindo a iniciar o processo de eliminação do colonato e proletarização do trabalhador rural cuja caracterização será a do trabalhador volante, o boia-fria.

Impactos socioambientais decorrentes da produção canavieira em Piracicaba

Com a implantação do Proálcool na década de 1970 os impactos ambientais provocados pela cultura canavieira se potencializaram. A rotatividade na produção que já era mínima, praticamente desapareceu. A indução do autoabastecimento nacional utilizando de energia vinda do álcool fez com que a produção, que tinha registrado 32 milhões de litros em 1968, no decorrer de 20 anos aumentasse em cinco vezes. Durante esse período os danos ambientais foram irreversíveis ou de lenta recuperação. Para Barríos,

(...) o caso da produção agrícola da cana, no último quinto de século presente se conseguiram avanços significativos no que diz respeito a produtividade, rendimentos e qualidade dos produtos. Os agricultores apoiados nas novas tecnologias e conquistas das ciências conseguiram safras notáveis, com excelentes benefícios econômicos para seus interesses, contudo, tremendamente prejudiciais para o meio ambiente (BARRÍOS, 1993: 127).

Tecnologias e conquistas científicas as quais o autor se refere supria e ampliava o mercado de açúcar e álcool do país ao mesmo tempo em que favorecia a

degradação ambiental. O trabalho com a cana em zonas que naturalmente eram cobertas por vegetação ou com cultivos diversificados, com a introdução da monocultura trouxe impactos e desequilíbrios no ambiente, afetando os diversos sistemas e mudando o aspecto da paisagem.

As usinas de açúcar e álcool do município empregam atualmente cerca de 10 mil pessoas para as tarefas temporárias na safra da cana, principalmente para o corte. Nas décadas de 1970 e 1980 ocorreram os primeiros impactos sociais na região resultante da migração em busca de trabalho nas lavouras de cana. A região recebeu um grande excedente de trabalhadores vindos de Minas Gerais e Paraná. Estes sem qualificação profissional se dirigiram aos trabalhos na lavoura de cana. A baixa rentabilidade da atividade fez com que se instalassem em áreas de risco, como nas margens de rios e córregos, dando origem as primeiras favelas (MARTINS & GALLO, 2001).

Se a atividade de cortar cana traz o problema do subemprego à região, com a colheita mecanizada nos deparamos com o desemprego. Atualmente há grande tendência para a mecanização da colheita, assim como já ocorre em outros canaviais do Estado de São Paulo, como em Ribeirão Preto, outro centro canavieiro. As novas tecnologias na produção de máquinas que suportam a declividade do solo tende a acentuar essa tendência. Os usineiros por sua vez, veem atualmente na palha da cana uma forma de reaproveitamento energético. A colheita mecanizada viabilizaria essa questão. A reivindicação da sociedade civil e do Estado para a redução de partículas poluidoras na atmosfera ocasionadas pelas queimadas (processo que deixaria de existir com a mecanização da colheita) também pressiona a implantação de novos meios na produção do produto.

A implantação da mecanização aumentará a demanda por mão de obra qualificada como mecânicos e operadores de máquinas, e diminuirá para os que não possuem maiores habilidades. O estudo de Martins & Gallo (2001) mostrava que de quatro empregos especializados decorrentes da modernização na produção de cana-de-açúcar, o setor geraria menos cem postos de trabalhos rurais. Confirmada a tendência, poderá representar maior agravamento dos problemas sociais na região.

Os impasses entre a produção canavieira e seus impactos socioambientais estão longe de se chegar a uma resolução consolidada no desafio de conceber desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental. A intensa produção atrelou a matriz de desenvolvimento ao setor. O município fomenta continuamente medidas direcionadas para o crescimento do setor sucroalcooleiro, como isenção de impostos aos produtores e nenhuma imposição ou restrições quanto a expansão dos canaviais, e até mesmo adiando decisões referentes ao processo de colheita da cana. Os resultados obtidos dessa fórmula são a constante acumulação de renda e violência socioambiental.

Modernização na agricultura e alterações socioculturais: retrato de uma comunidade tradicional de Piracicaba

Pretende-se aqui analisar as alterações socioculturais decorrentes da modernização na agricultura na região de Piracicaba, mais precisamente aquelas relacionadas à intensificação agrícola, o caso da cana-de-açúcar e suas implicações.

O enfoque sobre uma comunidade que antes era tradicionalmente rural mostra-se bastante interessante. Por meio de sua análise pode-se detectar os impactos que artifícios modernos,

ligados a agricultura e a relação que o grupo com ela estabelece, têm sobre a dinâmica do local. Conhecimentos e práticas são alterados e a confluência entre moderno e tradicional resulta em elementos passíveis de serem interpretados como perdas ou ganhos, no sentido de haver a preponderância de determinados tipos de valores embutidos nessas denominações.

Entretanto, não se pode ser reducionista a ponto de se limitar a uma análise atenta apenas ao contraste desse par binário de oposição (tradicional e moderno). Diversas características estão envolvidas nesse processo complexo e cambiante. Seja nas instituições sociais modernas ou em comunidades tradicionais, o fenômeno de continuidades e descontinuidades derivados do par tradição/modernidade estão presentes. As ferramentas teóricas ainda são escassas, mas isso não impede de constatar, de acordo com a teoria social (GIDDENS, 1991; BAUMAN, 1995; HALL 2005), de que os imperativos da oposição tradição/modernidade estão implícitos nos deslocamentos tácitos ao tecido social beneficiado por parâmetros fortemente influenciáveis.

Vale também ressaltar que a rapidez presente na modernidade impôs certas descontinuidades nos processos tradicionais. As implicações das mudanças ocorridas nas transformações em escala mundial atingem o local e o global, fundindo-se em costumes e hábitos que sofrem clivagens. Estes, diante do gerenciamento das informações e viabilidade econômica presente nos trâmites das instituições modernas, geram tensões: confiança e risco se congregam numa dinâmica que consolida ou fragiliza a mobilidade dos elementos que estruturam os agentes às organizações sociais (GIDDENS, 1991; SANTOS, 2005).

Os múltiplos determinantes registrados no caso de Piracicaba,

em sua mudança econômica e socioambiental, decorrente da alteração de poli para monocultura, se mostram como exemplo de como elementos originários de diversas esferas e deliberações locais e globais (seja a demanda colocada pelo mercado internacional no consumo de açúcar, ou no incentivo local para a produção canavieira de modo a atrelar a industrialização do município ao mercado da cana) estão centrados em fases que, longe de serem estanques, proporcionam mudanças também nos agentes que administram esses recursos.

Dessa forma, aproximam-se do caso de Santana e Santa Olímpia, comunidades que se formaram em meio às transformações econômicas trazidas pelo mercado de cana-de-açúcar no município de Piracicaba. Suas peculiaridades ideais para o estudo de caso, que também permitiu concebê-la como uma comunidade tradicional, são apresentadas.

Em termos metodológicos valeu-se da História Oral, o que possibilitou ultrapassar a individualidade e captar a visão do grupo, ou seja, nas falas dos moradores estavam presentes suas trajetórias e as do grupo que partilharam e vivenciaram experiências e acontecimentos comuns.

Por meio de relatos da vida de integrantes da comunidade que estiveram presentes nos períodos de transformações do modo de se trabalhar com a terra, pudemos captar as mudanças ocorridas no cotidiano, alterações da rotina e da organização social, e os mecanismos que possibilitaram, mesmo com a ausência atual da socialização por meio da agricultura, a permanência, a noção de pertencimento à comunidade.

A agricultura local

As primeiras famílias que fundaram os bairros entre 1892 e 1893, provenientes da província de Trento, na Itália, dedicaram parte

das terras para o plantio de café com o objetivo de comercializá-lo, sendo este a principal fonte de renda cujos resultados deveriam ser destinados ao pagamento de parte do valor das fazendas e, outra parte, para a produção de gêneros destinados ao consumo interno, como arroz, feijão milho, hortaliças junto de uma pequena quantidade de víveres. Esta situação se altera com a valorização do mercado de açúcar e álcool (GIRALDELLI, 1992).

A política de incentivo a produção de açúcar e álcool do IAA (Instituto do Açúcar e Álcool) entre as décadas de 1940 e 1950 atingiu os pequenos proprietários de regiões rurais. Piracicaba, que já se despontava com grande potencial na produção canavieira, passa a direcionar grande parte de sua produção agrícola à cultura da cana. Como havia a presença da pequena propriedade familiar, foram esses que sentiram os principais efeitos das mudanças econômicas decorrentes da produção de cana-de-açúcar, incluindo os pertencentes do território aqui analisado.

Os recursos direcionados as usinas possibilitaram a modernização na produção, enquanto as mesmas faziam pressão para a produção da matéria-prima pelos pequenos proprietários, dando início a substituição das culturas.

Os moradores por vezes foram procurados para vender as suas terras à usina Costa Pinto que, sem resultado no pleito, decidiram firmar um contrato com a comunidade. Os moradores passaram a cultivar a cana para fornecê-la a usina. A própria usina enviou técnicos ao local para orientar na plantação. Como a demanda pelo produto era consideravelmente grande, os moradores plantavam em suas terras e nas terras da própria usina. Os ganhos eram obtidos por tonelada do produto e a usina se responsabilizava pelo transporte até os locais de beneficiamento.

De acordo com informações obtidas pelos moradores, o plantio

da cana inicialmente favoreceu a comunidade que já buscava formas de obter lucros por meio de outras atividades. A rentabilidade veio a suprir as necessidades que a população enfrentava, principalmente pelo aumento das famílias. Foi um período de relativo progresso, a situação de pobreza foi amenizada. Moradores que compraram terras de famílias que haviam deixado o bairro devido a escassez de recursos e aumento dos membros familiares puderam produzir mais, e com os ganhos investiram na produção adquirindo ferramentas e maquinário (tratores e carregadeiras).

No entanto, a partir da década de 1960 essas políticas de incentivo a produção terminaram por provocar um processo de desalojamento das famílias. A industrialização brasileira que atingia o campo, oferecendo melhores condições de trabalho com a introdução de insumos e maquinários, cujas aquisições eram incentivadas pelo governo por meio de subsídios e financiamentos relacionados a Revolução Verde, foram estendidos inclusive aos pequenos proprietários para continuarem a produzir cana.

Isso resultou num efeito negativo visível: os pequenos proprietários da comunidade de Santana e Santa Olímpia não conseguiram se sustentar diante da contínua exigência por meios tecnológicos na produção. Estes venderam suas terras à famílias que conseguiram se manter ou à usina, e passaram a ser empregados destas ou se transferindo para outros setores econômicos (GIRALDELLI, 1992).

As extensões de terras nas mãos de poucos são trabalhadas num sistema familiar, geralmente entre pais e filhos. Como a produção de cana não demanda de mão de obra permanente, no período de maior necessidade, o da colheita, contratavam pessoas do próprio local.

A escassez de terras e a produção de uma cultura que ofertava empregos de caráter sazonal fizeram com que muitos jovens se dirigissem à cidade no setor industrial que estava em expansão. O melhoramento no transporte público possibilitou que essas pessoas trabalhassem e estudassem na cidade, enquanto mantinham o convívio familiar em suas moradias no local de origem.

Atualmente três famílias ainda plantam e fornecem cana para usinas da região. As extensões de terras de outras famílias se reduziram a “chácaras”, suficientes para a moradia e plantio de hortas e criação de alguns animais. Em suma podemos afirmar que as transformações econômicas nos bairros passaram por três etapas: A policultura de subsistência, a substituição pela monocultura de cana, e posteriormente a troca desta por empregos no meio urbano, permanecendo até hoje. As divisas são oriundas dos diversos setores econômicos da cidade de Piracicaba, onde a população residente está empregada.

Representações da dinâmica rural do ponto de vista dos moradores: o retorno por meio da memória

A história de vida, método utilizado aqui para captar os fragmentos que constituem a memória, foi analisada levando em consideração a memória como uma categoria que passa por alterações decorrentes da vivência social dos personagens abordados. Como afirmado por Halbwachs (1990: 71) “a lembrança é em larga medida uma reconstrução do passado com a ajuda de dados emprestados do presente, e além disso, preparadas por outras reconstruções feitas em épocas anteriores e de onde a imagem de outrora manifestou-se já bem alterada”. Assim, a ficção presente em suas falas foi compreendida como a amalgama

que adere as visões de mundo sobre determinados fatos vivenciados.

Notou-se que os “fios” que levam um fragmento a outro se valem também da lembrança de outras pessoas, como se a história de terceiros fizesse parte de um enredo individual. Nomes, características e até mesmo gestos de outras pessoas permitiram estabelecer coerência e precisão na recriação de uma realidade passada e socialmente criada que por vezes não se remeteram a particularismos, mas sim às memórias sociais criadas pelo grupo. No processo de trazer a tona antigas lembranças, as representações de um mundo por vezes tornam-se sinônimo de pesar por outros de utopia. O agente se dota de autonomia para imprimir sua visão particular de um coletivo.

As histórias de vida coletadas foram de seis moradores das terceira e quarta gerações dos colonizadores dos bairros, todos eles nasceram entre 1930 e 1940, foram criados e sempre residiram na localidade. Afirmam que começaram a trabalhar a partir dos cinco anos de idade levando refeições para os pais e avós no campo.

Alguns relatam que nessa época essa atividade tomava grande parte do dia que resumia em levar o almoço, e depois o “café da tarde”. Todos foram alfabetizados, sendo que uma, mesmo se dedicando a atividade agrícola até os catorze anos, cursou o ensino superior e lecionou na escola da comunidade. Os outros cursaram o equivalente ao ensino fundamental.

Relatam a rígida educação com preponderância dos valores católicos (única religião presente até hoje nos bairros) em que eram permitidos até castigos corporais feitos pelos membros da igreja, na época, os padres da Ordem dos Capuchinhos. Ressaltam a severidade dos pais no que se refere ao respeito, conduta moral e exaltação dos valores ligados à família. Em seus discursos vemos as diferenças do papel do pai e da mãe. Ao primeiro cabia a tarefa de

orientar os filhos ao trabalho e a impessoalidade na relação, era este que “*bastava o olhar pra saber o que queria dizer*”. Com a mãe era mantida uma relação mais próxima apesar de partir dessas os castigos mais severos. De qualquer forma a figura da mãe tinha maior centralidade na casa.

Dois desses entrevistados nunca contraíram matrimônio, permanecendo solteiros até hoje. Notou-se que esta geração, apesar de presenciar uma comunidade um pouco mais aberta em relação ao contato com os “de fora”, ainda eram influenciados pela opinião dos pais em vários aspectos, um deles se refere aos casamentos, em que a ideia de união com membros não pertencentes à comunidade era vista com rejeição. Até mesmo as uniões entre pessoas do mesmo grupo possuíam forte influência dos pais na escolha dos parceiros. Assim é comum encontrar nos bairros senhores da faixa dos setenta anos que não se casaram. Outro fator que contribuiu para isto foi o número de jovens que se dirigiam aos seminários e conventos. A influência da igreja era tão forte a ponto de fazer com que em cada família houvesse ao menos um candidato ou candidata à vida religiosa, sendo grande orgulho para os pais.

Com exceção desses dois, todos formaram famílias e já são bisavós. Nenhum de seus filhos se dedicou à agricultura, alguns deles residem no bairro e trabalham na cidade. Apenas um se sobressaiu na cultura de cana-de-açúcar, inclusive utilizando de ferramentas mecanizadas e fornecendo o produto para as usinas da região.

Preservam a religiosidade e vários dos costumes dos seus antepassados, principalmente no que se refere a comidas típicas. Exaltam os valores familiares, considerando como grandes heranças deixadas pelos pais, algo que veem diluídos nas novas gerações. A afeição diante das origens lhes dá a sensação de pertencimento e reconhecimento

frente ao outro. De fato nota-se uma solidariedade forte dentro do grupo de modo geral, uma característica da comunidade.

No tocante à agricultura, puderam notar a introdução e valorização de novas técnicas no manejo com a terra, ascensão da produção canavieira e a eliminação de toda atividade agrícola. Sobrevivem do arrendamento de terras, da aposentadoria rural, ou ainda por recursos vindos de membros das famílias.

A atividade no campo

Para esses moradores o trabalho permanece como uma categoria imbuída de valores que remetem ao caráter da pessoa. Aquele que trabalha é classificado como “boa pessoa, trabalhadora”. Esse valor dado ao trabalho era cultivado já na infância quando foram introduzidos ao trabalho rural, sobretudo no cultivo da cana. Representam essa atividade por dois extremos: grande desgaste físico e desvalorização, e por outro de liberdade e sociabilidade.

Houve um momento em que a atividade rural mesmo com a presença da cana, possibilitava o cultivo, como por exemplo, de arroz, feijão, milho entre outros gêneros que garantiam a demanda da comunidade. Mesmo sem a instalação de um sistema de cooperativa, os produtos eram trocados livremente. Em tempos de boa colheita, chegavam a ser vendidos na cidade. O pouco que lucravam com a atividade canavieira, o único produto destinado a comercialização, era utilizado para despesas geralmente com as crianças.

“A gente não tinha luxo, mas tinha fartura de comida. Não variava muito não, hoje nem como galinha de tanto que já comi na vida...mas não faltava comida não”.

Na medida em que se lembravam um cenário imaginário

começava a ser montado e com o auxílio de outros personagens o convívio social surgia. Gestos, comportamentos e atitudes revelam o sentido de unidade e colaboração mútua necessária para a reprodução dos moradores. Sentimento preservado em certa medida mesmo com a intensificação da produção de cana-de-açúcar. A atividade da cana pouco a pouco foi eliminando a produção de subsistência diversificada. Os suprimentos necessários começaram a vir dos lucros com a cana, quase não havendo a necessidade da antiga prática da troca.

As terras eram delimitadas, cada família tinha o seu espaço. O empenho se dava no âmbito de adquirir mais terras, o que significaria maiores lucros. O trabalho exigia grande esforço do corpo, o que imprime marcas até hoje. As mãos são calejadas, o corpo expressa um contínuo cansaço, que se contrasta com a forma enérgica que proferem as palavras.

Falar do passado conduz subitamente a um tipo de ansiedade, como se estivessem denunciando alguma injustiça da qual foram vítimas. Ao mesmo tempo, o sofrimento dá lugar a um tom de orgulho. Gesticulavam tentando representar o esforço que faziam, e as marcas no corpo eram mostradas seguidas de frases como “olha olha, de tanto trabalhar”.

O beneficiamento da cana chegou a ocorrer no próprio local por meio de um pequeno engenho movido a tração animal. Produziam açúcar batido (mascavo) fornecendo a uma indústria de bebidas da região, mas que logo pararam: a demanda pela usina era maior e mais rentável.

A atividade era executada toda manualmente e com instrumentos simples operados pelos trabalhadores ou por tração animal. Planadores e arados utilizados no trato da terra eram de madeira e pouco eficientes.

“Antes a gente plantava um pouco de tudo, tudo pra

consumo próprio. Até que tinha um pouco de cana, mas ela não eliminava as outras, foi depois que ela veio, aí veio pra valer”.

A fala acima se refere ao período de grande incentivo à produção canavieira, em que os pequenos agricultores foram pressionados pelas usinas locais à fornecerem a matéria-prima necessária. Os hábitos passaram por modificações. A centralidade na produção canavieira tinha por objetivo garantir lucros que suprissem as demandas de cada família, e que colaborasse na compra de mais terras e maquinários. A mecanização e utilização de técnicas eram almeçadas, esperava-se que a produtividade vinda por elas resultassem em maiores rendimentos.

“A gente fincava o arado na terra, prendia as amarras no burro e passava o dia de um lado para outro preparando a terra”.

Com o aumento das plantações ocorreu a desvalorização da cana, exigindo maior cultivo do produto para continuar a garantir o mínimo necessário. Apenas algumas famílias conseguiram tal feito, principalmente aquelas que haviam comprado as terras de parentes que se destinaram à cidade. A maior produção possibilitou o investimento em ferramentas e maquinários o que garantiu a sobrevivência de poucos grupos na atividade agrícola.

“Antigamente tinha Degaspari com a cultura de cana, nói [nós] tinha cultura de cana, Fermanni tinha, os Stencio tinha...Cristoffoletti tinha. Todos sobrevivia trabalhando entre os irmãos. Depois que acabou. Aí quando começou a ficar só a cana, aí foi caindo o valor da cana. Aí foi quando o povo começou ir pra cidade pra trabalhar e só ficou quem arrendou... um

pouco de cana sustentava um monte de família, agora um monte de cana não sustenta uma família”

Definitivamente a atividade agrícola deixa de ser a provedora dos suprimentos dos moradores dos bairros. Filhos e netos começaram a trabalhar na cidade. As terras foram arrendadas para a usina mais próxima (Costa Pinto) e a mão de obra passou a ser realizada por trabalhadores vindos de outras regiões para os trabalhos sazonais.

A lembrança do campo se contrasta por uma sensação de alívio por já ter passado e por um saudosismo da juventude e do convívio social.

“Chegava a hora do café da tarde a gente sentava debaixo de uma árvore, tudo suado, tudo se enxugando assim...picado de formiga, mas era aquela coisa gostosa, livre livre né...A gente ia junto, voltava junto, almoçava junto, de tarde um assunto outro dia outro [assunto]... Você trabalhava durante o dia na roça, e a noite você não tinha onde buscar lazer, o lazer era sempre em frete a igreja, onde se reunia, ficava conversando,brincava...”.

A homogeneização trazida pela monocultura interferiu nos padrões do bairro. Ocorreu uma redução dos espaços sociais que se limitavam a religião e a identidade cultural, colocando-os na mesma origem favorecendo o reconhecimento mútuo alimentado pelas festas locais. A ruptura com a agricultura representou a descontinuidade de um processo que permitia maior autonomia da comunidade, no sentido de empregar e fornecer parte dos suprimentos que hoje é totalmente dependente do meio urbano.

Ao fazer uma análise de conjuntura vemos que seria inevitável o crescimento populacional dos bairros, e a própria

existência do grupo dependeria de sua abertura e participação em outros setores econômicos e sociais da cidade. Porém o que podemos questionar é a forma com que a imposição de um único tipo de cultura ocasionou primeiramente a padronização das práticas agrícolas e depois a extinção de atividades que colaboravam para a reprodução dos bairros.

Os anos e décadas se passaram, e a memória dos denominados “velhos” dos bairros se tornou um depositário das transformações culturais e tradicionais de uma época em que plantar, cultivar e colher era parte essencial da vida cotidiana, era a centralidade coletiva. Talvez a pequena horta localizada no fundo das casas de cada um deles possa representar uma resistência, mesmo que ínfima, mas que colabora no cultivo da própria memória, agora um pouco mais utópica, fantasiosa, como gostariam de ter vivenciado em sua plenitude.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos que congregam impactos de novas tecnologias, intensificação agrícola e sistemas de conhecimentos locais estão num trânsito permeado por políticas científicas, convenções que visam a proteção de recursos e saberes locais, deliberações e estratégias colocadas por conglomerados econômicos e pelo Estado, além das diferentes clivagens ocasionadas por circunstâncias geradas no interior de cada um desses espaços.

Na dedicação em abordar conhecimentos e práticas locais, suas alterações e transformações advindas de novos padrões de ciência e tecnologia, principalmente em países cuja potencialidade de exploração dos recursos naturais ainda se sobressai, as atenções estão nas questões ambientais, de sustentabilidade e em transformações culturais carregadas de simbolismos e concepções de mundo.

Nesse sentido, ao permitir que o agente local e meio ambiente sejam protagonistas, o debate traz à tona críticas sobre os rumos de um modelo de desenvolvimento que implica em processos de extinção, sejam de conhecimentos ou de comunidades. Trata-se de lançar enfoques que privilegiam o tradicional, não como um sistema de códigos e saberes cristalizados e intocados, ou da defesa do seu isolamento, mas sim de como se opera essa condição de troca e apropriação. Como salientado, não se trata da defesa de distanciamentos - conhecimento científico e tradicional em extremos opostos - mas das implicações por meio da arbitrariedade de valores que se preponderam frente a outros, podendo resultar no silenciamento de uma cultura e riscos de danos irreparáveis, ou de difícil reversão, por se basear em elementos centrais na constituição da identidade individual ou coletiva.

O tema vem ganhando atenção da sociedade civil e passa pelo ativismo, terceiro setor e empresas privadas que trazem em seu discurso a sustentabilidade socioambiental. Suas formulações merecem atenção para que não representem formas ocultas de proporcionar benefícios privados, ausentes da fundamental preocupação de se compromissar na articulação dos diferentes tipos de denominações sociais que a era moderna tenta aproximar.

Com base no presente estudo pode-se formular um conjunto de constatações, que colaboraram nos esforços em compreender parte das ocorrências dos empreendimentos hegemônicos voltados à ambientes rurais:

- A Padronização tecnológica e agrícola reconfigura o ambiente das comunidades em novas formas de organização, reduz ou sucumbe as antigas práticas à formas mais intensas de produção, ligadas a um padrão político-econômico de desenvolvimento. A técnica colocada por essa produção é alheia

a princípios que conciliem desenvolvimento e conservação ambiental. As comunidades locais, por sua vez, passam por processos internos de transformação ocasionados por novos elementos vindos da realocação necessária para sua manutenção e reprodução. Enquanto isso sua cultura se relativiza diante de novos contextos, e a emancipação do grupo torna-se sujeita a hierarquias de validade do conhecimento.

- No que se refere ao Estado e conglomerados econômicos observou-se a presença de uma lógica ainda permeada na divisão de países industrializados e aqueles que ainda não atingiram o status do desenvolvimento. Isso colabora para que as instituições que utilizam de recursos naturais possam implantar suas formas de produção condizentes com uma estrutura que a beneficie, independente dos valores e espaços que se destinam. Isso ocorre principalmente pelo fato dos trâmites referentes a negociações comerciais e disseminação de novas tecnologias, serem normatizadas e propagadas em rodadas e convenções dos órgãos referentes ao comércio internacional. Ainda que atualmente os países que ocupam a denominação “Sul” estão continuamente se articulando, não ocorrem em ambientes harmônicos.

- A tradição não está inerte, mas sim em constante movimento, se reinventando e aberta à concepções e práticas que colaboram para a pluralidade em termos de trocas e produção de novos paradigmas. No estudo de caso notamos que a anulação da atividade agrícola forçou a busca por novos parâmetros de manutenção da comunidade, o que permitiu dois movimentos: práticas e valores tradicionais ganharam novos significados com a preponderância de elementos não originários do local e, nesse sentido, o intercâmbio de valores não preservou pesos equivalentes. A inserção da comunidade numa realidade

próxima da urbana fez uma nova compreensão de rural ausente da atividade agrícola. As novas concepções interagem tanto com membros locais, como de outras instâncias que praticam as representações desse espaço.

Em suma julga-se que a emergência em se discutir os processos que levam a interferências impostas numa via única sem intercâmbio, como a produção intensa de cana-de-açúcar, deve ocorrer no sentido de avaliar os empreendimentos que conduzem à perdas em termos de conhecimentos e práticas locais. O alerta se mantém para geração de condições equitativas de desenvolvimento, preservação ambiental e conservação de elementos presentes na constituição do desenvolvimento endógeno dos sistemas de saberes diversificados e derivados de diferentes práticas rurais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA JR. ,A; MATTOS, Zilda Paes de Barros. Ilusórias sementes. *In: Ambiente e Sociedade*, Janeiro 2005, vol. 8, no1, p. 101-119.
- ANDRADE, Manuel Correia. *Modernização e pobreza: a expansão da agroindústria canavieira e seu impacto ecológico e social*. São Paulo: Editora Unesp, 1994, 250 p.
- ANDRADE, T. H. N. Inovação tecnológica e meio ambiente: a construção de novos enfoques. *In: Ambiente e Sociedade*, Junho 2004, vol. 7, no.1, p. 89-105.
- Atlas rural de Piracicaba / edição de Alberto Giaroli de Oliveira Pereira Barretto, Gerd Sparovek e Mariana Giannotti. Piracicaba: IPEF, 2006.
- _____. Inovação e Ciências Sociais: em busca de novos referenciais. *In: Revista brasileira de Ciências Sociais*, Junho 2005, vol. 20, no. 58, p. 145-156.
- Barretto, Giaroli de Oliveira Pereira et. al. *Atlas rural de Piracicaba*. Piracicaba: IPEF, 2006. 76 p.
- BILAC, Maria Beatriz, TERCI, Eliana Tadeu. *Piracicaba: de centro policultor a centro canavieiro*. Piracicaba: MB editora, 2001. 130 p.
- BAUMGARTEN, Maíra. Reestruturação produtiva. *In: Antônio Cattani (Org). Trabalho e tecnologia - dicionário crítico*. 2 ed. Petrópolis: Vozes, 1999. 202-205 p.
- BERRÍOS, Manuel Rolando. *Degradação na bacia do Rio Piracicaba (SP): Agricultura e industrialização da cana-de-açúcar*: Tese de doutorado, USP/ESALQ. Piracicaba, 1993.
- BOURDIEU, P. *O camponês e seu corpo*. *Revista de sociologia política*, Curitiba, 26, p. 83-92, jun. 2006.
- BRANDENBURG, Alfio. Ciências Sociais e ambiente rural: principais temas e perspectivas analíticas. *In: Ambiente e Sociedade*, Janeiro 2005, vol. 8, no1, p. 51-64.
- CARNEIRO, Maria José. *O rural como categoria de pensamento*. *Ruris*, vol. 2, n1, Março 2008. p. 9-38.
- FORAY, D. & GRÜBLER, A. Technology and environment: an overview. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 53, no. 01, September 1996.
- FREEMAN, C; SOETE, Luc. *The economics of industrial innovation*. 3 ed. Cambridge: MIT Press, 1997. 470 p.
- FREEMAN, C. The greening of technology and models of innovation, *Technological forecasting and social changes*, v 53, no.01, September 1996.
- FURTADO, Celso Monteiro, 1920-2004. *Formação econômica do Brasil*. 11 ed. São Paulo: Nacional, 1972. 248 p.
- GARCIA DOS SANTOS, Laymert. *Politizar as novas tecnologias: o impacto sócio-técnico da informação digital e genética*. São Paulo: Editora 34, 2003. 320 p.
- _____. Quando o conhecimento tecnocientífico se torna predação high-tech: recursos genéticos e conhecimento tradicional no Brasil. *In: Semear outras soluções: os caminhos da biodiversidade e dos conhecimentos rivais*. Boaventura S. Santos (Org.). Rio de Janeiro: Civilização brasileira, 2005. 125-165 p.
- _____. As novas tecnologias e o papel da propriedade intelectual para uma política justa e equitativa de repartição de benefícios. *In: As encruzilhadas das modernidades: debates sobre biodiversidade, tecnociência e cultura*. Mathias, Fernando; Novion, Henry de. (Org.). São Paulo: Instituto socioambiental, 2006. 395 p.
- GIDDENS, Anthony. *As consequências da modernidade*. Raul Fiker (Trad.). São Paulo: Editora Unesp, 1991. 177 p.
- GIRALDELLI, Sandra Regina. Santa Olímpia e Santana: trajetória social e memória. Dissertação de mestrado, Instituto de filosofia e ciências humanas/Unicamp, Campinas, 1992, 140 p.
- HABERMAS, Jürgen. *Técnica e ciência como ideologia*. Lisboa: Edições 70, 1968. 147 p.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação automática. São Carlos, 2010. <<http://www.ibge.gov.br>>. 03Mar. 2010.

IGLECIAS, W. T. . O Empresariado do Agronegócio no Brasil Ação coletiva e formas de atuação política - Estudo de caso das batalhas do açúcar e do algodão na Organização Mundial do Comércio . *Revista de Sociologia e Política*, v. 28, p. 195-217, 2007.

LACEY, Hugh. *A controvérsia sobre os transgênicos: questões científicas e éticas*. Pablo Mariconda (Trad.). 1ed.. Aparecida: Letras, 2006. 239 p.

LATOURETTE, B. *Ciência em Ação: como seguir cientistas e engenheiros sociedade a fora*. Ivone C. Benedetti (Trad.) São Paulo: UNESP, 2000. 428 p.

MARTINS, Lília A. de T. Piza, GALLO, Zildo. *Qualidade do crescimento econômico: Uma reflexão sobre o caso de Piracicaba*. In: Terzi, Eliana Tadeu (ORG.). O desenvolvimento de Piracicaba: história e perspectiva. Piracicaba: editora UNIMEP, 2001. 237 p.

NEME, Mário. *Um município agrícola: aspectos sociais e econômicos da organização agrária de Piracicaba*. Piracicaba: LVII, 1939. 99 p.

PORTO-GONÇALVES, Carlos Walter. *A globalização da natureza e a natureza da globalização*. Rio de Janeiro: Civilização brasileira, 2006. 461 p.

QUEIROZ, Maria Isaura Pereira de. (Org.). *Sociologia rural*. Rio de Janeiro: Zahar, 1969. 92 p.

ROBIN, M.-M. *O mundo segundo a Monsanto: da dioxina aos transgênicos, uma multinacional que quer seu bem*. Cecília Lopes, Georges Kormikiaries (Trad.). São Paulo: Radical livros, 2008. 370 p.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. *Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura*. São Paulo: Annablume, 1998. 272 p.

_____. "O avanço da cana". *Jornal da Unicamp*. Campinas, 8 a 14 de setembro 2008. Disponível em: <
http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/setembro/setembro2008/ju408_pag05.php> Acesso em: 25 de jan. 2009.

SANTOS, Boaventura de Sousa. *Um discurso sobre as ciências*. 10 ed. Porto: Edições Anfrontamento, 1998. 58 p.

SANTOS, Boaventura de Sousa; MENESES, Maria Paula G.; NUNES, João Arriscado. Para ampliar o cânone da ciência: a diversidade epistemológica do mundo. In: *Semear outras soluções: os caminhos da biodiversidade e dos conhecimentos rivais*. Boaventura S. Santos (Org.). Rio de Janeiro: Civilização brasileira, 2005. 21-121 p.

SCHUMPETER, Joseph Alois. *Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico*. 3 ed. São Paulo: Nova Cultural, 1988. 169 p.

SHIVA, Vandana. *Biopirataria: a pilhagem da natureza e do conhecimento*. Laura Cardellini Barbosa de Oliveira (Trad.). Petrópolis: Vozes, 2001. 152 p.

_____. *Monoculturas da mente: perspectivas da biodiversidade e da biotecnologia*. Dinah de Abreu Azevedo (Trad.). São Paulo: Gaia, 2003. 240 p.
SILVA, José Graziano. *Progresso técnico e relações de trabalho na agricultura*. São Paulo: Hucitec, 1981. 294 p.

SILVA, Maria Aparecida de Moraes. *A cultura na esteira do tempo*. São Paulo em perspectiva, 15 (3), p. 102-112, 2001.

_____. A morte ronda os canaviais paulistas. *Revista da Associação*

Brasileira de Reforma Agrária - Abra, vol. 33, N. 2, p. 11-143, 2006.

_____. Trabalho e trabalhadores na região do "mar de cana e do rio de álcool". In: NOVAES, J. R. (Org.); ALVES, F. (Org.). *Migrantes: Trabalho e trabalhadores no complexo agroindustrial canavieiro (os heróis do agronegócio brasileiro)*. São Paulo: EDUFSCar, 2007. 55-86 p.

SINGER, Paul. *Desenvolvimento econômico e evolução urbana: análise da evolução econômica de São Paulo: Blumenau, Porto Alegre, Belo Horizonte e Recife*: São Paulo: Nacional, 1977. 377 p.

SPAROVEK, G.; LEPSCH, I.F. Diagnóstico de uso e aptidão das terras agrícolas de Piracicaba. In: TAUK-TORNISIELO, S.M.; GOBBI, N.; FORESTI, C.; LIMA, S.T. (Eds.). *Análise ambiental: estratégias e ações*. São Paulo : Fundação Salim Farah Maluf/T.A. Queiroz, 1995, p. 273-280.

SZMRECSANYI, Tamas. *Vida rural e mudança social: leituras básicas de sociologia rural*. Tamas Szmrecsanyi (Org.); Oriowaldo Queda (Org.). São Paulo: Nacional, 1973. 293 p.

TERCI, Eliana Tadeu (org). *Desconcentração industrial: impactos socioeconômicos e urbanos no interior paulista (1970-1990)*. Taquaral: MB Editora, 2005. 181 p.

VEIGA, José Ely. *Destinos da ruralidade no processo de formação*. Estudos avançados, São Paulo, n. 51, 2004. p. 51-67.

VISVANATHAN, Shiv. Entre a cosmologia e o sistema: a heurística de uma imaginação dissidente. In: *Semear outras soluções: os caminhos da biodiversidade e dos conhecimentos rivais*. Boaventura S. Santos (Org.). Rio de Janeiro: Civilização brasileira, 2005. 167-216 p.

WANDERLEY, Maria Nazareth. *A emergência de uma nova ruralidade nas sociedades avançadas – o rural como espaço singular e ator coletivo*. Estudos Sociedade e Agricultura, 15, out. 2000, p. 87-145.

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

Mecanização da colheita da cana-de-açúcar: benefícios ambientais e impactos na mudança do emprego no campo em São Paulo, Brasil

Mechanized sugarcane harvesting: environmental benefits and impacts on the rural employment structure

RESUMO

Este artigo tem como objetivo identificar o impacto social do aumento da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, determinar a exclusão líquida de trabalhadores rurais (cortadores de cana) no estado de São Paulo, Brasil, maior produtor nacional de cana-de-açúcar, respondendo por 54,2% da produção nacional. Para efeito do estudo são utilizadas, como base, as informações oriundas das usinas signatárias ao Protocolo Agroambiental Paulista. Sempre houve consenso que a eliminação da queima da cana para fins de colheita traria benefícios ambientais, principalmente para a qualidade do ar, mas na questão social as incertezas eram grandes quando da assinatura da Lei 11.241 de 2002 e, posteriormente, do referido Protocolo Agroambiental em 2007. Foi observado que parte do contingente excluído no processo de mecanização da colheita foi requalificado e readmitido em outras funções no próprio setor canavieiro, e igualmente em outros setores. Assim os resultados mostraram que a hipótese de desemprego em massa não se verificou por conta também do bom momento da economia brasileira verificada nos anos que se seguiram aos compromissos assumidos voluntariamente pelo setor em 2007. Isto possibilitou que outras atividades econômicas, como o setor de construções e serviços absorvesse parte deste contingente de trabalhadores. Outra categoria de agente impactado por esse processo são os fornecedores de cana, que em sua maioria exploram pequenas áreas com cana e têm dificuldade para viabilizar a colheita mecanizada, sejam por conta de baixa produção, declividade e dificuldades técnicas e financeiras para realizar a sistematização da área e compra de máquinas.

PALAVRAS-CHAVE: Cana-de-açúcar, emprego, exclusão, Protocolo Agroambiental, colheita

ABSTRACT

This article aims to identify the social impact of the rise of mechanized harvesting of sugarcane, determine the exclusion of rural workers (cane cutters) in the State of São Paulo, Brazil, the largest national producer of sugarcane, accounting for 54.2% of the national production. For the purposes of the study are used as a basis, the information from the agro-environmental Protocol signatory plants Paulista. There has always been consensus that the Elimination of burning of the cane for harvest would bring environmental benefits, especially for the quality of the air, but on social issue the uncertainties were great when the signing of the law of 11,241 2002 and subsequently, the agro-environmental Protocol in 2007. It was observed that part of the quota deleted in the process of mechanization of the harvest was refurbished and rehired in other functions in the sugar sector itself, and also in other sectors. The results showed that the chance of mass unemployment did not happen due to the good moment of the Brazilian economy recorded in the years that followed voluntarily commitments by sector in 2007. This made it possible for other economic activities, such as the construction and services sector will absorb part of the contingent of workers. Another category of agent impacted by this process are the suppliers of cane, which mostly explore small areas with cane and have trouble making mechanized harvesting, whether due to low production, slope and the technical and financial difficulties to realize the systematization of the area and purchase of machinery.

KEYWORDS: Sugar cane, employment, exclusion, Environmental Protocol, harvest

Sergio Alves Torquato
Mestre em Economia Rural e Regional, Pesquisador Científico da Agência Paulista dos Agronegócios, APTA Regional Pólo Centro Sul, UPD
Tietê, SP, Brasil
storquato@apta.sp.gov.br

INTRODUÇÃO

A importância econômica da agroindústria canavieira brasileira é incontestável, principalmente quanto à geração de emprego e renda, geração de divisas, de sua competitividade no sistema agroindustrial e à geração de energia renovável no Brasil. Por outro lado, ainda há muita contestação quando se fala sobre sustentabilidade harmônica entre os três pilares: social, econômico e ambiental. No que se refere ao social faz-se necessário analisar a capacidade desta indústria em gerar emprego e renda de forma sustentável.

Na última década a atividade canavieira passou por várias transformações decorrentes da introdução de novas tecnologias, como o uso da tecnologia da informação, plantio e colheita georeferenciados. Neste processo de mudança houve a modernização tanto na gestão administrativa como nas atividades no campo, este último alvo do objeto do presente estudo.

Assim, a adoção da colheita mecanizada se de um lado trouxe alterações na gestão agrícola com a modificação da sistematização do canal para adequar e proporcionar uma maior eficiência da colhedora, de outro alterou a estrutura do emprego no campo, com a necessidade de mão de obra adequada para as novas operações advindas da ampliação em larga escala dessa tecnologia.

Houve, e ainda há relativo consenso que a eliminação da queima da cana para fins de colheita, manual ou mecanizada, traz benefícios ambientais, principalmente na melhoria da qualidade do ar e diminuição da fuligem, acompanhada de resultados econômicos positivos, como a diminuição dos custos, mas na questão social as incertezas associadas a essa realidade sempre foram maiores e sem um diagnóstico preciso sobre o que

ocorreria no cenário futuro, quando da assinatura da Lei 11.241/02 (São Paulo, 2012) e, posteriormente, do Protocolo Agroambiental em 2007 com as usinas e em 2008 com os fornecedores de cana. A hipótese principal era que o processo de eliminação da queima, ao acelerar a mecanização da colheita, traria um descompasso e, conseqüentemente, sérios problemas sociais. Por outro lado, o desempenho da economia brasileira, que entrava em seu ciclo virtuoso, implicaria na queda do número de imigrantes, por conta da melhora das condições de emprego e renda nas localidades de origem e também do grande *boom* que se observava na construção civil que absorveu uma boa parte dos trabalhadores que seriam alijados nesse processo.

Este trabalho tem por objetivo discutir os impactos da mecanização da colheita da cana-de-açúcar e a decorrente alteração na estrutura do emprego. O estudo é desenvolvido a partir do levantamento de dados e informações junto às usinas signatárias do Protocolo Agroambiental, complementados por dados do Ministério do Trabalho e Emprego, como também dos agentes que atuam na cadeia de produção. Visa, principalmente, comparar o impacto no emprego na colheita manual versus a colheita mecânica no estado de São Paulo, da mão de obra que foi excluída do processo e daquela que teve uma nova reintrodução na produção, e o impacto dessas transformações na sustentabilidade social da atividade canavieira.

Na primeira parte deste artigo é apresentada uma abordagem teórica, onde é tratada a importância da atividade canavieira para a economia do estado de São Paulo e no Brasil em termos de produção e geração de renda. Na segunda parte, apresenta a metodologia utilizada para desenvolver o trabalho. Na terceira parte aponta os impactos da mecanização da colheita da cana

crua e como são tratados do ponto de vista da mudança na estrutura do emprego. A quarta parte traz resultados obtidos a partir do levantamento de dados junto às usinas signatárias ao Protocolo Agroambiental, com a descrição dos principais impactos da mudança tecnológica com a introdução da mecanização da colheita da cana crua. Por fim, são apresentados os resultados e as conclusões.

ABORDAGEM TEÓRICA

O conceito de desenvolvimento sustentável é muito direcionado para as questões ambientais e do bem-estar da sociedade como é descrito pelo Relatório Brundland “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”. Sendo pouco considerado as questões socioeconômicas que fazem parte e são importantes para manter o equilíbrio e sustentação da atividade.

A inovação é inerente ao processo de mudança das empresas, por meio da modernização dos processos produtivos que visam aumentar sua competitividade e viabilizar o progresso tecnológico. O conceito de inovação será utilizado aqui como inovação de processo. E tem-se como referência o argumento defendido por Rogers e Shoemaker (1971) de que uma inovação pode resultar de uma nova ideia, uma nova prática ou também um novo material a ser utilizado em um determinado processo.

Para, Schumpeter (1988) a inovação no sistema econômico parte como força impulsionadora do capitalismo, introduzindo novas formas, técnicas e processos que resultam em novos bens, novas matérias-primas e mudanças nos sistemas de produção. Como hipótese orientadora tem-se que a princípio o progresso tecnológico aumenta a demanda por mão de

obra qualificada e diminui a demanda por aquelas não qualificadas, num balanço que nem sempre restabelece o equilíbrio anterior.

Conforme, Schultz (1973) para o processo de desenvolvimento econômico, o importante é equilibrar os investimentos em acervos de capital humano e não humano, para que haja uma melhor alocação de recursos. O autor salienta que, os investimentos em bens de capital, máquinas e equipamentos, entre outros, de nada adiantam se não houver também melhorias na capacitação humana.

O SETOR SUCROENERGÉTICO EM NÚMEROS: BRASIL E ESTADO DE SÃO PAULO

O Brasil responde por cerca de 50% das exportações de açúcar mundial e é o segundo maior produtor de álcool. Na safra 2011/12o Brasil produziu 36,8 milhões de toneladas de açúcar e 22,8 bilhões de litros de álcool. (MAPA, 2012).

A partir de 2003 o setor sucroalcooleiro vem passando por fortes transformações e a adequação à realidade colocada por

essa nova dinâmica de mercado é um imperativo que acirra ainda mais a competição interna. A entrada de novos grupos econômicos e a introdução de modernos sistemas de produção tem em vista a melhor gestão dos custos e as adequações técnicas e tecnológicas visando a uma maior sustentabilidade ambiental e econômica. (TORQUATO, *et al.*, 2009).

Área plantada com cana de açúcar

Numa perspectiva histórica, a área total com cana-de-açúcar no Brasil em 1955 era de cerca de 1,0 milhão de hectares, atingindo 1,5 milhão em 1962 (JUNQUEIRA, 1964). Essa quantidade não teve grandes variações nos dez anos seguintes. Após este período, na metade da década de 1970, houve uma grande expansão canavieira proporcionada pelo PROÁLCOOL – Programa Nacional do Álcool. Houve estabilização a partir da safra 1987/1988 em torno de 4,2 milhões de hectares no Brasil (MACEDO, 2005). Depois se verificou um crescimento de área de cana nos períodos de 1994/1995 a 1997/1998, advindos da exportação de açúcar.

De 1993 a 2003 a área de cana-de-açúcar em São Paulo cresceu cerca de 41,6% (IEA, 2012). No Paraná este crescimento foi de 13%, em Mato Grosso de 9% e nos demais Estados (Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Espírito Santo) de 15% (IBGE, 2012). Esse crescimento de área foi proporcionado principalmente pelo aumento da demanda por açúcar.

Especificamente para o Estado de São Paulo, dados do IEA – Instituto de Economia Agrícola e da CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral apontam que de 2005 a 2010 houve um crescimento expressivo da área com cana-de-açúcar, na ordem de 64,6%, e na produção (68,7%), esse aumento pode ser explicado pelo aumento da demanda interna motivada pelo desenvolvimento da tecnologia dos motores *flex-fuel* utilizada por parte da frota de veículos leves nacional e as perspectivas de aumento nas exportações de etanol. Outro fator foi a demasiada importância que se formou em torno do papel dos biocombustíveis, principalmente o etanol, que supostamente seriam demandados fortemente por conta de suas qualidades ambientais, também como uma solução energética e que contribuiria para mitigar os efeitos do aquecimento

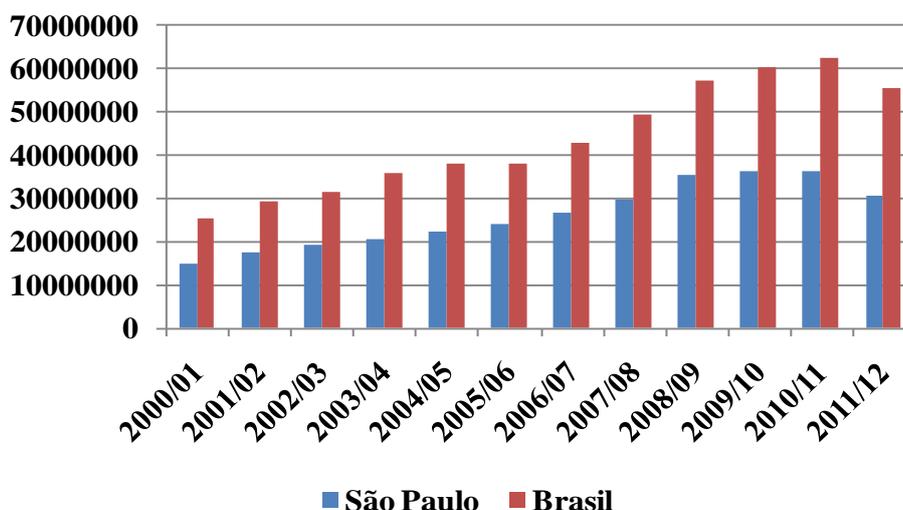


Figura 1 - Produção de cana-de-açúcar São Paulo e Brasil, safras 2000/01 a 2011/12
Fonte: MAPA, 2012

Tabela 1 - Valor da Produção Agropecuária, por Produto, Brasil, 2008

Ordem	Produto	Valor da Produção (R\$ 1.000)	%
1	Carne Bovina	46.204.133	19,3
2	Soja (em grãos)	38.728.693	16,1
3	Milho (em grãos)	20.746.306	8,7
4	Cana-de-açúcar	20.650.554	8,6
5	Leite	17.032.801	7,1
6	Carne de frango	14.731.860	6,1
7	Café (em grãos)	10.468.475	4,4
8	Carne Suína	8.020.792	3,3
9	Feijão (em grãos)	7.161.003	3
10	Arroz (em casca)	6.998.507	2,9

global e das mudanças climáticas. Na última safra, 2011/12, contudo, houve um considerável revés na produção de cana por conta da falta de planejamento do setor, redução nos investimentos por parte da indústria e produtores, problemas climáticos (secas e alteração no regime de chuvas) e, em alguns casos, devido à mudança do sistema de colheita manual para a colheita mecanizada (TORQUATO e RAMOS, 2011).

Volume de produção de cana

Em termos de volume produzido, no período de 2000 a 2010, verifica-se um crescimento de 145% no âmbito nacional, muito próximo do verificado na produção paulista que foi 146,1%. No entanto, conforme apontado acima nas duas últimas safras houve uma inversão na tendência de 2010/2011 para 2011/12 acarretando uma queda acentuada de 15,2% na produção do estado de São Paulo e de 10,7% na produção brasileira, pelos fatores já apontados (Figura 1).

Em 2011, de acordo com os dados do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a cana-de-açúcar ocupava uma área de 10,7 milhões de hectares no Brasil, sendo 5,8 milhões no estado de São Paulo o que representou 54,2% da área total com cana (IBGE, 2012). Com

relação à agroindústria, no cadastro do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em abril de 2012, no Brasil estavam cadastradas 413 usinas, sendo que, 297 são unidades mistas (produtoras de açúcar e álcool), 11 usinas produtoras de açúcar e 103 destilarias de álcool, do total cadastrada 183 estão localizadas em território paulista (MAPA, 2012). Esta quantidade de usinas vem se alterando ao longo dos anos devido a falência de unidades, compra por outras usinas, fusões, etc. Para se ter uma ideia em agosto de 2008 havia no Brasil 410 usinas cadastradas no MAPA, em agosto de 2010 esse número foi para 432 e no último dado de outubro de 2012 esse número caiu para 401 unidades produtoras, reflexo da crise que abateu o setor.

Geração de renda

Quanto à geração de renda bruta da agropecuária brasileira, estudo realizado por TSUNECHIRO *et al*, 2008, mostra que a cana-de-açúcar era o quarto produto no valor da produção brasileira. Especificamente sobre o VPA – Valor da Produção Agropecuária, valor da produção da cana-de-açúcar para o ano de 2011 no estado de São Paulo resultou em renda bruta estimada de cerca de R\$ 26,4 bilhões, configurando-se como a principal

atividade agropecuária e florestal (TSUNECHIRO *et al*. 2012).

Há ainda uma grande importância da atividade canavieira para geração de economias locais, devido à dinâmica da relação indústria e produtor de cana, sendo que em alguns municípios do estado de São Paulo a dependência da atividade sucroalcooleira é grande. Levantamento feito comparando o PIB e VPCana, a partir de dados do IBGE, aponta que 54 municípios paulista têm mais de 20% do seu PIB oriundo da atividade canavieira. Observe tabela 1.

Produtores de cana de açúcar¹

Na safra 2010/11 os fornecedores de cana-de-açúcar e parceiros agrícolas localizados na área de atuação da ORPLANA - Organização de Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil contribuíram com 22% da produção de cana da região Centro-sul do Brasil e 20% da produção brasileira de cana-de-açúcar. Estes fornecedores estão organizados em

¹ Atualmente no Estado de São Paulo a cana é proveniente de fornecedores independentes, de arrendamento de terras e de terras próprias das usinas processadoras de açúcar e álcool, com vários regimes de entrega da matéria-prima.

29 associações distribuídas regionalmente nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, (ORPLANA, 2012). Na região Centro-sul estima-se um contingente de 20.353 fornecedores de cana e parceiros agrícolas, sendo que 16.805 estão no Estado de São Paulo.

Também há outras categorias que produzem a cana-de-açúcar para a indústria que são: cana-de-açúcar oriunda da produção própria, ou seja, da própria usina; cana originada de parceiros arrendatários que são detentores da propriedade da terra e arrendam sua área para o plantio da cana, via contratos, e entregam essa cana para a usina parceira.

MATERIAL E MÉTODO

No presente estudo foi considerado como mudança tecnológica a alteração do sistema de produção da colheita da cana-de-açúcar, passando gradativamente da colheita manual com queima para a colheita mecanizada de cana crua, definindo assim, uma inovação no padrão tecnológico vigente.

A pesquisa apresenta um caráter exploratório, justificada de acordo com Vergara (2009), tendo em vista o pouco conhecimento acumulado e sistematizado e/ou quando o estudo contempla uma fase preliminar. A coleta de dados e informações foram por meio de planilhas preenchidas pelas usinas signatárias do Protocolo Agroambiental e também gerada, complementadas e averiguadas nas reuniões decorrentes de visitas do grupo executivo² do referido

² Os dados obtidos nas reuniões técnicas são sigilosos e não podem ser divulgados sem um tratamento adequado. Esse tratamento consiste em uma depuração e agregação dos dados com a anuência e supervisão do grupo executivo. Por isso justifica-se a forma utilizada.

Protocolo com a direção das usinas signatárias³. A coleta dos dados sociais foi feita de forma semi-estruturado, ou seja, com perguntas abertas possibilitando ser modificadas durante a entrevista.

O Protocolo Agroambiental Paulista, ainda em vigor, foi uma concertação conjunta entre o governo de São Paulo representado por suas SAA - Secretarias de Estado da Agricultura e Abastecimento e do SMA - Meio Ambiente, e o setor canavieiro, representados por suas entidades, a UNICA - União da Indústria da Cana-de-Açúcar e a ORPLANA - Organização de Plantadores de Cana da Região Centro-sul do Brasil, que tem como objetivo o fim da queima, a conservação do solo, preservação das matas ciliares e nascentes, diminuição do uso da água na indústria entre outras ações. Neste trabalho foi dado foco na questão do fim da queima da cana-de-açúcar para fins de colheita.

Funcionamento do protocolo Agroambiental

O Protocolo funciona da seguinte forma: foi feito um acordo entre as usinas e produtores de cana via suas representações, as quais se tornaram signatárias e se comprometem a cumprir as diretrizes técnicas acordadas. Dentro do acordo está previsto um grupo executivo formado por representantes das Secretarias envolvidas - SAA e SMA - e representantes do setor - ÚNICA e ORPLANA. Este grupo executivo é responsável para acompanhar e executar ações de trabalho, estabelecer critérios para avaliação global de metas, proporem ajustes e melhorias no Protocolo Agroambiental e definir critérios para expedição e renovação do

³ As planilhas do Protocolo Agroambiental podem ser obtidas no site: <http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolv/erde/>

Certificado de Conformidade. Também é previsto visitas técnicas as usinas e associações e produtores signatários para verificar o andamento e cumprimento das metas estabelecidas e propor as signatárias mudanças e correções em seus planos de trabalho.

A partir deste entendimento iniciou as visitas técnicas em março de 2009, desde então já foram visitadas 76 usinas e em torno de 5 associações⁴. Nestas visitas são verificadas as planilhas, que são preenchidas antecipadamente e enviadas para a SMA, pelos participantes do protocolo e posteriormente observado pelo grupo executivo se os números estão coerentes com o apresentado e em conformidade com a realidade no campo. Também nestas visitas são feitos alguns questionamentos aos responsáveis pela área agrícola e ambiental das usinas e/ou associações e também a produtores referentes a assuntos de interesse da pesquisa, dentre elas questões de emprego⁵.

A escolha das usinas participantes foi intencional, obedecendo aos seguintes critérios: usinas com mais de 50% de área colhida com máquina, que seja signatária e com representatividade - moagem acima de 1 milhão de toneladas de cana/safra na produção paulista. Esse critério é justificado para evitar desvios na segurança no uso do dado, eliminando-se, assim, os extremos.

Foram utilizadas as informações de 28 questionários com perguntas abertas com possibilidade de ajustes nas respostas quando da visita a essas usinas.

Os dados e informações específicos para calcular a exclusão

⁴ Relatórios de visitas computados pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo, não publicados.

⁵ Os dados foram extraídos de anotações das reuniões técnicas nas usinas e associações signatárias do Protocolo Agroambiental Paulista.

líquida de mão de obra para cultura da cana-de-açúcar foram obtidos através de uma tabulação especial das usinas selecionadas, referentes às safras 2009/10 e 2010/11.

A coleta de dados baseou-se ainda em informações disponibilizadas no banco de dados do IEA, do banco de dados do Protocolo Agroambiental, Ministério do Trabalho e Emprego - MTE e publicações científicas referentes ao tema objeto de estudo.

A área de abrangência foi o estado de São Paulo e o foco a colheita da cana, cuja representatividade se justifica pela localização de 55% da lavoura canavieira do país e onde estão instaladas 183 unidades de produção de álcool e açúcar (MAPA, 2012).

Como resultado buscou-se traçar um diagnóstico da exclusão líquida de trabalhadores por frente de colheita mecanizada, considerando que as externalidades positivas e negativas desta mudança de sistema de produção e o processo de requalificação/absorção desta mão de obra excluída serão alvos de estudos minuciosos posteriormente.

Análise dos impactos sociais da mecanização da colheita de cana

O trabalho na agricultura, especialmente no setor canavieiro, é parte de um processo em que cada um executa uma etapa de um conjunto de tarefas e procedimentos.

A mudança no mercado de trabalho na atividade canavieira está ligada, principalmente, à modernização nos sistemas de produção que, por um lado, tem reduzido o trabalho exaustivo, mas, por outro, aumenta a capacidade de produzir relativamente com menos pessoas envolvidas nas atividades de campo o que pode implicar em desemprego de parcela dos trabalhadores. Assim, a mecanização

da colheita da cana-de-açúcar, por exemplo, libera o trabalhador de uma atividade difícil, ocasionando, porém, uma diminuição relativa na ocupação do emprego da mão de obra pouco qualificada. Outro ponto importante a ser destacado encontra-se em Gonçalves (2012) e refere-se ao fato de o processo de mecanização da lavoura da cana-de-açúcar diminui o emprego temporário e aumenta o emprego formal.

Ainda de acordo com esse autor a mecanização das lavouras em São Paulo se acentua a partir de 1990. No caso da cana-de-açúcar, para o Estado de São Paulo, esse processo é acelerado a partir do *boom* ocorrido em 2005, quando se verificou um rápido crescimento da atividade canavieira.

“Na agropecuária paulista, dos anos 1990 em diante, ocorre a mecanização da colheita total no caso dos grãos, fibras e cana para indústria, com ordenha mecânica do leite e a mecanização parcial envolvendo condicionamento e transporte nas outras lavouras, em especial as perenes de cultivo adensado” (GONÇALVES, 2012 pg. 76).

Ou seja, com o crescimento da produção canavieira no estado de São Paulo e a crescente expansão da colheita mecanizada e modernização do setor, verifica-se que há um aumento da demanda por mão de obra qualificada para atender as novas necessidades do processo produtivo e gerencial. Esse aumento deve ser encarado como oportunidade de incentivar o investimento em treinamento e qualificação dos empregados que exerce a atividade e conseqüentemente, aumentar o nível de escolaridade e capacitação destes trabalhadores.

Análise da exclusão líquida de trabalhadores na colheita manual

A partir dos dados de produção, produtividade da colheita manual (homem/ton), produtividade da colhedora pode-se estimar a quantidade de trabalhadores na colheita da cana com sistema de produção misto, ou seja, colheita manual e colheita mecanizada na mesma área.

Para efeito do cálculo de exclusão líquida do emprego no corte da cana, foi considerado o seguinte: os dados são referente à safra 2010/11 obtidos a partir dos dados do Protocolo Agroambiental, o levantamento de quantidade colhida de cana homem/dia é oriundo do banco de dados do IEA (IEA, 2012). O cálculo para chegar à exclusão líquida leva em conta a exclusão bruta por colhedora de cana menos a readmissão de parte dos trabalhadores nas frentes de colheita mecânica.

Equação :

$$EB = \frac{\text{Prod.máq./ton.}}{\text{Prod.homem/ton}}$$

$$FC = 46$$

$$EL = EB - FC$$

Onde:

EB: Exclusão Bruta – tab 2. 115.437/1820,7 = 63,4

FC (Frete de Colheita) número médio de trabalhadores em uma frente colheita mecanizada. Calculado a partir das anotações das visitas técnicas do Protocolo Agroambiental Paulista. Portanto, como uma frente possui 4 colhedoras, então seria $46/4 = 11,5$
EL: Exclusão Líquida – $63,4 - 11,5 = 51,9$

Desta forma, foi estimada a exclusão líquida, utilizando os dados apresentados na tabela 2 e 3 com

Tabela 2 - Médias de cana colhida com colhedora por dia, toneladas na safra e por área em hectare e dias úteis de colheita, safra 2010/11

Ton/dia	dias safra	ton/safra	ha/safra
549,7	210	115.437	1390,80

Fonte: dados das visitas técnicas as usinas signatárias do Protocolo Agroambiental, 2008 a 2011

base nos parâmetros de que um trabalhador corta 8,67ton/dia em média para o estado de São Paulo, a produtividade média de uma colhedora é de 549,7ton/dia e para uma safra de 210 dias efetivos de safra. Isto resulta em que uma colhedora de cana-de-açúcar faz uma exclusão bruta de, em média, 63,4 homens.

Considerando o emprego de mão de obra que é absorvida em uma frente de colheita mecanizada⁶, que é estimada em 46 trabalhadores, resulta que a exclusão líquida de trabalhadores em detrimento do uso da máquina é estimada em torno de 52 trabalhadores/colhedora. Os dados consolidados do levantamento feito junto a 28 usinas signatárias do Protocolo Agroambiental, indica que em média na safra 2010/11 uma colhedora no estado de São Paulo colhe por dia 549,7 toneladas de cana, que em uma safra de 210 dias resulta em 115,4 mil toneladas de cana, em uma área de 1.390,8 hectares, utilizando uma produtividade média de 82ton/ha. A média de produtividade da colhedora é decorrente de alguns fatores como: declividade, variedade adequada para colheita com máquina, sistematização da área, prática do operador da colhedora, etc. (Tabela 2).

Considerando uma produção de cana em São Paulo na safra 2010/11 de 359,5 milhões de toneladas (UNICA, 2012a) e utilizando a média de toneladas de cana colhida por colhedora/safra

⁶ Para o estudo uma frente de colheita é formada por 4 colhedoras, 8 tratores ou caminhões com carretas, 1 caminhão bombeiro e 1 caminhão oficina, todos funcionando em três turnos de 8 horas.

Tabela 3 - Produtividade homem/dia na colheita manual da cana-de-açúcar, com emprego do fogo, em São Paulo, período de 2000 a 2011

Produto	Unidade	Ano	Medio
Colheita manual	t/dia	2000	7,69
Colheita manual	t/dia	2001	7,74
Colheita manual	t/dia	2002	7,66
Colheita manual	t/dia	2003	7,86
Colheita manual	t/dia	2004	7,94
Colheita manual	t/dia	2005	8,11
Colheita manual	t/dia	2006	8,48
Colheita manual	t/dia	2007	8,74
Colheita manual	t/dia	2008	8,61
Colheita manual	t/dia	2009	8,79
Colheita manual	t/dia	2010	8,67
Colheita manual	t/dia	2011	8,93

Fonte: Banco de dados – IEA, 2012

seriam necessárias 3.114 colhedoras para colher toda a cana-de-açúcar do estado de São Paulo.

Percebe-se na Tabela 3, que a produtividade do cortador de cana no período de 2000 a 2011, cresceu 16,12%, já para o período que compreende o Protocolo Agroambiental (2007 a 2011) esse aumento foi de 2,17%, isto é, manteve-se sem grandes alterações. Esse aumento de produtividade pode ser atribuído ao processo de seleção dos trabalhadores mais aptos, ou seja, mais produtivos, como também motivados pela introdução das colhedoras no campo.

Como indicativo é possível calcular o número de trabalhadores necessários para fazer toda a colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo na safra 2010/11. Para isso consideramos uma produtividade de 8,67 ton./dia/homem e 160 dias efetivos

de colheita. Desta forma seriam necessários 260.757 trabalhadores para fazer a colheita manual da cana-de-açúcar.

Nesta mesma safra a área colhida com máquina foi de 2,62 milhões de hectares, ou 55,5%, o restante 44,5% foi colhido manualmente. Utilizando desse parâmetro estima-se que foram necessários 116.037 trabalhadores na colheita manual da cana. Portanto resultando em uma diferença de 144 720 trabalhadores que foram retirados da colheita da cana-de-açúcar.

A tecnologia das colhedoras empregada no setor ainda não permite a total mecanização da colheita. Portanto, parte deste contingente que ainda ficou excluído do processo poderá ser absorvido nos reparos em áreas impróprias para colheita mecanizada, na brigada de incêndio agrícola e para plantio de mudas e manutenção de

matas ciliares e Áreas de Preservação Permanente - APP's, principalmente naquelas unidades que são signatárias ao Protocolo Agroambiental. Segundo levantamento da Secretaria Estadual de Meio Ambiente de São Paulo – SMA existem cerca de 280 mil hectares (APP's, de matas ciliares) declarados em áreas produtivas com cana-de-açúcar no estado de São Paulo, e cerca de 3% deste total estão em recuperação. Este número foi estimado, a partir de dados das visitas técnicas do Protocolo Agroambiental Paulista, que seriam necessários 1,5 homem/hectare na recuperação destas áreas⁷. Saliento que estes não estão computados no cálculo da exclusão líquida devido à dificuldade em quantificar quantos destes trabalhadores são fixos.

Salienta-se que há necessidade constante de programas de requalificação que sejam promovidos pelo setor privado e público. Neste sentido já alguns programas em andamento como é o caso do projeto RenovAção, que consiste em uma parceria da UNICA com a FERAESP - Federação dos Empregados Rurais Assalariados do Estado de São Paulo, a Fundação Solidaridad e as empresas da cadeia produtiva, com apoio do BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento, que visa treinar os trabalhadores excluídos pela a mecanização para assumir postos no próprio setor ou em outras atividades econômicas. (UNICA, 2012). O projeto RenovAção de 2010 a 2012 treinou e/ou requalificou 5.700 trabalhadores rurais. As usinas requalificaram mais outros 16 mil trabalhadores em funções como: operador de colhedora, mecânico, eletricista,

⁷ Adotando, com base nos relatórios das visitas técnicas, o total de 280 mil hectares de áreas de APP's e Mata ciliares declaradas pelas signatárias do Protocolo Agroambiental Paulista, e que deste total 3% estão em recuperação temos os seguintes números: 8400 há em recuperação que demandam 12.600 trabalhadores.

motorista, soldador, etc. Há um alto índice de aproveitamento destes trabalhadores requalificados pelo próprio setor e por outros segmentos da economia esse índice chega a 78%. Estima-se que em 2012 no Estado de São Paulo o número de trabalhadores envolvidos no cultivo e colheita da cana-de-açúcar foi de 110 mil, ou seja, cerca de 20% do contingente nacional. Outro dado importante é que estes trabalhadores requalificados tiveram aumento de cerca de 60% em seus rendimentos (UNICA, 2013).

Conforme apresentado, esse processo de mecanização da colheita da cana-de-açúcar determina a demanda por mão de obra, uma vez que, a erradicação da queima altera a relação do número de postos de trabalho da colheita manual. Ainda não haverá uma eliminação total de trabalhadores no corte manual da cana, pelo menos até a adequação tecnológica das colhedoras para que colham em áreas com maior declive. Restará, portanto, uma pequena parcela de trabalhadores para fazer a colheita manual da cana crua em áreas em que a máquina não consegue operar nas rebarbas deixadas⁸ na colheita mecânica.

A criação de empregos no setor canavieiro, devido à expansão prevista para a atividade nos próximos anos poderá não ser suficiente para restabelecer o equilíbrio e, conseqüentemente, deverá haver uma redução líquida do número de empregos na área agrícola do setor. A grande mudança e/ou salto da sustentabilidade social é a promoção da alfabetização, qualificação e treinamento dessa mão de obra excluída, para que ela seja absorvida em outras funções, seja na agricultura ou em outros

⁸ Essa operação nas rebarbas deixadas pelas colhedoras deve ser eliminada ou fortemente diminuída com a reforma do canavial e adequação das curvas de nível. O número de trabalhadores é maior ou menor de acordo com o grau de sistematização da área para colheita mecanizada.

segmentos da economia, como em alguns casos já vem ocorrendo. Ações institucionais sejam elas do governo federal, estadual, via FAT – Fundo de Amparo do Trabalhador, por associações e sindicatos de trabalhadores ou mesmo pelas Fundações ligadas a empresas, estão qualificando e melhorando a escolaridade deste trabalhador de baixa escolaridade, que tem dificuldade de ser absorvido pelo próprio setor ou outro segmento da economia. Alguns setores que são alto demandantes de mão de obra com baixa escolaridade (construção civil) absorveram parte deste contingente excluído do processo. Conforme dados apurados nas visitas técnicas em 76 usinas signatárias do protocolo Agroambiental Paulista cerca de 75% informaram que havia dificuldade em contratar mão de obra para operações de cultivo e colheita como também para operar as colhedoras.

Expansão da colheita de cana crua

A seguir são apresentadas as evoluções da área plantada com cana-de-açúcar, área colhida, cana colhida crua e cana colhida com queima no estado de São Paulo. Os dados são a partir da safra 2006/07, quando da assinatura do Protocolo Agroambiental junto a usinas representadas pela ÚNICA – União da Indústria de cana-de-açúcar. (Figura 2).

É possível perceber que houve um grande avanço na colheita da cana crua, predominantemente com uso de colhedoras, que na safra 2006/07 ocorria em uma área de 1,11 milhões de hectares, ou seja, 34,2% da área colhida, e avançou para 3,12 milhões de hectares em 2011/12, o que corresponde a 65,2% do total da área colhida em São Paulo.

A expectativa quando da assinatura do Protocolo Agroambiental (2007) era que o

Figura 2 - Área plantada, área total colhida, colhida com queima e colhida crua de cana-de-açúcar, 2006/07 a 2011/12, estado de São Paulo (em milhões de hectares)

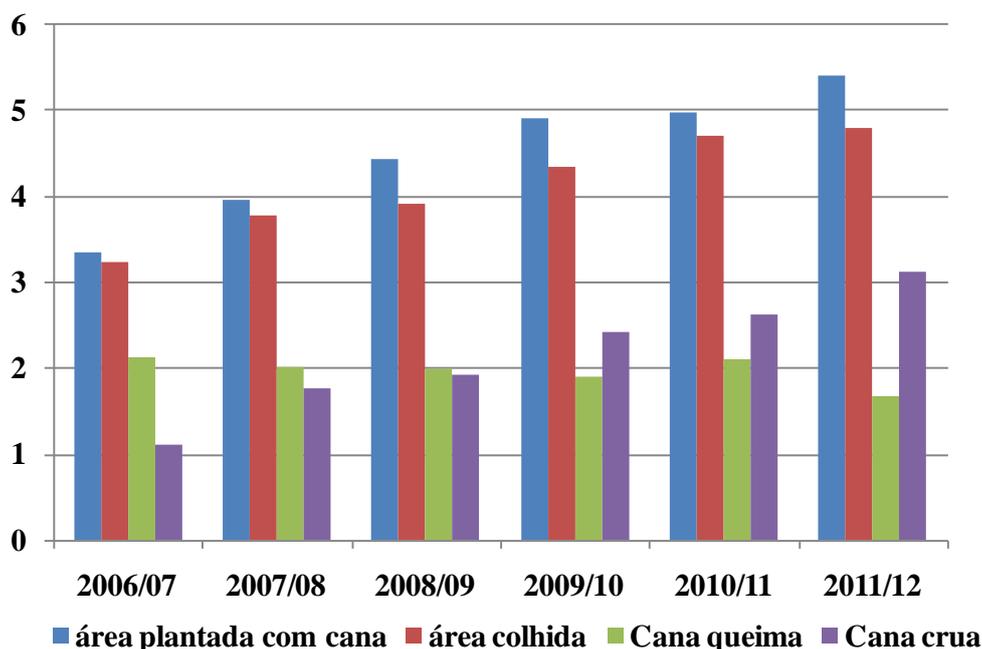


Tabela 4 - Evolução do número de trabalhadores rurais na atividade canavieira, São Paulo, janeiro a dezembro de 2007 a 2011

Mês	2007	2008	2009	2010	2011
Janeiro	121.183	107.202	95.233	95.116	90.325
Fevereiro	147.704	133.831	105.931	110.278	104.387
Março	165.461	152.807	143.142	142.949	120.155
Abril	194.655	195.870	178.593	162.205	143.413
Mai	213.753	206.723	185.718	166.408	152.967
Junho	212.966	205.495	182.735	165.807	153.333
Julho	207.111	200.672	177.824	163.272	151.247
Agosto	205.150	195.828	174.575	160.055	147.382
Setembro	203.919	192.324	173.115	156.094	143.567
outubro	198.658	189.571	171.678	148.630	126.773
Novembro	175.630	179.094	168.439	126.082	100.331
Dezembro	92.133	92.144	93.002	84.823	84.576
Média Ano	178.194	170.963	154.165	140.143	126.538
Taxa de Cresc. (%)		-4,10	-9,8	-9,1	-9,7

Fonte: Baccharin & Palomo, a partir de dados do MTE (2011)

crescimento da mecanização da colheita da cana-de-açúcar iria fazer uma grande exclusão de trabalhadores “não qualificados” e algumas notícias da época davam conta que o problema social produzido pela mudança no sistema de colheita da cana seria muito

grave. Passado o tempo e avançado a mecanização na colheita da cana, os primeiros números e resultados mostram um cenário diferente do previsto anteriormente, conforme será apresentado a seguir.

Na tabela 4⁹, é possível observar que houve uma redução no

⁹ Agrupamento de ocupações conforme descrito no boletim ocupação formal sucroalcooleira em São Paulo, Jaboticabal (SP), Número 28, Novembro de 2011. Que considera na tabela 3 o

número de postos de trabalho rural na cultura da cana-de-açúcar. Em 2007o número de trabalhadores rurais era de 178.194, já em 2011 esse número reduziu para 126.538, portanto uma queda de cerca de 29% na quantidade de trabalhadores na atividade agrícola da cana. No período analisado houve uma dispensa de 51.656 trabalhadores.

colhedora, mecânico, bombeiros, eletricitas, etc. (Tabela 5).

A tabela 6, traz o somatório das quantidades de trabalhadores apresentados nas tabelas 4 e 5, o que apresenta uma eliminação líquida de postos de trabalhos no período de 17.202 trabalhadores, o que corresponde a uma queda 5,75%.Embora esse balanço líquido

dinâmica e nem determina quem são essas pessoas e muito menos se são as mesmas que foram excluídas do processo de mecanização do setor. Algumas explicações desta dinâmica de movimentação de trabalhadores devido ao processo de mudança de sistema de produção no setor será alvo de um próximo trabalho.

Tabela 5 - Evolução número das demais pessoas ocupadas na atividade canavieira, São Paulo, janeiro a dezembro de 2007 a 2011.

Mês	2007	2008	2009	2010	2011
Janeiro	115.461	126.044	135.323	146.278	151.777
Fevereiro	118.234	129.985	135.187	150.633	154.635
Março	122.448	135.958	146.420	165.582	160.473
Abril	139.716	153.707	161.116	176.342	177.696
Mai	147.618	158.573	165.522	179.300	1.844.706
Junho	148.906	160.664	165.918	180.679	186.900
Julho	149.282	161.003	166.066	181.256	187.300
Agosto	149.512	160.785	165.823	181.561	187.122
Setembro	149.528	160.551	165.528	181.050	186.644
outubro	148.585	159.484	165.086	177.754	175.690
Novembro	140.623	155.167	164.135	167.120	160.558
Dezembro	123.602	137.168	148.494	155.679	153.467
Média Ano	137.793	149.924	157.168	170.270	172.247
Taxa de Cresc. (%)		8,8	4,8	8,3	1,2

Fonte: Baccarin & Palomo, a partir de dados do MTE (2011)

Por outro lado, verifica-se que houve um aumento da quantidade de postos de trabalho em 34.454 dos trabalhadores qualificados, ou seja, um acréscimo de 25%. Esse aumento pode ser atribuído ao avanço da mecanização da colheita da cana que exige funções de tratorista, operador de

tenha sido muito menos impactante do que o previsto, não é possível determinar se os trabalhadores excluídos (tabela 4), ou seja, aqueles com baixa escolaridade e, portanto em serviço de baixa qualificação (cortadores) tenham sido requalificados e absorvidos (tabela 5) nas ocupações com maior qualificação. Ou seja, a análise do balanço social quanto a variável emprego não permite identificar com clareza o circuito migratório da mão de obra liberada com a mecanização, embora o círculo virtuoso da economia brasileira, notadamente, na construção civil possa ter absorvido parcela expressiva desse contingente. As tabelas 4, 5 e 6 são indicativos da movimentação existente na atividade canavieira, mas não responde como ocorre essa

Com relação à produtividade do trabalho, e possível observar que houve uma queda do número de trabalhadores por mil hectares e que essa relação vem diminuindo a cada ano, decorrente do avanço da mecanização da colheita da cana. Em 2007 era de 47,01 trabalhadores por mil hectares e passou para 26,38 em 2011. (Tabela 7)

Vale ressaltar que as mudanças ocorridas na composição setorial da produção e os progressos tecnológicos influenciaram a relação entre a produtividade e a qualidade da mão de obra, visto que o aumento da produtividade por trabalhador foi acompanhado de aumento na quantidade de toneladas de cana-de-açúcar necessárias para gerar um emprego. Assim, em 2007 eram necessárias

resultado da soma das seguintes Famílias Ocupacionais (conforme Código Brasileiro de Ocupações): Trabalhadores na Exploração Agropecuários em Geral, Trabalhadores de Apoio à Agricultura e Trabalhadores Agrícolas na Cultura de Gramíneas. Na tabela 4, incluídas as pessoas ocupadas em atividades agrícolas com maior qualificação profissional, ocupadas nas atividades industriais (usinas e destilarias), em setores administrativos e de apoio e em atividades não sucroalcooleiras

Tabela 6 - Evolução do total (tabelas 4 e 5) de pessoas ocupadas na atividade canavieira, São Paulo, de janeiro a dezembro de 2007 a 2011.

Mês	2007	2008	2009	2010	2011
Janeiro	236.644	233.246	230.556	241.394	242.102
Fevereiro	265.938	263.816	241.118	260.911	259.022
Março	287.909	288.765	289.562	308.531	280.628
Abril	334.371	349.577	339.709	338.547	321.109
Maiο	361.371	365.296	351.240	345.708	337.673
Junho	361.872	366.159	348.653	346.786	340.233
Julho	356.393	361.675	343.890	344.528	338.547
Agosto	354.662	356.613	340.398	341.616	334.504
Setembro	353.447	352.875	338.643	337.144	330.211
outubro	347.243	349.055	336.764	326.384	302.463
Novembro	316.253	334.261	332.574	293.202	260.889
Dezembro	215.735	229.312	241.796	240.502	238.043
Média Ano	315.987	320.888	311.217	310.413	298.785
Taxa de Cresc. (%)		1,6	-3,1	-0,3	-3,7

Fonte: Baccarin & Palomo, a partir de dados do MTE (2011)

Tabela 7 - Indicador de trabalhadores rurais por hectare, período 2007 a 2011

Ano	2007	2008	2009	2010	2011
Área em há	3.790,44	3.921,71	4.076,93	4.728,14	4.796,14
Nº trab. Tab.4	178.194	170.963	154.165	140.143	126.538
Trab. Tab.4/mil há	47,01	43,59	37,81	29,64	26,38

Fonte: Elaborado a partir de dados da tabela 4 e dados de área do projeto Canasat/INPE, 2001

1667,48 toneladas de cana para gerar um emprego, essa relação alterou-se em 2011 que passou para 2431,32 toneladas de cana para gerar um emprego (Tabela 8).

Apesar de a produtividade ter aumentado e o número de trabalhadores por hectare ter diminuído não se observa uma queda acentuada do número absoluto de trabalhadores na colheita da cana-de-açúcar, fato esse devido em grande parte ao aumento da área plantada com cana-de-açúcar.

Outro fator que deve ser considerado é que o perfil da mão de obra empregada no setor também tende a sofrer alteração, com maior procura por indivíduos com maior escolaridade e melhor preparo para atividades que empreguem o uso de máquinas (MORAES, 2007).

Além das mudanças na estrutura e composição do emprego no setor sucroalcooleiro, também haverá uma reorganização no número e tamanho das áreas dos fornecedores de cana. É possível que parte dos fornecedores de cana seja alijada do sistema produtivo sucroalcooleiro, frente à incapacidade financeira e técnica de promoverem com eficiência a mudança do sistema de colheita manual queimada para a colheita mecanizada crua. No Estado de São Paulo 25,0% da cana cultivada resulta de fornecedores.

Portanto, deverá haver uma alteração na importância dos fornecedores independentes que tiverem seus cultivos em áreas com declive impeditivo para a colheita mecanizada, ou estiverem fora da faixa de produção eficiente devido a exigências de escala.

Balsadi *et al* (2002) ressalta que a parcela de produtores mais modernizada, que apesar de não ser a majoritária em área e produção, tem participação majoritária no total da mão de obra empregada e tem renda suficiente e/ou acesso ao crédito para a aquisição das máquinas e implementos de última geração e, portanto, gera efeito de forte redução das ocupações agrícolas. Também há a possibilidade de as propriedades menores recorrerem à terceirização dos serviços de máquinas para as operações de colheita assim como o fato de que a expansão da cana em novas áreas está sendo feita com elevados índices de mecanização em praticamente todas as regiões produtoras.

Destaca-se que enquanto o percentual médio de cana colhida crua no estado de São Paulo na safra

Tabela 8 - Indicador de trabalhadores rurais por tonelada de cana, período 2007 a 2011

Ano	2007	2008	2009	2010	2011
Toneladas de cana	297.135.707	352.277.735	362.644.755	361.723.269	307.654.191
Nº trab. Tab.4	178,194	170.963	154,165	140.143	126.538
Ton./trab. Tab.4	1667,48	2060,55	2352,32	2581,1	2431,32

Fonte: Elaborado a partir de dados da tabela 3 e dados de produção da CONAB, 2011

2011/12 foi de 65,2%, considerando-se somente as usinas esse percentual foi de 81,3% e para os fornecedores apenas de 24,2%. Vale ressaltar, novamente, que a grande dificuldade dos fornecedores é a grande parcela de pequenos fornecedores de cana, principalmente em São Paulo e nas regiões de Piracicaba e Ribeirão Preto, que dificulta e muito a sistematização da área para colheita mecanizada e o tamanho da produção eficiente para justificar uma frente de mecanização. Nestas regiões de Piracicaba e Ribeirão existem 4.214 e 5.553 fornecedores respectivamente.

Outra característica dos fornecedores e segundo a ORPLANA – Organização dos Produtores de cana do Centro – sul, 43,1% estão no estrato menor de mil toneladas de cana entregue e 40,6% estão no estrato de 1001 a 6000 ton. de cana entregue. Esse é um gargalo importante que dificulta o avanço da mecanização da colheita de cana em área de fornecedores e, conseqüentemente, a permanência no processo produtivo.

CONCLUSÕES

O conceito de desenvolvimento sustentável, independente da escala espacial considerada, implica no cumprimento conjunto de quatro premissas: “ecologicamente correto”, “economicamente viável”, “socialmente justo” e “culturalmente aceito”. Contudo, nos debates sobre sua aplicabilidade, a ênfase foi colocada, principalmente, sobre a

contraposição entre o econômico e o ambiental, muito provavelmente, por conta da origem e evolução desse conceito e do grau de organização dos agentes envolvidos na defesa desses interesses.

Sobre o “socialmente justo” as grandes lacunas que permanecem podem, ainda, ser explicadas pela falta de um marco orientador consolidado para sua apreensão e pela importância relativa de suas implicações sobre os resultados da esfera econômica que, certamente, caracteriza-se como principal agente propulsor à adoção de práticas sustentáveis.

Para esse importante componente da sustentabilidade considera-se que, fundamentalmente, há que se construir um projeto social para a condução do processo de tal forma que a lógica do lucro não faça da agenda sustentável uma fonte adicional de desequilíbrios. Diversos aspectos da sustentabilidade social devem ser discutidos e analisados em decorrência de mudanças tecnológicas na organização e nos processos produtivos, sendo um dos mais relevantes a questão do emprego.

Do ponto de vista da economia canavieira e sobre essa variável, objeto do presente estudo, para fazer da cana um produto plenamente identificado à sustentabilidade, deve-se ter como um dos referenciais de que nada mais é *insustentável* do que a colheita manual deste produto (VEIGA, 2010). De outro lado, e paradoxalmente, a substituição da colheita manual de cana queimada pela mecanizada de cana crua, conforme mostrou o

desenvolvimento desse trabalho, ainda gera a liberação de certo contingente de mão de obra. O que até pelas exigências da operação manual, quanto à força física e juventude, para assegurar rendimento mínimo economicamente viável, trata-se de trabalhador especialista no corte que se desloca, ao longo do ano, do nordeste para o centro-sul, tendo em vista a dependência dessa atividade para obtenção de salário.

A análise do balanço entre exclusão e inserção de mão de obra nesse mercado mostrou que o número de trabalhadores ligados à colheita manual da cana teve uma queda, em parte compensada pelas admissões ocorridas de novas categorias de trabalhadores no setor e em outros segmentos da economia, o que contrariou as expectativas pessimistas quanto à quantidade de emprego gerada pelo segmento sucroenergético, principalmente, quando do início da vigência do Protocolo Agroambiental, em 2007. Por outro lado, embora tenham sido iniciados programas de requalificação de mão de obra e tenha havido crescimento da oferta de emprego para trabalhadores menos qualificados em outros setores da economia brasileira, nada assegura que o trabalhador dispensado pela inovação no processo produtivo tenha sido absorvido nas novas funções que foram criadas com a mecanização e/ou em outros segmentos econômicos. Isto é, se do ponto de vista da quantidade de emprego não houve grande influência até o presente momento, sobre o de seu impacto na vida dos trabalhadores dispensados ainda

permanece uma lacuna no conhecimento.

Vale salientar que o crescimento da área e produção do setor sucroenergético do início do Protocolo Agroambiental Paulista safra 2006/07 até 2011/12 foi de 65,5% para a área e 110% na produção, isso para o Estado de São Paulo. Portanto, colaborou para o aumento da demanda por trabalhadores e assim mitigando em parte a exclusão destes pelo processo de mecanização da colheita.

Finalmente, há que se considerarem os reflexos que podem ocorrer nesse mercado de trabalho, devidos às dificuldades em assegurar a permanência de pequenos fornecedores independentes, conforme motivos apontados anteriormente. O fato de o percentual de mecanização nesse segmento estar aquém do esperado, se considerados os prazos do Protocolo Agroambiental, pode estar atuando como um amortecedor sobre o desempenho dos números favoráveis ao balanço do emprego constatado no presente estudo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, D.A.; RUDORFF, B.F.T.; SILVA W.F.; ADAMI, M.; MAELLO, M.P. Remote Sensing Images in Support of Environmental Protocol: Monitoring the Sugarcane Harvest in São Paulo State, Brazil. *Remote Sens.* 2011, 3, 2682-2703. doi:10.3390/rs3122682 Acesso: www.mdpi.com/2072-4292/3/12/2682/

BACCARIN, J. G.; BARA, J. G. Boletim Ocupação Formal Sucoalcooleira em São Paulo. Número 7, anexo, outubro de 2009. Disponível em www.fcav.unesp.br/baccarin.

BACCARIN, J. G.; PALOMO, J. P. da C. Boletim Ocupação Formal Sucoalcooleira em São Paulo. Jaboticabal (SP), Número 28,

Novembro de 2011. Disponível em www.fcav.unesp.br/baccarin
BACCARIN, J.G. ; GEBARA, J. J. ; BARA, J. G. Trabalhadores rurais nas empresas sucoalcooleiras do estado de São Paulo: evolução recente. Cad. CERU, São Paulo, v. 22, n. 1, jun. 2011. Disponível em <http://www.revistasusp.sibi.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-45192011000100006&lng=pt&nrm=iso>. acesso em 25 jan. 2013.

BALSADI, O. V.; BORIN, M. R.; SILVA, J. G.; BELIK, W. Transformações Tecnológicas e a Força de Trabalho na Agricultura Brasileira. *Agricultura em São Paulo (Revista de Economia Agrícola)*. SP, 49 (1): 23-40, 2002.

CANASAT – Monitoramento da cana-de-açúcar via imagens de satélite. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/> Acesso em abril de 2012.

DUPAS, G. Economia global e exclusão social: pobreza, emprego, Estado e o futuro do capitalismo. São Paulo: Paz e Terra, 1999.

GONÇALVES, J.S. Transformações Estruturais da Agropecuária Paulista e Mercado de Trabalho no Período 1948-2010: mecanização de processos e os impactos na produtividade, ocupação e salários rurais. *Informações Econômicas*, SP, v. 42, n. 1, jan./fev. 2012.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Anuários estatísticos. Vários anos. INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA - IEA. Banco de dados IEA. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/>>. Acesso em: março. 2012.

JUNQUEIRA, A.A.B; DANTAS, B. A cana-de-açúcar no Brasil, in: Cultura e adubação da cana-de-açúcar. Ed. Instituto Brasil. De Potassa, 1964

MACEDO, I.C. (org). In PAES, D. Luiz, A.A Energia da Cana-de-açúcar –

Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis&Vertecchia: ÚNICA- União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo. Cap. 6, pag. 125 a 133, 2005

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Usinas e destilarias Cadastradas. Disponível em: www.agricultura.gov.br. Acesso: dezembro de 2012.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE). Relação Anual de Informações Sociais (RAIS). Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: março de 2012

MORAES, M.A.F.D. de. O mercado de trabalho da agroindústria canavieira: desafios e oportunidades. *Economia Aplicada*, São Paulo, v. 11, n. 4, p. 605-619, out./dez. 2007

Organização dos Produtores de cana do Centro - ORPLANA. Perfil dos fornecedores. Disponível em www.orplana.com.br. Acesso: abril de 2012.

ROGERS, E.; SHOEMAKER, F. F. Communication of innovations: a cross cultural approach. New York: Free Press, 1971.

SALERNO, M.S. Automação e Luta dos Trabalhadores. São Paulo em Perspectivas. Julho/setembro, 1988.

São Paulo. (Estado). Lei n. 11.241, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. *Diário Oficial do Estado*, São Paulo, 20 set. 2002. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/legislacao/norma.do?id=217>>. Acesso em: abril. 2012.

SHUMPETER, J. A. Teoria do Desenvolvimento Econômico: uma

investigação sobre lucro, capital, crédito, juro e ciclo econômico. Duncker&Humblot, Berlim, 1964. Tradução de Maria Silva Possas. 3ª ed. – São Paulo: Nova Cultural, 1988. (os economistas).

SCHULTZ, T.W. O capital humano: investimentos em educação e pesquisa. Tradução de Marco Aurélio de Moura Matos. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1973.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE. Projeto Etanol Verde: fechamento de safra 2011/2012. Disponível em: www.ambiente.sp.gov.br/etanolver de acesso em: 25 de abril de 2012

TORQUATO, S.A.; MARTINS, R.; RAMOS, de F. Cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: eficiência econômica das regionais novas e tradicionais de produção. *Informações Econômicas, SP*, v.39, n. 5, maio de 2009.

TORQUATO, S.A ; RAMOS R.C. O Setor Sucroenergético: uma visão do futuro. *Revista Análise e Indicadores do Agronegócio*. V6. n.12, Dezembro/2011. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12262>

TORQUATO, S.A ; RAMOS R.C. Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro Paulista: ações visando à preservação ambiental. *Revista Análise e Indicadores do Agronegócio*. V.7. n.06, Junho/2012. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12390> Acesso em: dezembro de 2012

TSUNECHIRO, A. ; COELHO, J. P.; CASER, V. D.; BUENO, C. R. F.; PINATTI, E.; CASTANHO, E. P.; BINI, L. de C. D.; Valor da Produção Agropecuária e Florestal do Estado de São Paulo em 2011. *Revista Análise e Indicadores do Agronegócio*, v. 7, n. 4, abril 2012. Disponível em: www.iea.sp.gov.br Acesso: maio de 2012

TSUNECHIRO, A.; COELHO, P. J.; MIURA, M. Valor da Produção Agropecuária do Brasil, por Unidade da Federação, em 2008. *Revista Informações Econômicas, SP*, v.40, n.3, março de. 2010.

União da Indústria da Cana-de-Açúcar - UNICA. Projeto renovação. Disponível em: <http://www.unica.com.br/projeto-renovacao> Acesso em dezembro de 2012

União da Indústria da Cana-de-Açúcar - UNICA. Projeto renovação. Disponível em: <http://www.unica.com.br/noticia/1863142892036376298/projeto-renovacao-fecha-2012-com-mais-de-5-por-cento2C7-mil-trabalhadores-rurais-requalificados-em-sao-paulo/> Acesso Junho de 2013.

VEIGA, José, Eduardo, R.; A Insustentabilidade do Corte Manual da Cana-de-açúcar: algumas considerações. Texto para Discussão. TD-IEA.n.1 8/2010. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpiea/td/td-18-2010.pdf>. Acesso em: maio de 2012

VEIGA FILHO, A.A.; SANTOS, Z.A.P. de S.; VEIGA, J.E.R.; OTANI, M.N.; YOSHII, R.J. Análise da Mecanização do Corte da Cana-de-Açúcar no Estado de São Paulo *Informações Econômicas, São Paulo*, v. 24, n. 10, p. 43-59, out. 1994.

VERGARA, S.C. *Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração*. 10ª edição Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

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

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
1º Grupo	
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	$IAFI = Sic / S_{UTA}$
2º Grupo	
IVCH - Índice de Vulnerabilidade à contaminação dos mananciais hídricos	$IVCH = S_{VP} / S_{UTA}$
3º Grupo	
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.

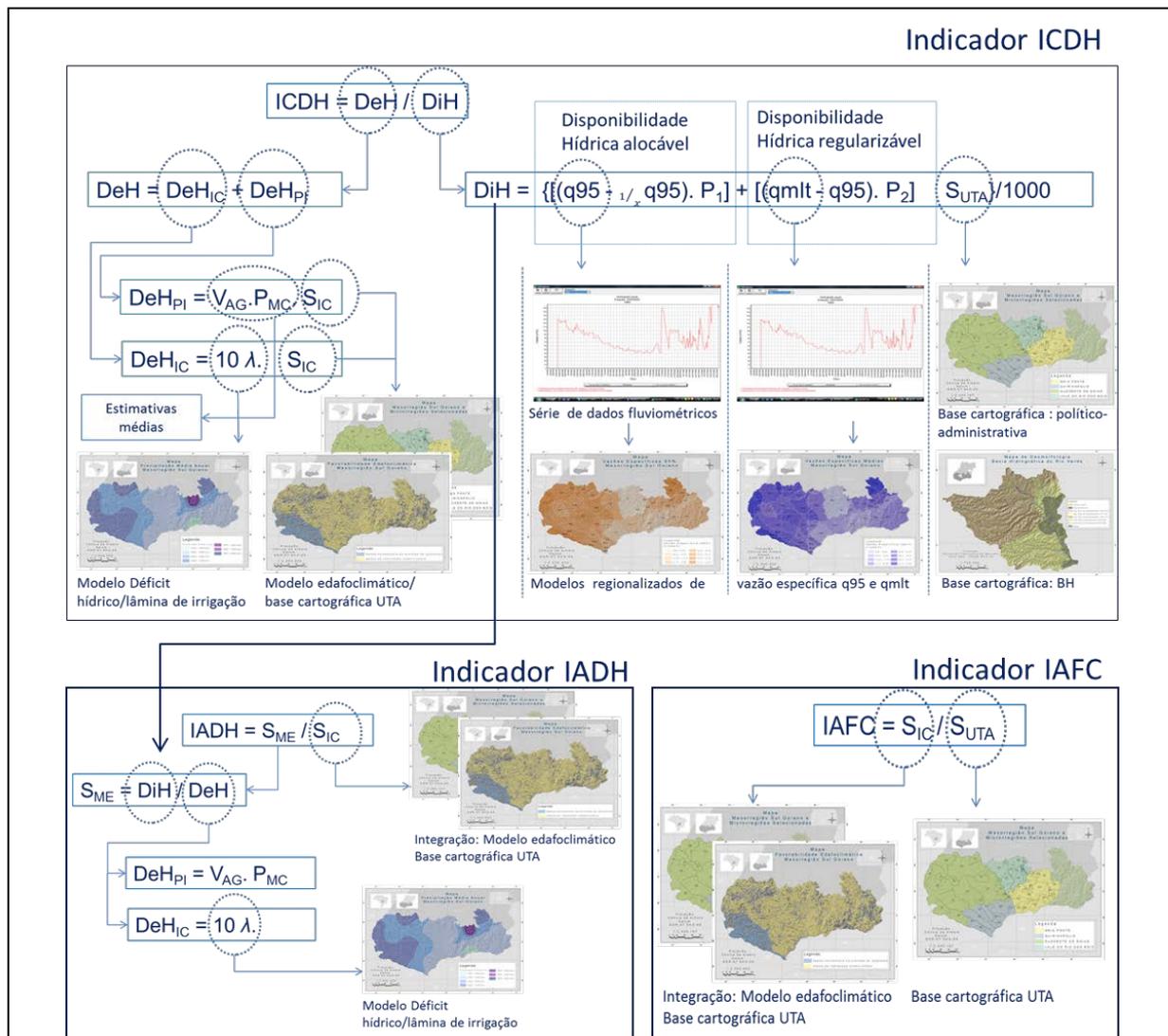


Figura 1 - Fluxograma da extração de dados e cálculo dos indicadores ICDH; IADH e IAFC.

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) $\frac{1}{x} q95$ = 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 (ICDHs, 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 (IADHs, 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

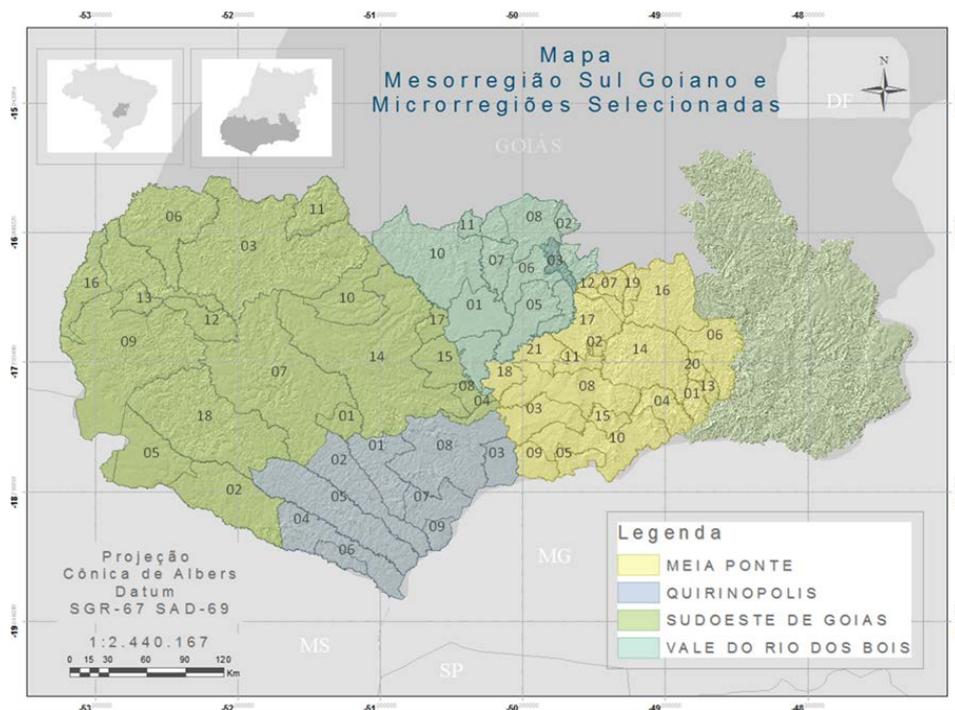


Figura 2 - Mapa da localização geográfica da Mesorregião Sul Goiano e microrregiões: Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois, Quirinópolis e Meia Ponte. Fonte: Ferraz (2012)

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
Totais	1.007.750,01	5.624.845,03	6.632.595,04	10.695.379,30	0,62	0,09	0,53

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 canavieira por sistema de produção e microrregião

MICRORREGIÕES	VOLUMES HÍDRICOS (m ³)			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 Canavieira em Sistema de Irrigação; (iii) DEHs - Demanda Hídrica Potencial da Atividade Canavieira em Sistema de Sequeiro. Indicadores: (i) ICDHs - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira em sistema de Sequeiro; (ii) ICDHi - Índice de Comprometimento da Disponibilidade Hídrica para a Atividade Canavieira 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 canavieira

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 canavieira. 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 canavieira, 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 m³ de água) e o menor percentual de comprometimento (17%) para o atendimento da demanda potencial da cultura canavieira 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 canavieira em sistema de sequeiro.

Com um comprometimento na ordem de 2% e 24% da disponibilidade total de 4,2 bilhões de m³ de água para atender as demandas potenciais da produção canavieira 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

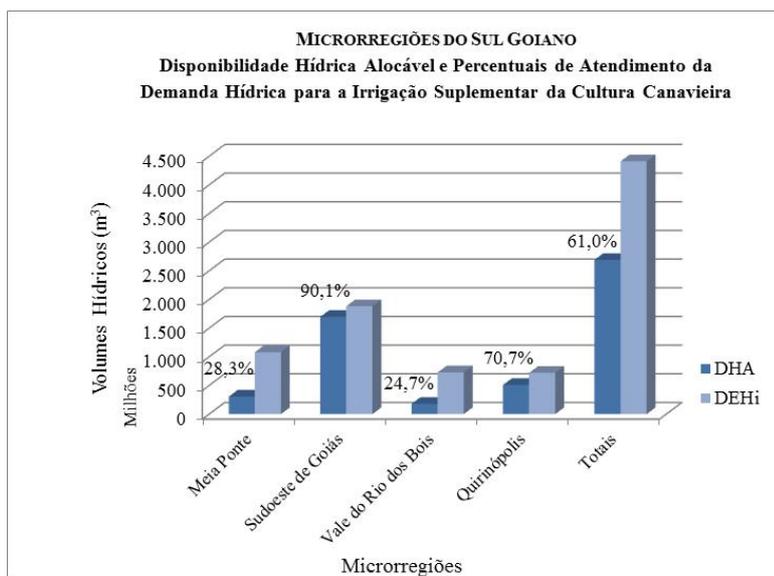


Figura 3 - Gráfico: Disponibilidade hídrica alocável e percentuais de atendimento da demanda hídrica para a irrigação suplementar da cultura canaveira por microrregião

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

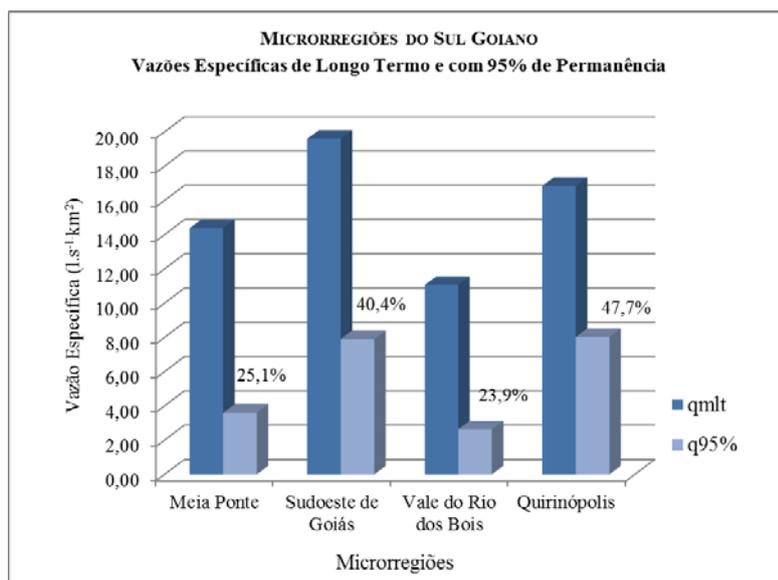


Figura 4 - Gráfico: Vazões específicas médias de longo termo, vazões específicas com 95% de permanência e percentuais

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 m³ 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⁻¹.km². 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⁻¹.km², 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 km² com vazões específicas de 1, 5 e 10 l.s⁻¹.km² e uma taxa de captação de água de 1l s⁻¹.ha⁻¹.

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/Ispta_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

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

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.

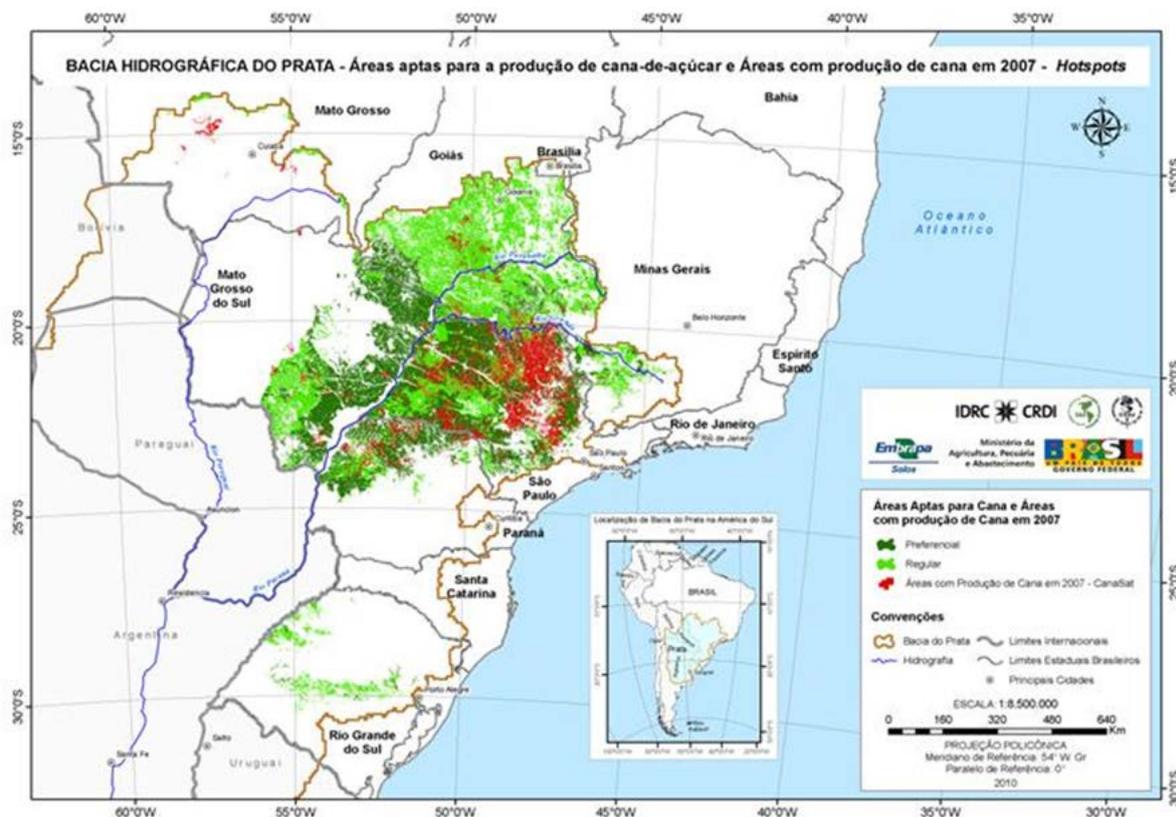


Figura 1 - Áreas aptas ao cultivo da cana-de-açúcar segundo o Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar de 2009 e áreas ocupadas pela cultura da cana-de-açúcar (2007). Fonte: MEIRELLES *et al* (2010). <http://mapoteca.cnps.embrapa.br/>; CANASAT-INPE

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 contém 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 contém 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

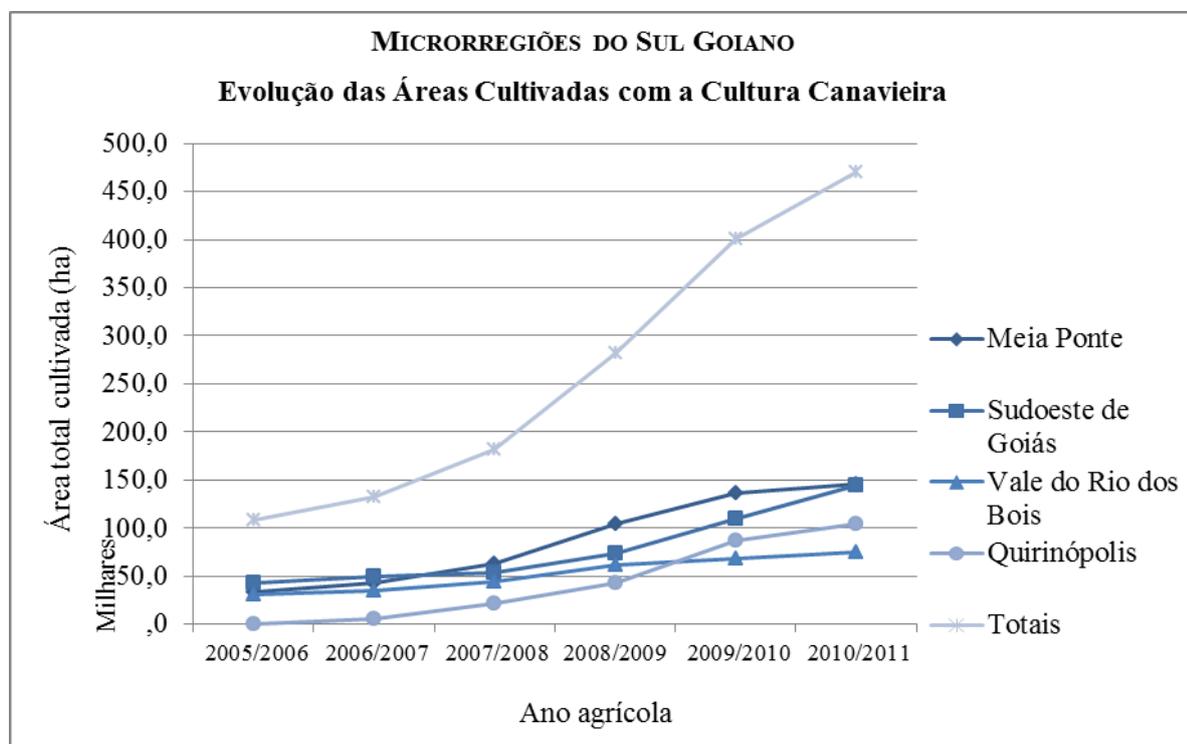


Figura 3 - Gráfico: Evolução das áreas cultivadas com a cultura canaveira entre o período dos anos agrícolas de 2005/2006 e 2010/2011, por microrregião e total. Fonte: Ferraz (2012) com dados de CANASAT (INPE) - www.dsr.inpe.br/laf/canasat/mapa.html.

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

UTA	ÁREAS (ha)				INDICADORES		
	AECv	AECp	AECa	AECt	ISAA	ISAP	ISVN
Microrregiões							
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 Canaveira sobre Áreas de Culturas Agrícolas; (iii) AECp - Área de Expansão da Cultura Canaveira sobre Áreas de Pastagem; (iv) Área de Expansão da Cultura Canaveira 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 canaveira 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 canaveira 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 canaveira, 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 canaveira 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 canaveira.

A observação das curvas do gráfico da figura 3 revela que houve taxas de crescimento da cultura canaveira, 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 canaveira 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 Canaveira 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 canaveira 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 canaveira nas regiões e período especificados. A tabela 3 apresenta os resultados em termos de áreas absolutas e os indicadores correspondentes.

Cumprir 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 Canavieira 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 Canavieira na Área Favorável ao Sistema de Sequeiro. Indicadores: (i) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação; (ii) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira 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 canavieira demonstram que o processo da expansão canavieira 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 canavieira 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 canavieira

A partir dos indicadores: (i) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Irrigação; (ii) IESCi – Índice de Expansão Sustentada da Cultura Canavieira em Sistema de Sequeiro foi realizada a Avaliação do processo de expansão sustentada da cultura canavieira para as microrregiões e período especificados. 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. Esta evidência é explicada pelo fato de que as áreas atualmente ocupadas pela cultura canavieira 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

Carreadores da cultura da cana-de-açúcar: vantagens e desvantagens do tratamento do subleito

Earth roads from sugar cane plantations: advantages and disadvantages of treatment of the subgrade

RESUMO

Os carreadores da cana-de-açúcar fazem parte da malha viária responsável pelo escoamento da matéria-prima até a agroindústria. São importantes também pelo potencial de erosão, ficando constantemente expostos a fatores como o Sol, a chuva e o trânsito de veículos pesados. Nesta pesquisa foi feita uma breve comparação do tratamento ao qual são submetidos alguns carreadores da cultura da cana-de-açúcar, tendo como base uma fazenda de cana localizada na bacia do Ribeirão do Feijão (SP). Esta análise foi feita comparando-se as alternativas de nivelamento e de revestimento primário das estradas. Ambas oferecem vantagens e desvantagens, sendo o nivelamento a mais vantajosa economicamente. Ambientalmente ambas oferecem riscos. No entanto, o revestimento primário seria mais indicado para o combate à erosão do solo.

PALAVRAS-CHAVE: cana-de-açúcar, carreadores, combate à erosão do solo

ABSTRACT

The earth roads at sugar cane plantations are part of the road network responsible for the flow of raw materials to agro-industry. They are also important for potential erosion, getting constantly exposed to factors like the sun, rain and heavy vehicle traffic.

In this work a feasibility of the treatment of some sugar cane earth roads was analyzed, taking as a basis a sugar cane farm located on the Ribeirão do Feijão watershed (SP).

This analysis was done comparing the alternatives leveling and primary coating. Both offer advantages and disadvantages, leveling the most economically advantageous. Environmentally both offer risks. However, the primary coating would be more advisable for the fight against soil erosion.

KEYWORDS: sugar cane, earth roads, combating soil erosion

Gustavo D'Almeida Scarpinella¹
Engenheiro Agrônomo, Pós-doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – UFSCar
São Carlos, SP, Brasil
gscarpinella@gmail.com

Renato Billia de Miranda
Engenheiro Eletricista,
Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental - EESC/USP
São Carlos, SP, Brasil
eng.renato.miranda@gmail.com.

Frederico Fábio Mauad
Engenheiro Agrícola, Professor Doutor do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental - EESC/USP
São Carlos, SP, Brasil
mauadffm@sc.usp.br

¹ Trabalho extraído da tese de doutorado do primeiro autor. Fonte financiadora: CNPq.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é a atividade agrícola em maior expansão no Estado de São Paulo, representando aproximadamente 60% de toda a produção nacional, sendo inferior, em área, somente em relação à pecuária. O Estado de São Paulo apresenta uma área de 20 milhões de hectares agricultáveis e a cana já está instalada em 5,7 milhões deles (VIEGAS, 2010).

O horizonte para a expansão da cultura da cana-de-açúcar no Brasil firma-se novamente em virtude de acontecimentos, como o desenvolvimento dos veículos bicomustíveis a partir de 2003 (*flexfuel*) e a legislação nacional para adição de uma porcentagem do álcool à gasolina (BRASIL, 2006).

Tal incremento da cultura da cana e a conversão de áreas de pastagem em canaviais, pode conduzir à erosão do solo pelo seu constante revolvimento e movimentação.

A cultura da cana é formada pelas áreas de cultivo (talhões) e pelas áreas de escoamento deste cultivo: os carregadores. Os carregadores da cana-de-açúcar apresentam suas superfícies geralmente sem cobertura vegetal, pois servem como via de acesso entre os talhões e têm papel de aceiros, evitando que, em caso de fogo, haja propagação das chamas de um talhão para o outro. Considerando uma média de área de 5% de carregadores (valor obtido através da investigação de 130 fazendas de cana localizadas na bacia hidrográfica estudada) em um universo de 5,7 milhões de hectares, há uma área de aproximadamente 285.000 hectares de carregadores nas mais diversas condições de manutenção, de acordo com o tipo de gerenciamento à qual a fazenda se enquadra.

A erosão hídrica em estradas de terra é um problema cíclico, que sofre agravamento nos períodos de chuva.

A incipiência de estudos que tratem da erosão do solo em carregadores de cana (e seus impactos ao meio ambiente), além da importância que os mesmos apresentam dentro da cadeia produtiva do açúcar e do álcool, evidenciam a necessidade de abordagem do presente tema.

1. OBJETIVO

Discussão comparativa da manutenção do subleito de carregadores da cultura da cana-de-açúcar, considerando os tratamentos de nivelamento e revestimento primário, tomando como estudo de caso uma fazenda de cana localizada na bacia do Ribeirão do Feijão (SP).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Estradas de terra

As estradas de terra (ou estradas não pavimentadas) representam uma grande extensão da rede viária brasileira, servindo como escoadouro da produção agropecuária e via de deslocamento para moradores a serviços de saúde, lazer e educação do campo à cidade (ODA *et al.*, 2001). De acordo com ZOCCAL (2007), o Estado de São Paulo apresenta uma malha viária de 250.000 quilômetros de estradas, sendo que aproximadamente 220.000 quilômetros são de estradas não pavimentadas. O mesmo autor ainda afirma que estas estradas “contribuem com 50% do solo carregado aos mananciais e 70% das erosões existentes”.

De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (1988), uma estrada de terra deve apresentar duas características para que sejam garantidas as mínimas condições satisfatórias de tráfego:

a) boa capacidade de suporte - “É a característica que confere à estrada sua capacidade maior ou menor de não se deformar frente às solicitações de tráfego”. A baixa

capacidade de suporte pode originar deformações:

ondulações transversais e formação de rodeiros. A formação de lama, após chuvas mais intensas, é outra característica de estradas com baixa capacidade de suporte. Os problemas decorrentes de uma baixa capacidade de suporte devem-se as deficiências localizadas no subleito (terreno natural sobre o qual se implantou a estrada), na camada de reforço (sobre o subleito, usada para melhorar as suas características), ou em ambos os casos.

Para se garantir uma boa capacidade de suporte é necessário que sejam usados materiais granulares (cascalho e areia, entre outros) e que haja compactação do solo após a aplicação destes materiais. É necessário, no entanto, que haja um material ligante para que os materiais granulares sejam aglutinados (no caso, a argila). Caso contrário, poderá haver derrapagem e formação de ondulações transversais, popularmente chamadas de “costelas de vaca”, ou ondulações longitudinais, conhecidas também como “facões”. Após a sua aplicação (mistura da argila com areia e/ou cascalho) deve haver a compactação do terreno para que o material granular e o material ligante exerçam suas funções de forma satisfatória.

b) boas condições de rolamento e aderência - As condições de rolamento de uma estrada são aquelas que podem interferir sobre a comodidade e a segurança durante o tráfego. Irregularidades na pista como esburacamento, pista escorregadia e materiais soltos (que podem provocar derrapagem ou ricocheteio de material) são fatores que afetam as condições de rolamento.

Já a aderência diz respeito às condições de atrito na qual a estrada se encontra. Uma estrada com características de boa aderência não permite ao veículo a rotação de suas rodas em falso.

De acordo com o IPT (1988), uma série de problemas que ocorrem em estradas de terra, como ondulações, rodeiros, atoleiros, areiões de espigão e de baixada, pista derrapante, segregação lateral, buracos e erosões, têm ligação com a deficiência no revestimento do subleito ou no sistema de drenagem da estrada. Tais complicações são revertidas com a devida retirada da água das estradas e a implementação de um tratamento do subleito.

Carreadores

Dá-se o nome de carreadores a todas as vias geralmente não pavimentadas, localizadas dentro ou fora de propriedades rurais, com a função de escoar a produção de uma cultura agrícola de uma determinada área.

Os carreadores, embora sejam vias trafegáveis e localizem-se no interior das propriedades rurais, não são contabilizados. No entanto, seu montante, somente no Estado de São Paulo, pode ser superior a 700.000 quilômetros lineares de extensão, se for considerada uma largura média de 4 metros e ocorrência, em área, de 5% destas vias em fazendas de cana-de-açúcar.

Os carreadores podem apresentar revestimento de seu subleito, ou não, dependendo de

sua importância logística e da manutenção aplicada à propriedade (que deriva do sistema de gerenciamento da mesma).

GALETI (1987) afirma que as estradas e os carreadores são pontos vitais no desenvolvimento das atividades dentro de uma propriedade agrícola. Sua função é de garantir fluxo de carga e pessoas, especialmente e ao longo de todo o ano. No entanto, a má disposição destas estradas em relação aos talhões de cultivo e terras adjacentes, e a recepção de águas pluviais sem os devidos cuidados, podem comprometer a sua trafegabilidade elevando os custos de manutenção.

Cuidados devem ser tomados com os carreadores, como a drenagem de águas pluviais, ângulos de conexão, raios de curva, aclives, revestimento e sinalização adequada (CÂMARA, 1993).

Estas vias crescem em complexidade à medida que devem servir talhões, setores e fazendas. Seguem, assim, uma hierarquia antes de fluírem para estradas secundárias e estradas principais (particulares ou públicas). Os carreadores principais têm em sua maioria duas vias, apresentam tráfego intenso e têm largura em torno de 8 metros, localizando-se geralmente nas partes mais altas da propriedade. Os carreadores secundários derivam dos

carreadores primários e apresentam uma largura um pouco menor (em torno de 6 metros). Em terrenos mais declivosos, estes carreadores devem se situar no terço inferior da fazenda para facilitar a saída dos veículos já carregados no sentido descendente (CÂMARA, 1993).

LOMBARDI NETO e DRUGOWICH (1994a.) afirmam que a distribuição dos carreadores deve levar em consideração a necessidade de mecanização da cultura, da aplicação de insumos e do transporte do produto. Os carreadores, na medida do possível, devem acompanhar as curvas de nível, contribuindo com a retenção de parte da enxurrada produzida após cada evento chuvoso intenso.

Erosão em carreadores de cana-de-açúcar

As pesquisas sobre erosão do solo em carreadores de cana-de-açúcar ainda são incipientes. SCARPINELLA (2012) realizou um estudo observacional isolando quatro trechos de carreadores em uma fazenda de cana-de-açúcar e constatou significativas perdas quantitativas e qualitativas de solo nas quatro parcelas (cada uma com área de 33m², e com inclinações que variaram de 5 a 7%). Dentre as perdas quantitativas pôde observar que para o período de coleta (16 de

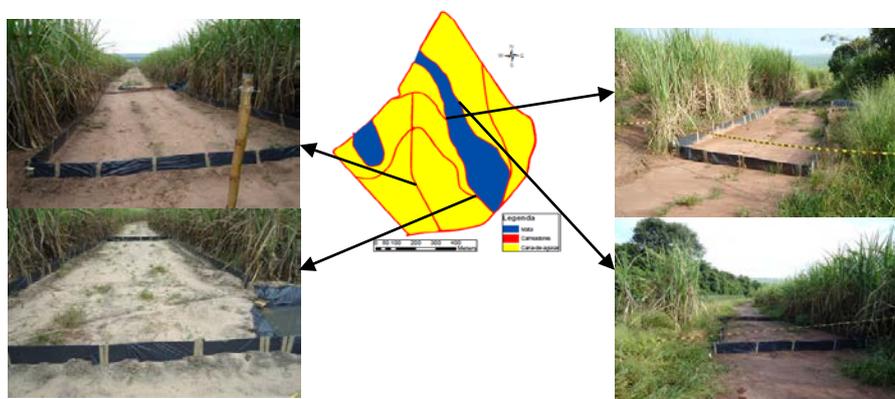


Figura 1- Parcelas utilizadas no estudo observacional da área analisada

Fonte: SCARPINELLA, 2012

Tabela 1 – Perdas de solo associadas ao uso agrícola no Estado de São Paulo

Culturas	Perdas de solo (t.ha⁻¹.ano⁻¹)
Culturas anuais	
Algodão	24,8
Amendoim	26,7
Arroz	25,1
Feijão	38,1
Milho	12,0
Soja	20,1
Culturas temporárias	
Cana-de-açúcar	12,4
Mamona	41,5
Mandioca	33,9
Culturas permanentes	
Banana	0,9
Café	0,9
Laranja	0,9
Pastagem	0,4
Vegetação	0,4
Reflorestamento	0,9
Áreas críticas	
Estrada periurbana	175,0

Fonte: Adaptado de TELLES¹ (1999) In: REBOUÇAS *et al.* (1999)

fevereiro a 2 de abril de 2011), com um volume acumulado de 367,3 mm de precipitação em 30 eventos chuvosos, houve uma perda de solo que variou de 35 a 148 t.ha⁻¹ de estrada. A produção de nitrogênio total para estas parcelas também foi expressiva, trazendo risco de escoamento aos corpos hídricos próximos e consequente eutrofização. A Figura 1 ilustra as parcelas isoladas utilizadas no estudo observacional de SCARPINELLA (2012).

Embora sejam culturas diferentes, por suas demandas específicas de mecanização, ciclo de cultivo e manutenção (dentre outras características), pode ser feita uma breve comparação de perdas de solos em estradas florestais, área que apresenta diversos estudos. ANTONANGELO E FENNER (2005) estimaram em seu experimento, no qual isolaram 4 parcelas em carregadores florestais (por 10 meses), uma perda de 130 t.ha⁻¹ de estrada.

OLIVEIRA *et al.* (2010) realizaram a estimativa de perdas de solo em trechos de estradas vicinais de florestas nativas subcaducifólias e plantadas de eucalipto, e chegaram a resultados que variaram

de 68,3 a 142 kg.m⁻². Ainda sobre erosão em estradas florestais, FRANSEN *et al.* (2001) relatam diversos estudos na Nova Zelândia sobre este tema e afirmam que foram obtidos valores de perdas de solos através de chuvas simuladas, entre 40 e 8.000 t.km⁻¹ de estradas.

De acordo com LOMBARDI NETO e DRUGOWICH (1994b.), “[...] a construção de estradas pelo simples fato de eliminar a cobertura vegetal e impermeabilizar o solo, seja pela compactação, seja pela cobertura asfáltica, constitui um forte fator predisponente à erosão”.

RIPOLI e RIPOLI (2009) relatam a preocupação das agroindústrias durante a época de colheita em manter um fluxo constante e uniforme da produção da área agrícola para as moendas, contemplando as etapas de corte, carregamento, transporte e recepção da matéria-prima. CÂMARA (1993) ressalta a grande importância de se implementar os carregadores em uma fazenda de maneira que seus traçados façam uma convergência para a agroindústria. O carregador principal deve estar em local alto e a partir do mesmo, os demais (de contorno - em nível - e pendentes) irão

delimitar os talhões. Pode haver uma interferência mútua do carregador com as áreas que o margeiam. A contribuição de sedimentos pode vir dessas áreas marginais, ou até mesmo a enxurrada proveniente dos carregadores pode ser a causadora de erosão nas áreas agricultadas (PRUSKI, 2009).

De acordo com LOMBARDI NETO e DRUGOWICH (1994a.), os problemas mais graves de erosão podem ser ocasionados pela má localização de estradas e carregadores, os quais podem acumular grandes volumes de enxurrada e provocar estragos consideráveis em poucos eventos chuvosos.

É importante uma situação do potencial erosivo dos carregadores. Na Tabela 1, há a relação da perda de solo de algumas culturas anuais, temporárias e permanentes, além da comparação com estradas periurbanas, (estradas de terra que mais se aproximam dos carregadores, em características). Mesmo a mamona, com alta propensão à erosão do solo, possui um potencial erosivo quatro vezes inferior em relação às superfícies

ocupadas por estradas de terra, como indica a Tabela 1.

Estudos mais recentes (SPAROVEK e SCHNUG, 2001; MARTINELLI e FILOSO, 2007) relatam uma perda de solo para a cana superior a $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, um quadro diferente daquele apontado para esta cultura na Tabela 1. Ainda assim, as perdas de solo provenientes de estradas de terra são superiores.

Tratamento do subleito

Para casos em que o fluxo viário justifique ou haja disponibilidade de verba, recomenda-se o tratamento primário. Este consiste na realização de alguns procedimentos técnicos, envolvendo máquinas pesadas e adição de material ao subleito, que melhoram as condições de trafegabilidade de uma estrada de terra. De acordo com o IPT (1988), há três tipos de tratamento primário:

a) Revestimento primário - De acordo com o Departamento de Estradas de Rodagem - DER (2006), o revestimento primário consiste na:

“[...] execução de camada granular, composta por agregados naturais ou artificiais, aplicada sobre o reforço do subleito ou diretamente sobre o subleito compactado em rodovias não pavimentadas, com a função de assegurar condições de rolamento e de aderência do tráfego satisfatórias, mesmo sob condições climáticas adversas” (DER, 2006, p.3).

Este tipo de revestimento apresenta geralmente uma camada de 10 a 20 centímetros de espessura (variando conforme a demanda de trafegabilidade), composta por uma mistura de material argiloso e material granular colocada sobre o subleito. A dimensão máxima do

material granular, neste caso, não deve ser superior a 2,5 cm. O material argiloso, com a adição de água, serve como ligante para esta mistura. A proporção sugerida pelo IPT (1988) é de 1 parte de argila para 2,5 partes de material granular. Esta mistura pode ser feita com grade de disco, motoniveladora ou pá carregadeira. Para aplicação da mistura, o subleito deve ser, antes, preparado através de nivelamento e escarificado (rompimento de camadas mais profundas de solo (50 a 80 cm) com o objetivo de descompactação do mesmo). Após a aplicação, o material deve ser espalhado (molhado ou seco), conforme seu grau de umidade, e compactado com rolo compressor. Recomenda-se que a passagem do rolo seja de, no mínimo, 8 vezes por faixa, da borda para o centro da estrada.

b) Agulhamento - Executado com cascalho, piçarra ou pedregulho de dimensões superiores a 2,5 cm, o agulhamento consiste na cravação, através de compactação com rolo compressor deste material sobre o subleito, geralmente argiloso. Trata-se de um procedimento menos custoso aplicado a estradas com menor intensidade de tráfego. Distingue-se do revestimento primário pela simples adição de pedra ao subleito sem o emprego de material ligante. O procedimento de aplicação é igual ao anterior.

c) Mistura de areia e argila - Procedimento mais barato do que os

dois anteriores. Trata-se da adição de 30% de argila em estradas com subleito arenoso, que quando secas provocam derrapagem e atolamento. O volume de argila a ser adicionado será função da largura e do comprimento do trecho da estrada. Recomenda-se, quanto à espessura, que seja melhorada a camada de 15 cm de areia solta. Misturando-se a fração de 30% de argila a este volume, acredita-se alcançar as condições mínimas de trafegabilidade. Para o procedimento desta operação, faz-se a regularização do subleito, o depósito do material argiloso na proporção indicada, a mistura destes materiais com auxílio da grade de disco (implemento agrícola utilizado geralmente para revolvimento parcial do solo), o umedecimento necessário e a compactação do solo.

3.5 Nivelamento

O nivelamento consiste na passagem da motoniveladora pelo terreno, com o objetivo de eliminar as irregularidades do subleito. Para que o nivelamento possa ser efetivo é necessário que o subleito esteja desprovido de qualquer tratamento com material granular. A motoniveladora opera de maneira a remover parte da superfície do subleito para uma das laterais (a ser escolhida pelo operador) alinhando o terreno e deixando-o parcialmente compactado e apto ao trânsito de veículos (Figura 2).

Dependendo da largura do carreador, a motoniveladora opera



Figura 2 – Motoniveladora em operação na área de estudo e de um carreador após a sua passagem.

Fonte: SCARPINELLA, 2012

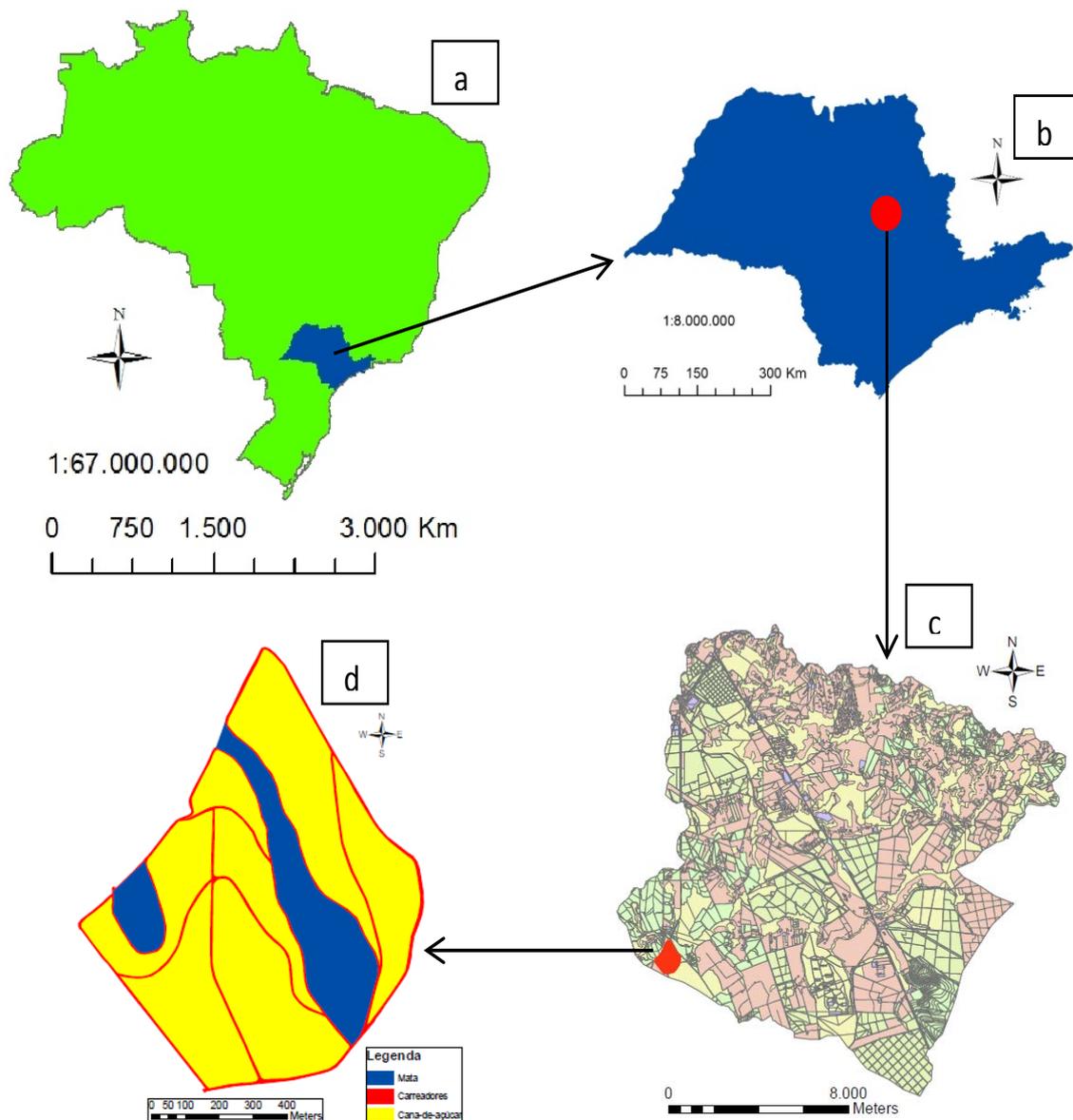


Figura 3 - (a) Mapa do Brasil, com destaque para o estado de São Paulo; (b) Estado de São Paulo, com destaque para a região da Bacia do Ribeirão do Feijão; (c) Bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, com destaque para a área de estudo; (d) Área de estudo – Fazenda Santo Antônio do Lobo. Fontes: (a), (b) e (c) Elaboração própria; (d) Modificado de Cosan (2011)

com duas ou mais passagens pelo subleito para que toda área possa ser contemplada.

FONTANA *et al.* (2007) realizaram a passagem de motoniveladora em 3 trechos de carreadores florestais (com 30 metros de extensão, cada) e compararam o nível retirado de solo após a passagem desta máquina. Houve uma retirada média de 2,13

cm e um montante médio de 341 t.ha⁻¹ de estrada.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

Foi adotada como estudo de caso a Fazenda Santo Antonio do Lobo, situada no município de Itirapina (SP). Esta, por sua vez localiza-se na bacia do

Ribeirão do Feijão (entre os municípios de São Carlos, Itirapina e Analândia), com área de 234,36 km² a qual está inserida na bacia do Tietê-Jacaré (SP). A Figura 3 apresenta a área de estudo.

A Fazenda Santo Antonio do Lobo foi arrendada por uma agroindústria de cana-de-açúcar em 2001. Apresenta uma área total de 70 ha onde a cana-de-açúcar é cultivada em 55,87 ha. Os

Tabela 2 – Classificação dos tipos de solo na bacia do Ribeirão do Feijão

Classificação	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Neossolo quartzarênico	28,8	12,2
Neossolos	103,9	44,1
Latosolos	53,4	22,7
Argissolos	47,5	20,1
Gleissolo	2,0	0,8
TOTAL	235,6	100,0

Fonte: Modificado de EMBRAPA-SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO (1981) e SANTOS *et al.* (2006).

carreadores correspondem a 3,13 ha da área e o restante (11 ha) é formado por matas remanescentes.

A variedade de cana-de-açúcar cultivada no local é conhecida como RB 867515. Trata-se de uma variedade de “ano e meio” plantada em um espaçamento de 1,50 m. Foram empregados terraços a cada 5 metros de diferença vertical² (DV) na área. Na ocasião da instalação, desenvolvimento e conclusão do estudo, a cultura da cana encontrava-se na quarta rebrota.

Os carreadores da Fazenda Santo Antonio do Lobo perfazem 9,48 quilômetros de extensão e com exceção do carreador principal que tem uma largura média de 5 metros, os demais carreadores (pendentes e em nível) apresentam uma largura de 3,3 metros.

A caracterização pedológica da área de estudo foi baseada no Levantamento Pedológico Semi-Detalhado do Estado de São Paulo, de 1981, em escala 1:100.000, quadrícula de São Carlos, elaborado pelo Convênio Embrapa, Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária e Instituto Agrônomo (EMBRAPA-SAA, 1981). Os tipos de solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, bem como suas áreas e

porcentagens respectivas são apresentados na Tabela 2.

A ocorrência na área estudada foi de Neossolo Quartzarênico. PRADO (1991) conceitua os Neossolos Quartzarênicos como sendo minerais pouco desenvolvidos, de textura arenosa, formados por material arenoso virtualmente destituído de minerais primários, menos resistentes ao intemperismo. MACEDO (1994) caracteriza tais tipos de solo como muito pobres, muito permeáveis e mal estruturados, com baixa capacidade de retenção de água, bastante suscetíveis à erosão, originários de arenitos ou sedimentos arenos-quartzosos e com teor de argila inferior a 15%.

O clima na bacia do Ribeirão do Feijão é do tipo Cwa, de acordo com o sistema de classificação climática de *Koppen*, (clima tropical de altitude, com 6 meses definidos de verão chuvoso e 6 meses definidos de inverno seco).^{a)} A temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C (CEPAGRI, 2012). A precipitação média do mês mais seco é inferior a 30 mm e a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C (ROLIM *et al.*,^{c)} 2007).

A ocorrência vegetal natural para a bacia do Tietê-Jacaré é de trechos remanescentes de Cerrado (IPT, 2000).

Dentro da bacia hidrográfica do Ribeirão do Feijão, o ambiente vegetal natural encontra-

se restrito às proximidades dos cursos d'água e regiões de várzea. Apesar do avanço da atividade pecuária e do cultivo da cana-de-açúcar e eucalipto (entre outros), a vegetação nativa ainda cobre aproximadamente ¼ da superfície da bacia do Ribeirão do Feijão (SCARPINELLA, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A erosão do solo em carreadores de cana (conforme apresentado na seção 3.3) pode ter relação direta com o sistema pelo qual o canal é gerenciado. São citados três sistemas de gerenciamento mais utilizados atualmente pelas agroindústrias canaveiras:

a) Área de parceria – O arrendamento da área ocorre por um período determinado mediante contrato. A agroindústria canaveira gerencia o cultivo em todo o seu processo produtivo;

b) Área própria – A área onde a cana é cultivada pertence à agroindústria canaveira e esta tem a responsabilidade no gerenciamento de todas as atividades, do preparo do solo à colheita da matéria-prima;

c) Área terceirizada – A agroindústria canaveira apenas colhe a produção, não tendo nenhuma obrigação (dentro do campo) ou atividade vinculada até esta etapa.

A Fazenda tomada como estudo de caso se enquadra na categoria “área de parceria”. Estas

² Conceito usado para a implementação de terraços, visando o controle da erosão do solo.

áreas podem receber um menor suporte se comparadas às “áreas próprias” da agroindústria, responsável e arrendadora. Como são áreas arrendadas (e temporariamente), não há interesse por parte da agroindústria em realizar investimentos que gerem ônus a curto prazo.

Os carregadores foram mantidos com traços de erosão até as vésperas da colheita, quando foi realizado o nivelamento do subleito com a máquina motoniveladora. Sendo uma área arrendada, o revestimento primário (ou qualquer outro tipo de tratamento primário) é economicamente inviável, ou não desperta interesse por parte do arrendador. O custo é menor quando se recorre ao simples nivelamento. No entanto, há uma maior movimentação de solo (compactação e revolvimento) e também maiores possibilidades de futuras perdas quantitativas e qualitativas. Significa supor que outras áreas sob este regime de gerenciamento, podem estar recebendo a mesma metodologia na manutenção de seus carregadores.

No caso de “áreas terceirizadas” a manutenção ocorre por conta do proprietário (que não é a agroindústria). É certo supor que as propriedades particulares geralmente não têm o poder aquisitivo de uma agroindústria, nem maquinário pesado à disposição. Portanto, o grau de manutenção dos carregadores pode ser ainda menor. Há hipótese de exceção quando o carregador presta serviços também como via de acesso a outras localidades (estradas municipais, por exemplo). Neste caso, o mesmo (carregador) pode receber um tratamento primário pelo proprietário ou por programas governamentais, como o Programa Melhor Caminho e Pró-Estrada (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DE SÃO PAULO, 2011).

Comparação de custo entre nivelamento e revestimento primário dos carregadores

A seguir é feita uma breve comparação de custo para passagem da motoniveladora e para o revestimento primário do subleito.

a) Nivelamento

Tendo ciência de que a cana está instalada na Fazenda há 10 anos e que a variedade tem o ciclo de um ano e meio, a motoniveladora realizou o nivelamento completo dos carregadores provavelmente por 7 vezes (10 anos * 12 meses, dividido por 18 meses). Considerando que a máquina desenvolve a operação a uma velocidade de 6 km/h, apresenta um consumo de combustível de 25 litros/hora e realiza duas passagens em todos os carregadores, com a extensão total de 9.480 metros dentro da fazenda (BERTOLI, 2012³), tem-se um gasto aproximado de 80 litros de óleo diesel para esta atividade a cada vez que ela ocorre. Para se percorrer todos os carregadores duas vezes, serão necessárias aproximadamente 3,16 horas de deslocamento a 6 km/h. Considerando os custos de consumo de combustível e remuneração do tratorista/hora (R\$ 26,26/hora, com encargos embutidos⁴), e trazendo estes custos para um valor total atual, tem-se para o período de 10 anos os seguintes valores para cálculo:

- Número de operações realizadas com a motoniveladora desde o início do gerenciamento da fazenda: 7;
- Volume gasto de combustível a cada operação: 80 litros;

³ Bertoli, D.N. (2012). Informações sobre a manutenção dos carregadores da Fazenda Santo Antonio do Lobo. Informação recebida por telefone em: 11, abr. 2012.

⁴ Valor obtido na Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras (2011).

- Custo do combustível (óleo diesel): R\$ 1,738/litro⁵;
- Custo da mão de obra (tratorista): R\$ 26,26/hora;
- Tempo de operação para cada vez em que os carregadores são submetidos a nivelamento: 3,16 horas.

Para o cálculo deste valor pode ser empregada a Equação 1.

$$C = O * (Cg * Cc) + O * (To + Mo) \quad (1)$$

Em que:

- C – Custo de nivelamento do subleito, em R\$;
- O – Número de operações;
- Cg – Volume de combustível gasto, em litros;
- Cc – Custo do combustível, em R\$;
- To – Tempo de operação, em horas;
- Mo – Custo horário da mão de obra, em R\$.

Substituindo-se os valores, tem-se:

$$\text{Custo de nivelamento (R\$)} = 7 * (80 * 1,738) + 7 * (3,16 * 26,26) \cong 1.554,00$$

É importante destacar que não estão sendo contabilizados os gastos de combustível com deslocamento (ou transporte) desta máquina até a Fazenda. Isso porque a motoniveladora pode realizar o serviço durante a sua locomoção dentro do itinerário estabelecido, na ida, na volta, ou em ambas. A contabilização para o custo do nivelamento acima também considerou que a área já conte com a motoniveladora.

No caso de uma área independente das agroindústrias (área terceirizada, conforme descrito anteriormente), deve ser somado o custo do aluguel de uma motoniveladora para trabalho no local, tendo a Equação 1 o seguinte acréscimo (em negrito):

$$C = O * (Cg * Cc) + O * (To + Mo) + O * (\mathbf{To * Cm}) \quad (2)$$

⁵ Preço médio praticado no Estado de São Paulo para o período de 20/05/2012 a 26/05/2012. Valor obtido através da Agência Nacional de Petróleo (2012).

Em que:

C – Custo de nivelamento do subleito, em R\$;

O – Número de operações;

Cg – Volume de combustível gasto, em litros;

Cc – Custo do combustível, em R\$;

To – Tempo de operação, em horas;

Mo – Custo horário da mão de obra, em R\$;

Cm – Custo horário do aluguel de uma motoniveladora, em R\$;

Substituindo-se os valores, tem-se:

$$\text{Custo de nivelamento (R\$)} = 7 * (80 * 1,738) + 7 * (3,16 * 26,26) + 7 * (3,16 * 135,11^6) \cong 4.542,00$$

b) Revestimento primário

Se para estes mesmos carregadores se recorresse ao revestimento primário seria necessário haver uma camada com espessura entre 12 e 15 cm sobre o subleito, conforme LUCCHINO (2012)⁷. Considerando a extensão (9.480 m) e a largura média (3,3 m) dos carregadores, tem-se uma superfície de 31.284 m² a ser revestida. De acordo com a SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS (2011), o custo para o revestimento primário é de R\$ 58,77/m³. Se for adotada a menor espessura determinada (12 cm), tem-se:

Volume necessário de material (m³) = 31.284 m² * 0,12 m \cong 3.754,00 m³

Portanto, para realizar o revestimento primário como

tratamento primário nos carregadores da área de estudo, seria necessário o volume total aproximado de 3.754 m³. Para se chegar ao custo total do serviço, deve-se calcular o fator do volume total obtido pelo valor do metro cúbico do tratamento adotado:

$$\text{Custo total do revestimento primário (R\$)} = 3.754 * 58,77 \cong 220.623,00$$

De acordo com a SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS (2011), estão inclusas na contabilidade total do revestimento primário, a camada acabada revestida com pedra britada n° 2, misturada ao solo local, com escarificação, umedecimento, compactação e ensaios. Estão inclusas ainda as obras de conexão das sangras aos terraços e às bacias de contenção.

Convertendo os custos totais para a unidade de metro quadrado, tem-se que:

Motoniveladora = R\$ 1.554,00/31.284 m ² \cong R\$ 0,05/m ²
Revestimento primário = R\$ 220.623,00/31.284 m ² \cong R\$ 7,00/m ²

Através destas estimativas, o revestimento primário apresenta um custo aproximadamente 140 vezes superior à simples operação de nivelamento, a qual a agroindústria recorre neste caso. Se for considerado o aluguel da máquina, o custo do revestimento primário passa a ser aproximadamente 47 vezes superior à operação de nivelamento.

Deve-se ressaltar que o agulhamento, por exemplo, é um tratamento primário mais barato que o revestimento primário e que também pode empregar materiais alternativos - como composto granular (proveniente de sobras da construção civil) – reduzindo os custos do processo (LUCCHINO,

2012)⁸. Tanto o revestimento primário como o agulhamento, podem conferir uma malha viária satisfatória com menos riscos de erosão. No entanto, quanto maior o fluxo ou quanto mais pesadas forem as máquinas a transitar nos carregadores, maior deverá ser a espessura do revestimento para que seja atendida a capacidade de suporte.

Aspectos ambientais

Ambientalmente, as práticas discutidas apresentam vantagens e desvantagens.

Quando é realizado o nivelamento de um terreno, há o arraste de material para uma das laterais do carregador e a compactação do subleito por conta da passagem da motoniveladora. A terra revolvida, amontoada (e desestruturada) fica sujeita ao arraste para cotas altimétricas inferiores, através do processo de salpicamento, nas chuvas subsequentes. Dificultando a infiltração da água da chuva, o solo compactado pode favorecer o aparecimento de micro-ravinas no terreno. Como vantagem, o nivelamento contribui com a não subtração de material granular (pedras) e ligante (argila) de outras áreas, uma vez que tal procedimento consiste na raspagem do subleito até que se estabeleça uma superfície plana.

O revestimento primário traz como principal vantagem ambiental a redução do processo erosivo do subleito. Sua desvantagem, no entanto, é a subtração de material granular e material ligante de alguma fonte provedora destas matérias-primas. Há também o consumo de água para

⁶ SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS. (2011). Tabelas de custos. Disponível em:

<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/infraestrutura/tabelas_de_custos/index.php?p=35445>. Acesso em: 22 mai. 2012.

⁷ LUCCHINO, A. (2012). COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DE SÃO PAULO. Informações sobre técnicas de tratamento primário em estradas de terra. Informação recebida por telefone em 23, abr. 2012.

⁸ LUCCHINO, A. (2012). COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DE SÃO PAULO. Informações técnicas sobre material alternativo para uso no revestimento primário em estradas de terra. Informação recebida por telefone em 23, abr. 2012.

o preparo da mistura, que será compactada sobre o subleito.

Para ambos os casos há o consumo de óleo diesel, para o trabalho das máquinas. Tal consumo leva à queima deste derivado de petróleo e à emissão de dióxido de carbono, além de outras partículas poluidoras da atmosfera. Deve ser destacado que o consumo de óleo diesel para o desenvolvimento do revestimento primário é superior ao da atividade de nivelamento, pois há uma demanda maior de maquinário: motoniveladora, caminhão-pipa, rolo compressor e caminhão basculante.

Cabe destacar que, em termos de combate à erosão do solo, o revestimento primário é a prática mais indicada por evitar o contínuo processo de erosão de subleito, fato que não ocorre com a prática de nivelamento.

CONCLUSÕES

O sistema de gerenciamento pode ser responsável pelo estado de conservação dos carregadores de uma fazenda de cana-de-açúcar. Em qualquer caso, os carregadores devem garantir condições de trafegabilidade, o que incorre na conservação destas vias através do emprego de maquinário. Para a área estudada no presente artigo, os custos de nivelamento foram entre 47 e 140 vezes inferiores ao custo do revestimento primário. A ausência de tratamento primário em carregadores, no entanto, leva à erosão do solo, carregamento de nutrientes, risco de eutrofização de corpos hídricos próximos e a subseqüentes raspagens de sua superfície para correção do subleito.

Embora o revestimento primário demande a subtração de material terroso (argila) e material granular (pedra) de outras localidades, consumo de água e de óleo diesel (e por isso demande um valor financeiro superior), trata-se

do método mais eficaz no combate à erosão do solo em carregadores.

REFERÊNCIAS

ANTONANGELO, A.; FENNER, P. T. Identificação dos riscos de erosão em estradas de uso florestal através do critério do fator topográfico LS. *Energia Agrícola, Botucatu*, v. 20, n.3, p.1-20. 2005.

BRASIL. Resolução CIMA nº 35 de 22 de fevereiro de 2006. Dispõe sobre a adição de álcool anidro combustível à gasolina. 2006. [acesso em 20 out 2010]. Disponível em: http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_resolucoes/resolucoes_cima/2006/rcima%2035%20-%202006.xml.

CÂMARA, G. M. S. Produção de cana-de-açúcar. CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Org), Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiróz, Piracicaba 242 p., 1993.

CEPAGRI – Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Clima dos municípios paulistas: a classificação climática de Koeppen para o Estado de São Paulo. 2012. [acesso em 23 fev 2012]. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO AGRÍCOLA DE SÃO PAULO. Programa Melhor Caminho. 2011. [acesso em 14 jul 2011]. Disponível em: http://www.codasp.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=127.

DER – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. Revestimento primário – Especificação técnica. 16p. 2006. [acesso em 2 abr 2013]. Disponível em: ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/E-T-DE-P00-013_A.pdf

EMBRAPA; SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de São Carlos. Escala 1:100.000. São Paulo, 1981.

FONTANA, C. R.; LIMA, W. P.; FERRAZ, S. F. B. Avaliação da remoção de sedimentos pela operação de nivelamento de estradas florestais. *Sci. For., Piracicaba*, n. 76, p. 103-109, dez. 2007.

FRANSEN, P. J. B.; PHILLIPS, C. J.; FAHEY, B. D. Forest road erosion in New Zealand: overview. *Earth Surf. Process. Landforms* v.26, p. 165–174, 2001.

GALETI, P. A. Práticas de controle à erosão. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Campinas, 1987.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Estradas vicinais de terra: manual técnico para conservação e recuperação. 2. ed. São Paulo. 125 p., 1988.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do Plano da Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré – Relatório Final. [S.l.], 2000.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (Org.). Manual técnico de manejo e conservação de solo e água. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral., Campinas, n. 41, 65 p., 1994a.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. (Org.). Manual técnico de manejo e conservação de solo e água. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral., Campinas, n. 42, 28 p., 1994b.

MACEDO, J. Solos dos cerrados. In: PEREIRA, V. P.; FERREIRA, M. E.;

CRUZ, M. C. P.; Solos altamente suscetíveis à erosão. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Jaboticabal, p. 69-75, 1994.

MARTINELLI, L. A.; FILOSO, S. Polluting effects of Brazil's sugar-ethanol industry. *Nature*, v. 445, p. 364-364., 2007. [acesso em 12 jun 2011]. Disponível em: www.nature.com.

ODA, S.; FERNANDES JÚNIOR, J.L.F.; SÓRIA, M.H.A. Caracterização de estradas não-pavimentadas visando a implementação de um sistema de gerência de vias. *Engenharia e Arquitetura*. São Carlos, v. 01, n. 2, p.135-145., 2001.

OLIVEIRA, F. P. DE, SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C., CURTI, N.; LEITE, F. P. Avaliação de perdas de solo em estradas florestais não pavimentadas no Vale do Rio Doce, Minas Gerais. *Sci. For.*, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 331-339, set. 2010.

PRUSKI, F. F. Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica., Viçosa: Editora UFV. 279 p., 2009.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G.; Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras, 717 p., 1999.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v.66, n.4, p. 711-720, 2007.

RIPOLI, T. C. C. RIPOLI, M. L. C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba, 333 p., 2009.

SANTOS, H.G. et al. (Ed.). Sistema brasileiro de classificação dos solos. Embrapa Solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006.

SCARPINELLA, G.D.A. Erosão em carreadores da cultura da cana-de-açúcar: estudo de caso na bacia do Ribeirão do Feijão (SP). Tese (doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 209 p., 2012.

SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA URBANA E OBRAS. Tabelas de custos. 2011. [acesso em 22 mai 2012]. Disponível em: http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/infraestrutura/tabelas_de_custos/index.php?p=35445.

SPAROVEK, G.; SCHNUG, E. Temporal Erosion-induced soil degradation and yield loss. *Soil Science Soc. Am. J.* v. 65, p. 1479-1486., 2001.

VIEGAS, R. A visão e o papel do setor governamental na produção sustentável do etanol. SMA. In: Wokshop sobre Avaliação Integrada de Sustentabilidade no contexto do etanol. Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo. São Carlos, 13-14 abr 2010.

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

A expansão da área de cultivo da cana-de-açúcar na região sul do estado de Goiás de 2001 a 2011

Expansion area of the sugar cane culture in the southern of Goiás state 2001 to 2011

RESUMO

As áreas de cultivo da cana-de-açúcar no estado de Goiás concentra-se na região Sul, principalmente nas microrregiões Sudoeste, Quirinópolis, Meia Ponte e Vale do Rio dos Bois. No processo de expansão da cana-de-açúcar destaca-se a importância das políticas públicas federais, dentre elas o Programa Nacional do Álcool - Proálcool (iniciado em 1975) e o Plano Nacional de Agroenergia - PNA (2006-11), sendo, este último, importante fator da expansão, concentrada no tempo e no espaço. Na região sul de Goiás, a área plantada passou de 362.265,21 ha em 2001, relativo ao cultivo no período do Proálcool, para 740.275,74 ha em 2011, incremento da ordem de 104%, referente ao incentivo de expansão promovido pelo PNA. Chama-se a atenção para o fato de que essa expansão se dá por substituição preferencial de áreas de grãos e secundariamente de pastagem, em solos de elevada aptidão agrícola, para cultivo altamente tecnificado.

PALAVRAS-CHAVE: *Saccharum spp*; Proálcool; PNA; nova fronteira agrícola.

ABSTRACT

The cultivation areas of sugar cane in the state of Goiás are concentrated in the south region, especially in the southwest micro-regions; Quirinópolis, Meia Ponte and Vale do Rio dos Bois. In the process of expansion of sugar cane highlight the importance of the Federal Policies, among them the National Alcohol Program - Brazilian Alcohol Program (started in 1975) and the National Agro-Energy Plan - NAP (2006-11), and this last one, an important expansion, concentrated in time and space. In the south region of Goiás, the planted area increased from 362,265.21 ha in 2001, related to the cultivation period of the Brazilian Alcohol Program, to 740,275.74 ha in 2011, an increase of approximately 104% relative to the encouragement of expansion promoted by the NAP. Called the attention to the fact that this expansion are for preferred replacing seeds areas and secondarily the pasture areas, on soils with high agricultural potential for highly technified growing.

KEYWORDS: *Saccharum spp*, National Alcohol Program - Brazilian Alcohol Program National Agro-Energy Plan - NAP, new agricultural frontier.

Maria Gonçalves da Silva Barbalho

Doutora em Ciências Ambientais, Assessora Especial da Coordenação do Agronegócio da Secretaria da Fazenda do Estado de Goiás
Goiânia, GO, Brasil
maria-gsb@sefaz.go.gov.br

Adriana Aparecida Silva

Doutora em Geografia, Prof^a. do curso de Geografia da Universidade Estadual de Goiás, Unidade Cora Coralina
Goiânia, GO, Brasil
ueg.adriana@gmail.com

Selma Simões de Castro

Prof^a. Titular do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Socioambientais. Universidade Federal de Goiás
Goiânia, GO, Brasil
selma@iesa.ufg.br

INTRODUÇÃO

No Brasil o cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) se inicia praticamente com a história colonial deste país. Tendo sido disseminada a partir de 1532 nas capitânicas de São Vicente (hoje São Paulo), Pernambuco, Paraíba do Sul (hoje norte Fluminense) e, posteriormente para os demais estados, representou já no século XVI e XVII a principal riqueza do país (Cardoso, 2006). A declaração da indústria alcooleira como de interesse nacional, no entanto, só acontece em 1942, sendo acompanhada por demandas de incentivos governamentais, que, por sua vez, surgem apenas em 1975, com a instituição do Programa Nacional do Alcool – PROÁLCOOL, como resposta do governo brasileiro à crise do petróleo de 1973 e do açúcar em 1975. Tratou-se de um programa federal de incentivo à produção de álcool para uso como combustível automotivo, que promoveu a expansão do cultivo da cana-de-açúcar na forma de monocultura, naquela época já incluindo o estado de Goiás (WWF, 2000). Por diversas razões, porém, o maior destaque ficou com os estados do Sul-Sudeste do país, sobretudo São Paulo (UNICA, 2007), que até hoje se mantém como principal líder do setor. No final da década de 1980 este programa é desativado, assim como o Instituto de Açúcar e do Alcool – IAA, o qual orientava a produção e as políticas de exportação. Os subsídios do Governo se esgotam e o setor entra em crise denominada de desregulamentação do setor (BRAY *et al.*, 2000).

Cerca de duas décadas depois, ocorre um novo impulso na expansão da produção de cana-de-açúcar, em resposta também a uma crise internacional, desta feita a ambiental, motivada pelo aumento do aquecimento global e a contribuição dos Gases de Efeito Estufa (GEE), em grande parte derivado dos combustíveis fósseis

(petróleo, carvão), e a subsequente busca por alternativas de fontes limpas e renováveis, como o etanol da cana-de-açúcar. Novamente uma política pública é proposta, o Plano Nacional de Agroenergia – PNA (BRASIL, 2006), o qual busca conduzir o processo de expansão das áreas de cultivo de forma planejada. Assim, o incremento de áreas de cultivo da cana-de-açúcar, objetivando a produção de biocombustível, sobretudo etanol, se dá paralelamente à produção de açúcar, na qual o país também se destaca segundo dados da CONAB (2011).

O PNA sugere que as áreas para expansão na produção se situem em regiões tidas como menos desenvolvidas, dentre as quais as terras do Cerrado, que haviam sido apontadas anteriormente como inaptas ao cultivo pela Planalsucar (Pasquatelo; Zito, 2000). Tal fato se justificaria pela evolução da tecnologia industrial e de produção agrícola (melhoramento genético, manejo do solo, controle de pragas, irrigação etc.) permitindo a transformação de solos antes inaptos em aptos. Foi decisivo o fato das terras apresentarem posição geográfica privilegiada, o que facilita a distribuição da produção, a aptidão climática e pedológica favorável (MANZATTO, 2009), além, da disponibilidade de áreas antropizadas, ou seja, áreas com pastagem degradada, sendo estas da ordem de 50 milhões de hectares (Brasil, 2006).

No entanto, a realidade encontrada vem se revelando contrária a esta prioridade de expansão em áreas com pastagem degradada. Estudos recentes têm mostrado que as áreas de expansão estariam ligadas principalmente ao eixo já tradicional de agricultura, resultante da Modernização Agrícola associada à última Fronteira Agrícola, a do Cerrado, com maior expressividade na década de 1970, substituindo inicialmente áreas agrícolas que detêm boa qualidade

do solo e elevada aptidão a cultivos altamente tecnificados, como é o caso da cana-de-açúcar (ABDALA; CASTRO, 2010; CASTRO *et al.*, 2010; SILVA; MIZIARA, 2011; BORGES, 2011).

No estado de Goiás a história de produção da cana-de-açúcar apresenta registros de cultivo já em 1935, com cerca de 1400 engenhos e uma produção de 166 mil toneladas no ano de 1940, segundo dados do Censo Agropecuário (Santos, 1987), sendo destinada principalmente à produção de açúcar, rapadura e cachaça. Valores de produção que se mantiveram até o final da década de 1980, quando houve um incremento, chegando a mais de 5 milhões de toneladas em 1988. Após esse período, ocorreu queda e novo aumento que sobreveio em 1996, sendo superior a 6 milhões de toneladas, segundo dados da Conab (2011). Essas oscilações relacionam-se principalmente às fases de implantação e declínio do Proálcool, bem como em parte às políticas do próprio setor sucroalcooleiro nacional. É importante ressaltar que desde o PNA esse patamar vem apresentando crescimento exponencial, alcançando cerca de 48 milhões de toneladas na safra 2010/2011. Na atualidade, a cana-de-açúcar já se posiciona como um importante produto em termos de produtividade no estado (IBGE, 2011).

Segundo Silva e Miziara (2011), essa expansão em Goiás teria ocorrido em dois distintos momentos. Um primeiro, de menor envergadura, iniciado a partir das áreas historicamente ocupadas por culturas de grãos, posicionada no eixo sul-norte, ainda muito associado ao Proálcool, que abrange as mesorregiões centro e parte do sul goiano. No segundo momento, mais recente e mais intenso, ocorre especificamente na mesorregião sul, o qual reproduz o itinerário de Expansão de Fronteiras Agrícolas dos anos de 1980, quando da inserção da *commodity* soja.

Segundo os autores, ao se observar a distribuição das usinas em operação, fica ainda mais evidente a expansão diferenciada entre as mesorregiões do Estado (tabela 1), onde, das trinta e uma usinas registradas até o ano de 2010 junto ao MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), vinte e duas se localizam na mesorregião sul do Estado. O registro destas usinas é posterior a 2002 e se intensifica a partir de 2006.

A área de cultivo da cana-de-açúcar não pode estar muito distante da usina, por uma questão de logística, já que a cana não pode ser estocada, sendo que o tempo máximo é de 72 horas entre o corte até a moagem (ou processo substitutivo) na indústria, a fim de evitar perdas de qualidade e volume de sacarose útil por ação de bactérias e fermentação (UNICAMP/UNICA, 2005). Nesse sentido, constata-se que na região sul as distâncias, embora grandes, são de rápido deslocamento devido à suavidade do relevo e a existência de grandes eixos de rede viária, os quais foram criados, em grande parte, pela dinâmica de consolidação da fronteira agrícola relacionada à Modernização da Agricultura (KAGEYAMA, 1990; CASTRO *et al.*, 2007; MIZIARA, 2009), que teve na soja seu principal produto, além da carne bovina. Vários autores apontam que a expansão da cana-de-açúcar não ocorre apenas nas áreas ocupadas com pastagem, tidas como degradadas, apontadas como alvo

Tabela 1 - Distribuição de usinas em por ano de registro e localização em mesorregião

Ano de Registro	Número de usinas por mesorregião	Total
2002	Centro (2)	2
2005	Sul (1)	1
2006	Sul (5) Centro (4)	9
2007	Sul (3) Centro (1) Leste (1)	5
2008	Sul (8) Centro (1) Norte (1)	10
2009	Sul (4)	4
2010	Sul (1)	1
Total		32

Silva; Miziara (2011)

do PNA, mas também nas áreas com culturas, sobretudo de grãos, revelando uma competição entre pastagem/cana-de-açúcar; cultura de grãos/cana-de-açúcar. Foi constatada ainda a substituição entre pastagem/cultura de grãos (NASSAR *et al.*, 2008; CASTRO *et al.*, 2007; 2010; ABDALA; CASTRO, 2010; SILVA; MIZIARA, 2011, SILVA; CASTRO, 2011).

É preciso considerar, no entanto, que os dados apresentados pelo IBGE/SEPIN mostram que os principais produtos cultivados na região Sul de Goiás ainda são a soja e o milho, com a cana-de-açúcar representando um incremento importante nesse quadro. Assim, ao analisar os dados relativos às áreas de produção, observa-se que a soja ainda predomina ao longo de todo o período (2001 – 2010), ocorrendo inclusive um aumento considerável na produção durante o período de 2003 a 2005, seguido de queda em função do ataque da ferrugem asiática e crise nas exportações, mas com retomada de crescimento a partir de 2009. Já a produção de

milho iniciou uma queda na área de produção em 2002 que se intensifica em 2005, voltando a crescer em 2006, se estabilizando a partir deste período. A área de produção de cana-de-açúcar, por sua vez, apresenta crescimento desde 2001, com incremento de cerca de 10% na área plantada entre os anos de 2001 e 2005, a partir daí incremento da ordem de 20% entre 2006 e 2007, com impulso em 2008 relativo a 78% de crescimento, seguido de crescimento de 45 % em 2009 e de 15% em 2010 (figura 1).

Quanto à distribuição geográfica das áreas de plantio de cana-de-açúcar, verifica-se que de 2001 a 2006, ela ocorreu preferencialmente nas microrregiões Sudoeste de Goiás, Vale do Rio dos Bois e Meia Ponte, sendo que esta última já em 2004 inicia um processo crescente de aumento de área plantada ultrapassando a microrregião de maior produção até então, a Sudoeste (ABDALA; CASTRO, 2010). A partir de 2006, além destas microrregiões, outra ganha

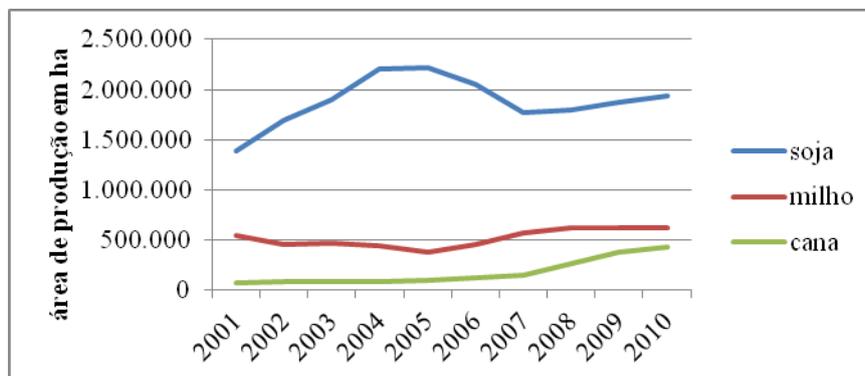


Figura 1 - Gráfico da área de produção de soja, milho e cana entre os anos de 2001 a 2010 na região Sul de Goiás. IBGE/SEPIN (2011)

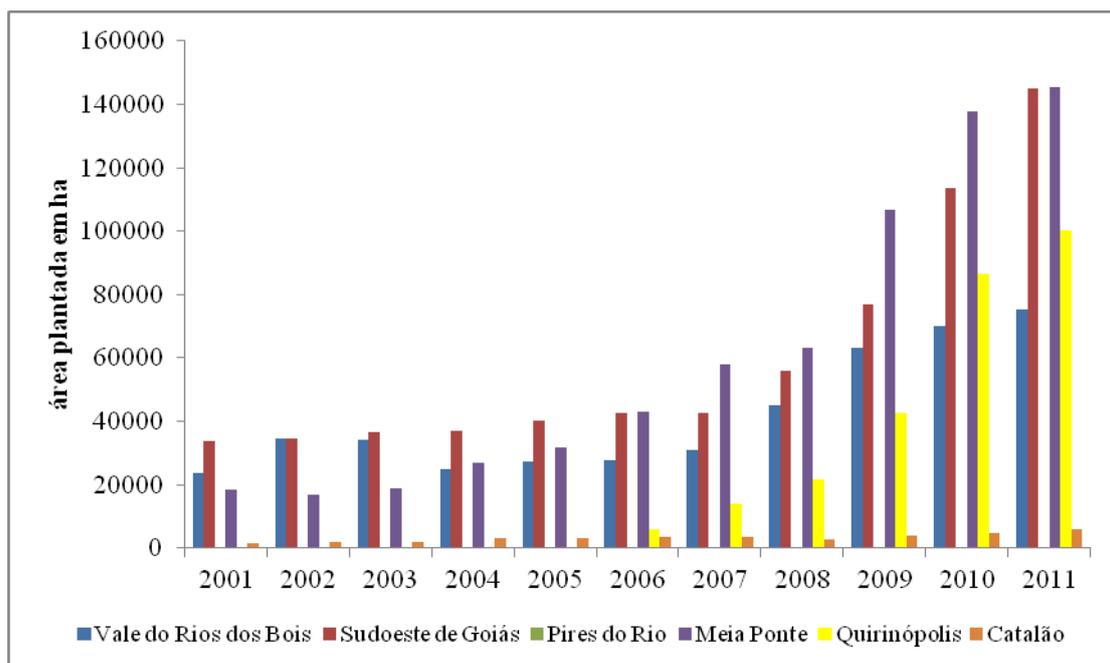


Figura 2 - Gráfico da área plantada com cana-de-açúcar por microrregião pertencente à mesorregião sul de Goiás. IPEA (2001 a 2007); Canasat (2008 a 2011).

destaque, se refere à microrregião de Quirinópolis, a qual chega em 2010 entre as três microrregiões com maior área de produção do estado (SILVA; CASTRO, 2011; CASTRO *et al.*, 2010; BORGES, 2011) (figura 2).

Segundo o Canasat (2011), os cinco municípios de destaque em termos de área de produção no ano de 2011 foram: em primeiro lugar o município de Quirinópolis (43.502 ha), sede da microrregião homônima, em segundo lugar Santa Helena de Goiás (36.674 ha), pertencente à microrregião Sudoeste, em terceiro lugar Itumbiara (34.208 ha), em quarto lugar Goiatuba (33.039 ha), pertencentes à microrregião Meia Ponte e em quinto lugar Mineiros (23.569 ha), pertencente à microrregião Sudoeste. Somando-se as áreas de produção dos municípios de Quirinópolis, Santa Helena e Mineiros, a mesorregião Sudoeste desponta como a principal produtora do estado.

Tais dados reforçam a ideia de que a região sul de Goiás representa um *hot spot* da cana

(BORGES, 2011). A partir daí algumas questões são colocadas: como se deu a espacialização histórica dessas áreas de cultivo, quais os usos convertidos e quais os fatores que subsidiaram essa substituição. Nesse sentido, este artigo se propõe a apresentar e discutir a dinâmica da espacialização da expansão da cultura da cana-de-açúcar da região sul do estado de Goiás. Para tanto, utiliza-se de uma análise multitemporal da sucessão de usos da terra, com base em geotecnologias, como imagens de satélite e SIG - Sistemas de Informação Geográfica, referentes aos anos de 2001, 2008 e 2011, considerados representativos das mudanças associadas à influência residual do Proálcool (2001) e do novo processo de expansão proposto pelo PNA (2008 e 2011), à luz da proposta de substituição de pastagens degradadas do PNA. Este estudo se propõe ainda a fornecer dados para compreender a relação entre as áreas de cana-de-açúcar mapeadas e os tipos e características dos solos nos quais esta cultura vem se concentrando.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A região sul do Estado de Goiás, ou mesorregião sul, abrange uma área de 131.579 km², e está subdividida nas microrregiões: Catalão, Meia Ponte, Pires do Rio, Quirinópolis, Sudoeste de Goiás e Vale do Rio dos Bois, as quais são compostas por oitenta e dois municípios. Historicamente esta região passou por intensos processos de uso e ocupação, tendo sido o território alvo do processo de expansão da Fronteira Agrícola em Goiás na década de 1970. A escolha desta área de estudo se deve à sua importância em termos de produção da cana-de-açúcar em Goiás, representando em 2010 cerca de 80% da área de produção do estado (tabela 2).

A análise da tabela 2 ainda permite constatar que duas mesorregiões, a Sul e o Centro Goiano, se destacaram no estado nos anos considerados, tanto em termos de área plantada como de

Tabela 2 - Produção da cana-de-açúcar (tonelada/ano) por mesorregião de Goiás

Mesorregião	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Noroeste Goiano	10.505	8.140	9.260	9.620	9.792	10.860	11.360	13.600	12.120	17.402
Norte Goiano	43.365	30.750	29.855	27.462	28.060	30.019	30.019	141.020	209.914	206.719
Centro Goiano	3.338.217	3.914.287	5.166.807	6.022.485	6.950.714	6.934.763	8.832.519	9.615.029	9.343.938	8.606.199
Leste Goiano	426.045	418.938	421.138	463.390	484.960	1.611.950	1.115.550	1.376.128	1.806.068	2.031.588
Sul Goiano	6.435.365	7.302.025	7.280.532	7.478.122	8.168.599	10.461.958	12.398.399	21.966.432	32.294.545	37.138.255
Total	10.253.497	11.674.140	12.907.592	14.001.079	15.642.125	19.049.550	22.387.847	33.112.209	43.666.585	48.000.163

IPEA data (2011)

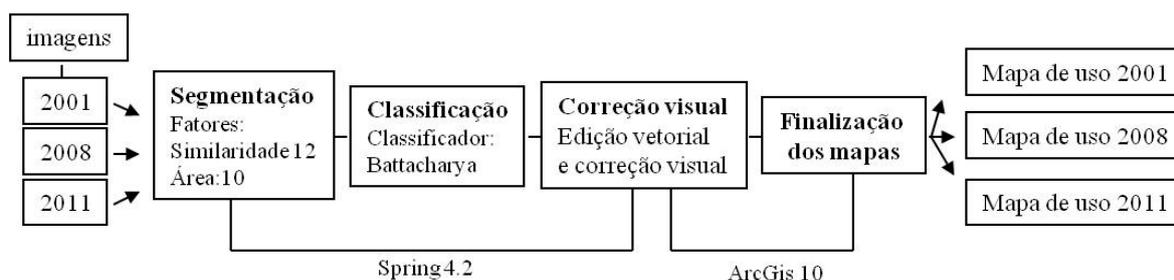


Figura 3 - Sequencia de procedimentos utilizados para a elaboração dos mapas de uso da terra indicando os métodos e ferramentas utilizadas em cada etapa.

produção, e juntas respondem por mais de 95% do total da produção do estado.

Em relação aos tipos de solos presentes na região sul do estado de Goiás, observa-se a presença de Latossolo, Cambissolo, Argissolo, Nitossolo, Neossolo Quartzarênico, Neossolo Litólico, Plintossolo e Gleissolo, os quais apresentam fertilidade natural variável de baixa à alta, dependendo do tipo de relevo predominante e da rocha de origem. Tais solos são aptos à cultura de cana-de-açúcar, ainda que varie o grau de aptidão, sendo os Latossolos e os Argissolos considerados como de maior aptidão natural. Dominam na região os Latossolos Vermelhos distroféricos e os Latossolos Vermelho distróficos que, apesar da baixa fertilidade natural, se encontram em relevos de baixa declividade. Tais solos apresentam grande espessura e estabilidade e, por isso, são altamente favoráveis à agricultura mecanizada, ainda que sujeitos à compactação quando mal manejados (MACEDO *et al.*, 2005; PRADO, 2011).

METODOLOGIA

Foi realizada análise multitemporal das imagens do satélite Landsat TM5, nas bandas 345/RGB, com resolução espacial de 30 metros, relativa aos anos de 2001, 2008 e 2011. Estas datas foram estabelecidas em virtude da busca de informações da espacialização da cana-de-açúcar como resultado do Proálcool, com resíduos no ano de 2001 e da nova expansão em decorrência do PNA com um primeiro grande reflexo em 2008, início do processo de expansão e em 2011 com a consolidação deste processo (CASTRO *et al.*, 2007; 2010; SILVA; MIZIARA, 2011). Tais imagens foram adquiridas gratuitamente através do site INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, e manipuladas nos programas Spring 4.2 e ArcGis 10. Foram realizados cruzamentos das áreas de cana-de-açúcar no ano de 2011 com o mapa de solos compilado do RADAMBRASIL (NOVAES *et al.*, 1983), disponibilizado pelo site do SIEG/GO

na escala 1:250.000 e do mapa de erodibilidade de solos elaborado por Rodrigues (2011), na escala 1:250.000. Nesta etapa foi utilizado o programa ArcGis 10, através da ferramenta *Intersect*, a qual possibilita extrair do produto 1 (solos e erodibilidade de solos) apenas as áreas de intersecção com o produto 2 (polígonos de cana-de-açúcar) (figura 3).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados relativos à dinâmica da espacialização da expansão da cultura da cana-de-açúcar na região sul do estado de Goiás serão discutidos a partir da dinâmica de uso da terra através da espacialização dos usos nos anos de 2001, 2008 e 2011. Complementam análises relativas à espacialização da cana-de-açúcar em 2011 em relação aos tipos de solo e às áreas de erodibilidade dos solos.

- Uso da terra em 2001.

O mapeamento da cobertura e uso da terra da região sul do estado de Goiás referente ao

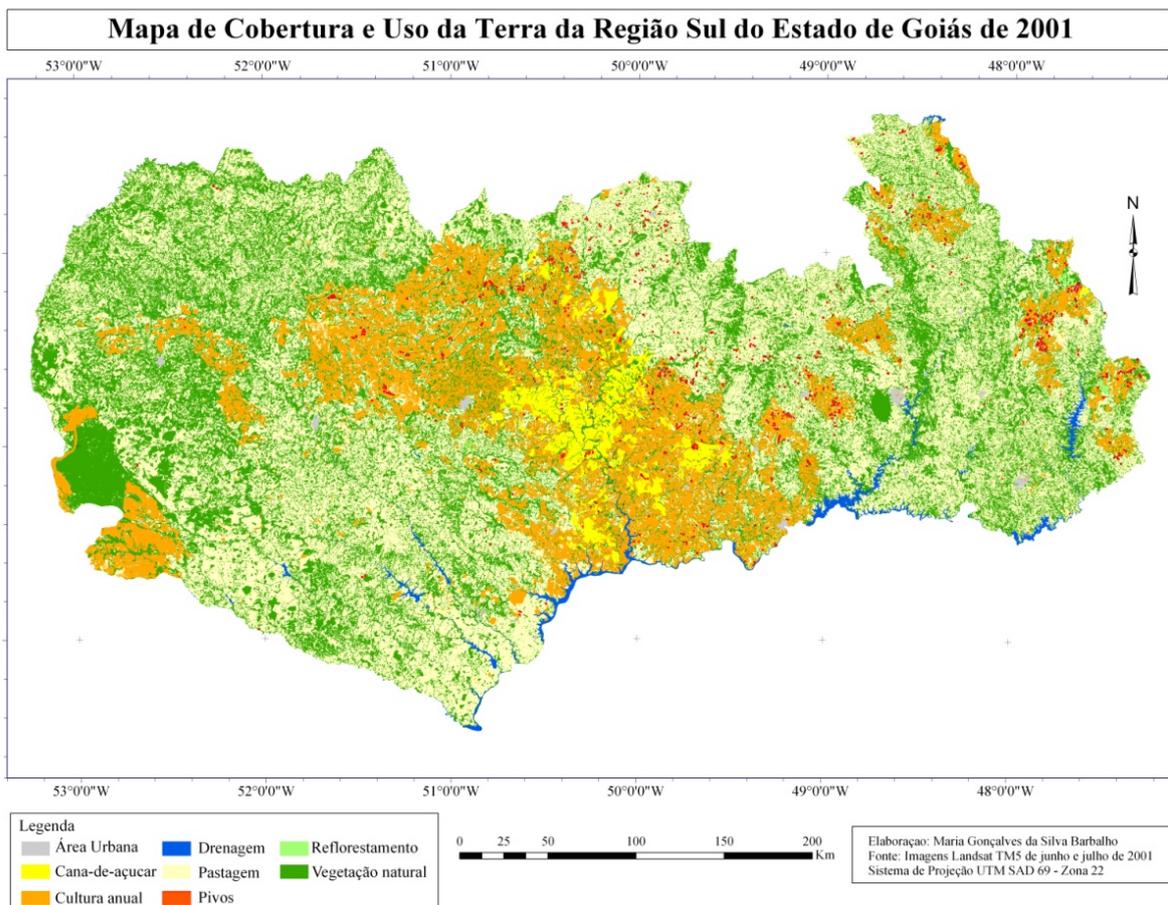


Figura 4 - Mapa de cobertura e uso da terra da região sul de Goiás em 2001

ano de 2001 (figura 4) permite observar as áreas com cana-de-açúcar anteriores à nova expansão induzida pelo PNA, sendo, portanto, possíveis resultados ainda do Proálcool. De um modo geral constata-se 5.904.915,57 ha de pastagem (cultivadas ou naturais apresentadas de forma unificada no mapa), representando 44,97% da área total. Seguem-se as áreas de vegetação natural, com

4.523.893,52 ha ou 34,45% do total e as áreas com cultura anual de 2.073.675,33 ha ou 15,79%. A cana-de-açúcar, neste momento, representava 362.265,21 ha ou 2,76% (tabela 3) demonstrando que já estava presente nesta região, porem ainda pouco representativa em termos de área, e com uma distribuição mais centralizada (eixo norte/sul), com maior área nos municípios de Santa Helena,

Maurilândia, Turvelândia, Porteirão e Edéia.

Dentre estes, o município de Santa Helena apresenta referência histórica no estado em termos de produção de cana-de-açúcar, por ter iniciado sua produção na década de 1950, sendo inserida no Proálcool. Os demais municípios com maior área de produção, estando limítrofes à Santa Helena, reforçam a ideia de

Tabela 3 - Áreas de cobertura e uso da terra da região sul de Goiás de 2001

Classes de uso	Área	
	(ha)	(%)
Cana-de-açúcar	362.265,21	2,76
Cultura anual	2.073.675,33	15,79
Pivô	77.264,28	0,59
Pastagem	5.904.915,57	44,97
Vegetação	4.523.893,52	34,45
Drenagem	153.274,79	1,17
Área urbana	34.819,11	0,27
Total	13.130.179,81	100,00

Interpretação de imagem Landsat TM5, junho/julho de 2001.

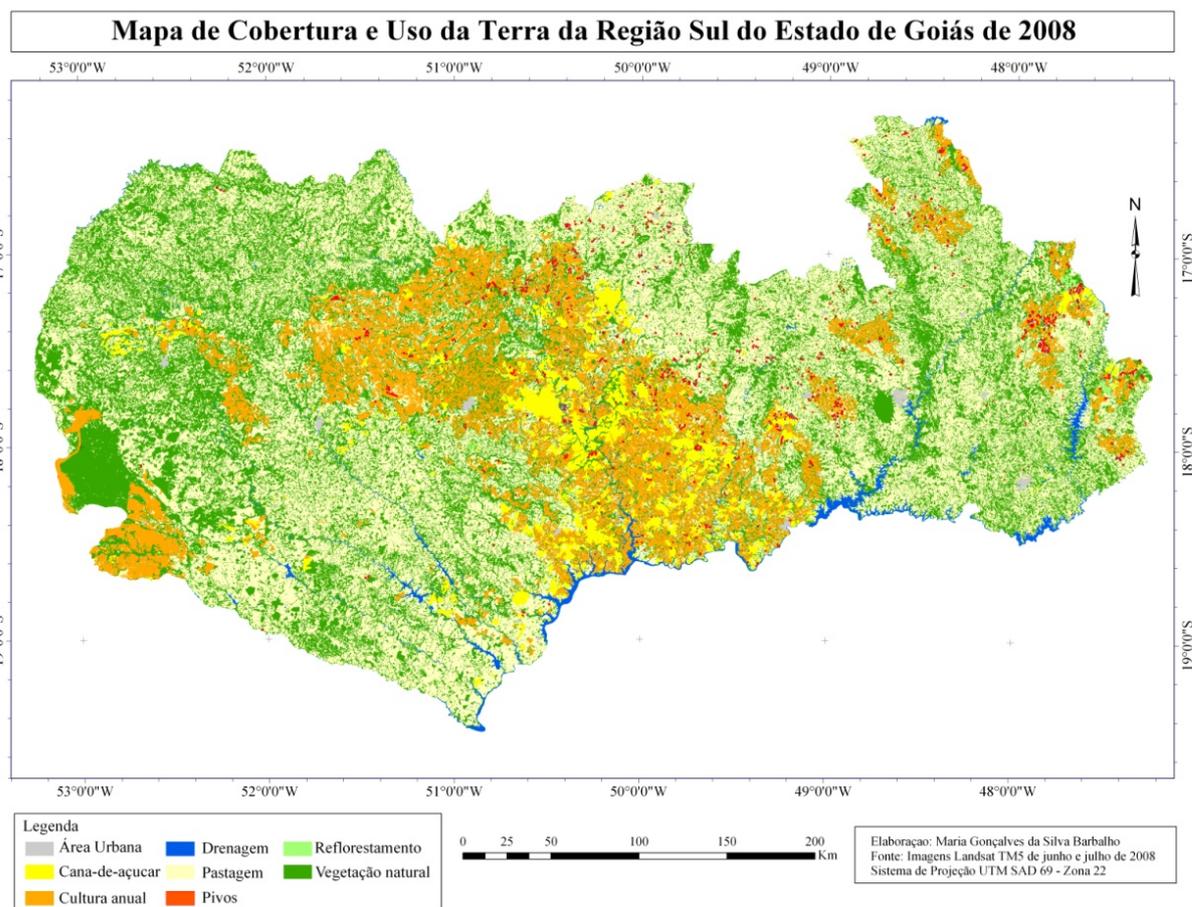


Figura 5 - Mapa de cobertura e uso da terra da região sul de Goiás em 2008.

produção decorrente dos incentivos do Proálcool nesta região.

- Uso da terra em 2008.

No mapa de uso da terra de 2008 (figura 5), o principal uso ainda é a pastagem com 44,78% da área total, seguida da vegetação natural com 34,44% e das áreas de cultura anual 14,59%. A cana-de-açúcar, neste momento, já apresenta uma expansão considerável, se comparada a 2001, com 545.689,57 ha ou 4,16%, revelando um incremento da ordem de 65% (tabela 4). Tal processo coincide com o período de implementação do PNA, cuja expansão, que pode ser observada também em relação ao número de usinas, dezessete já registradas e em operação nesse momento.

Importante observar que diferentemente de 2001, quando as áreas de produção de cana-de-açúcar se limitavam a um eixo mais

centralizado (norte/sul), neste momento temos uma expansão que descentraliza as áreas de cultivo de cana, as quais se encontram em vários municípios do estado em uma distribuição que vai desde o extremo leste a, principalmente, o oeste do estado. Diversos municípios antes produtores de grãos e pecuária, sem tradição no cultivo da cana-de-açúcar, agora são inseridos dentre as áreas de expansão.

Se considerarmos a proposta do PNA de expansão de cana-de-açúcar através da inserção de áreas com pastagem degradada, temos que neste período houve uma redução das áreas de pastagem de cerca de 0,19%, em detrimento a uma redução de 1,2% das áreas de cultura anual. Dados que revelam que a expansão ocorre de fato em áreas de cultura anual, evidenciando a competição entre culturas de

Tabela 4 - Áreas de cobertura e uso da terra da região sul de Goiás de 2008

Classes de uso	Área	
	(ha)	(%)
Cana-de-açúcar	545.689,57	4,16
Cultura anual	1.915.071,07	14,59
Pivô	79.682,96	0,61
Pastagem	5.879.601,48	44,78
Vegetação natural	4.522.034,96	34,44
Drenagem	153.283,24	1,17
Área urbana	34.816,53	0,27
Total	13.130.179,81	100,00

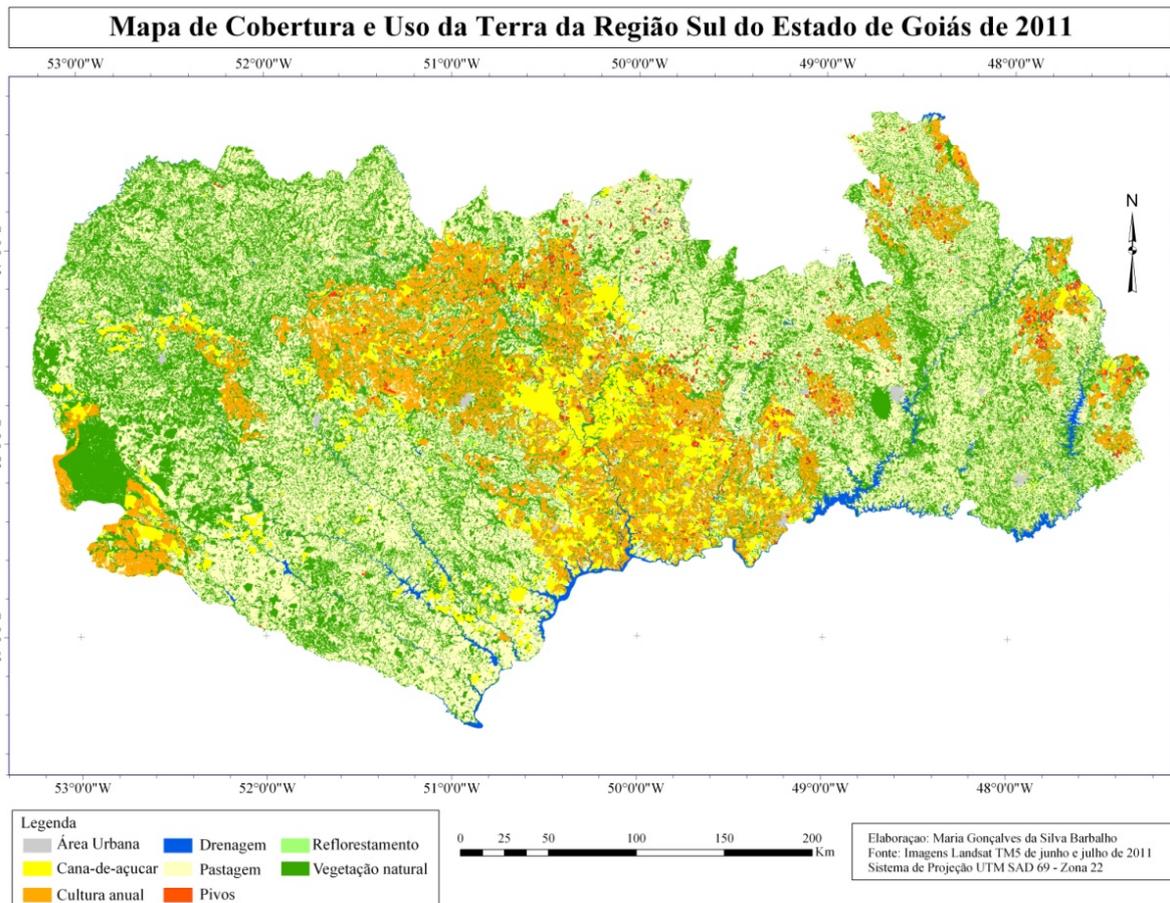


Figura 6 - Mapa de cobertura e uso da terra da região sul de Goiás em 2011

grãos e cana-de-açúcar, contrariando o proposto pelo Governo Federal.

- Uso da terra em 2011.

O uso da terra de 2011 apresenta um novo incremento para as áreas de cana-de-açúcar, que também se relaciona no tempo ao PNA. A figura 6 mostra que o principal uso da terra na região sul é ainda a pastagem com 5.875.230,31 ha, o que representa 44,75% da área total, mostrando uma pequena redução em relação aos anos anteriores (2001 e 2008). O segundo tipo de uso em área é a vegetação natural, com 4.520.369,14 ha ou cerca de 30%, seguido da cultura anual com área de 1.725.521,78 ha ou 13,14%, com nova redução em relação a 2008. Já as áreas de cana-de-açúcar, com área de 740.275 ha ou 5,64%, apresentam novo aumento, revelando que, apesar de pouca representativa se comparada

em termos de área com a pastagem e a cultura anual, se encontram em crescimento contínuo, sendo que de 2008 para 2010 este foi da ordem de 35% (tabela 5). Dados que reforçam a tendência observada para o ano de 2008, onde a expansão ocorre preferencialmente em áreas de cultura anual, que apresentam nova redução de cerca 1,45%.

Sintetizando a dinâmica de

expansão observada para o período, tem-se uma diminuição clara das áreas de culturas anuais, incluindo áreas com cultura irrigada (pivôs) de 16,38% para 13,75% e de pastagem de 44,97% para 44,75%, enquanto a área de vegetação natural praticamente se mantém, com redução de apenas 0,02%, o que faz supor que não ocorreram desmatamentos significativos.

Tabela 5 - Áreas de cobertura e uso da terra da região sul de Goiás de 2011

Classes de uso	Área	
	(ha)	(%)
Cana-de-açúcar	740.275,74	5,64
Cultura anual	1.725.521,78	13,14
Pivô	79.795,80	0,61
Pastagem	5.875.230,31	44,75
Vegetação natural	4.520.369,14	34,43
Drenagem	153.969,03	1,17
Área urbana	35.018,01	0,27
Total	13.130.179,81	100,00

Interpretação de imagem Landsat TM5, junho/julho de 2011.

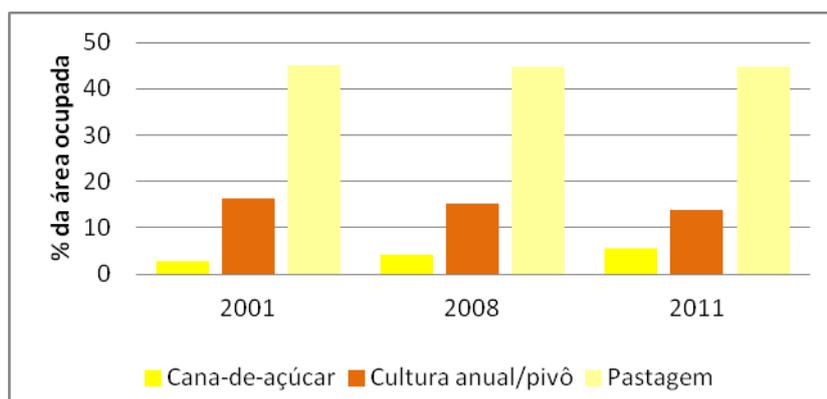


Figura 7 - Gráfico do percentual das áreas de ocupação de cana, cultura anual/pivô e pastagem entre 2001 e 2011

Nesse mesmo período a área com cana-de-açúcar dobra, passando de 2,76% para 5,64% do total da região sul (figura 7).

Ao se considerar a substituição de culturas por microrregiões, observa-se que grande parte apresenta substituição de áreas com cultura anual por cana-de-açúcar, ocorrendo, em menor escala a substituição de áreas com pastagem por cana-de-açúcar, principalmente nas microrregiões de Quirinópolis e Vale do Rio dos Bois. Observa-se, portanto, que a substituição de áreas com pastagem por cana-de-açúcar, apontada como preferencial pelo PNA, não se aplica a todo o estado de Goiás, tendo sido mais comum no norte do estado (SILVA; MIZIARA, 2011). Um fato significativo, no entanto, é a concentração das áreas de cultivo de cana-de-açúcar no centro-sul da região Sul Goiano, onde justamente as culturas anuais ainda se encontram maciçamente, dominando as paisagens agrícolas.

Tal processo se deve, possivelmente, ao fato de se

encontrar nas terras utilizadas para culturas anual a facilidade das terras já preparadas e adaptadas para culturas exigentes como a de grãos, sobretudo a soja em rotação com o milho, as quais apresentam menor custo no preparo do solos. Fato aliando ainda à infraestrutura já consolidada pela Fronteira Agrícola anterior e a não observância em relação às áreas de expansão que deveriam ser de pastagem degradada, segundo o PNA, fato associado à ideia de que o cultivo de gramíneas como a cana-de-açúcar contribui para a recuperação do solo, uma vez que adiciona matéria orgânica, fertilizantes e corretivos (MACEDO, *et al.*, 2005).

- Expansão da cana por tipo de solos

O cruzamento entre o mapa de solos com as áreas ocupadas pela cana-de-açúcar no ano de 2011 revela que cerca de 80% da cana-de-açúcar é produzida nos Latossolos, sendo que destes 78,47% ou 580.900,41 ha são relativos aos Latossolos Vermelho e 1,70% ou 12.601,53 ha aos Latossolos

Vermelho-Amarelo. Outro tipo de solo representativo para este cultivo são os Gleissolos com área de 61.766,19 ha ou 8,34%, seguido dos Cambissolos com área de 30.914,91 ha ou 4,18%, os Argissolos Vermelho-Amarelo com 28.063,53 ha ou 3,79%, além dos Neossolos Quartzarênicos relativos a 23.469,39 ha ou 3,17% (tabela 6). A visualização da sobreposição dos mapas de solo com as áreas de cultivo de cana-de-açúcar é apresentada na figura 8.

O cultivo da cana-de-açúcar sobre os diversos tipos de solo evidencia a capacidade de adaptação deste cultivo, o que ocorre em virtude da grande gama de variedades da cana planta (ou cultivares). É sabido, no entanto, que no Sul-Sudeste do país, particularmente no estado de São Paulo, existe uma preferência pelo Latossolo Vermelho, onde o Zoneamento Agroecológico da Cana (MANZATTO *et al.*, 2009) já revela alta aptidão para esses solos, preferência que também se aplica para as áreas da região sul de Goiás.

Tabela 6 - Dados do cruzamento entre solos e polígonos da cana de 2011

Tipo de Solo	Área em ha	%
Latossolos Vermelho	580.900,41	78,47
Latossolos Vermelho-Amarelo	12.601,53	1,70
Gleissolos Háplicos	61.766,19	8,34
Cambissolos Háplicos	30.914,91	4,18
Neossolos Quartzarênicos	23.469,39	3,17
Argissolos Vermelhos	2.559,78	0,35
Argissolos Vermelho-Amarelo	28.063,53	3,79
Total	740.275,74	100

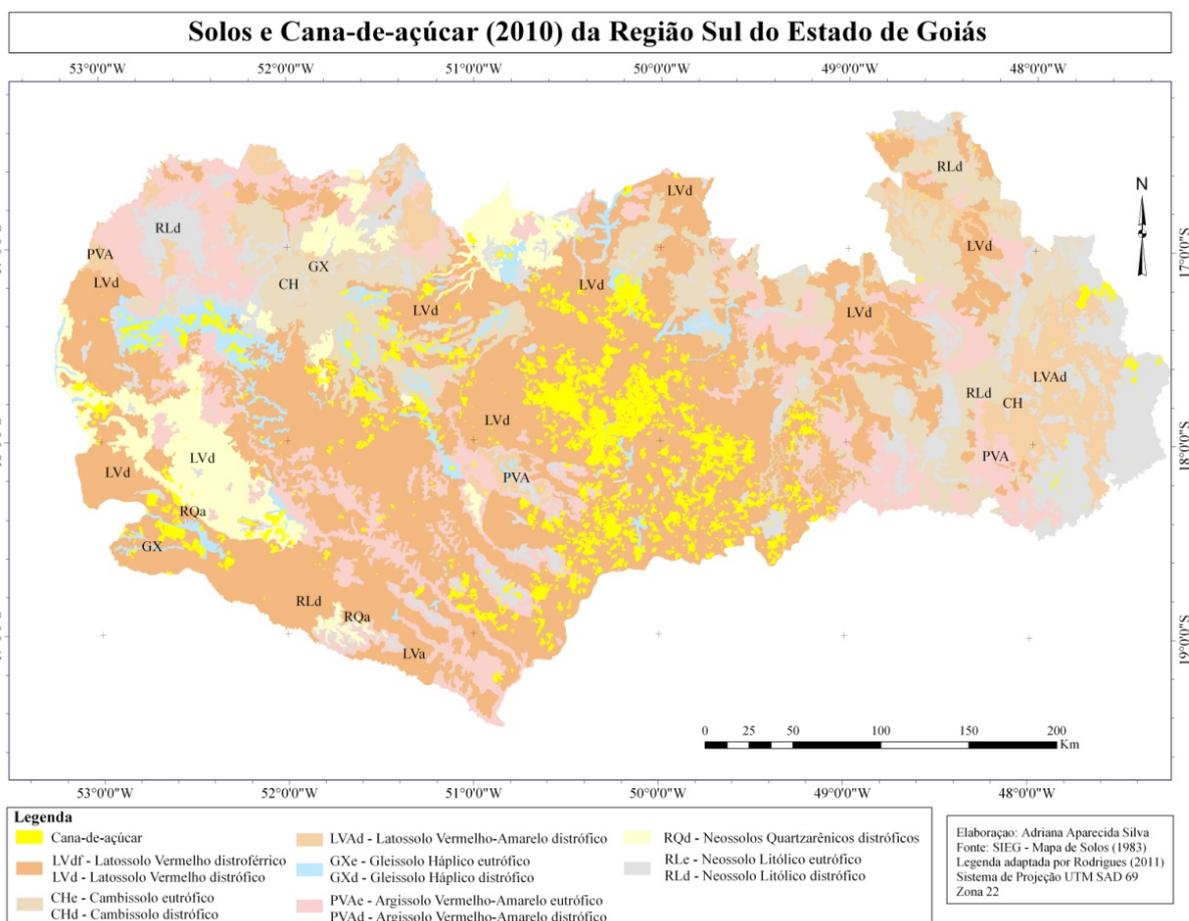


Figura 8 - Mapa de solos e polígonos da cana-de-açúcar região sul de Goiás

Tais solos apresentam elevada aptidão para o cultivo da cana-de-açúcar, devido sua elevada espessura, homogeneidade, alto teor de argila, boa estrutura, alta porosidade e boa disponibilidade de umidade, características responsáveis pela alta aptidão. Além disso, tais solo ocupam preferencialmente relevos aplainados de baixos declives, o que lhe confere fácil mecanização (PRADO, 2011).

O fato desses solos estarem

ocupados com culturas anuais antes chegada da cana não foi empecilho, ao contrário, demonstravam condições de uso imediato, o que certamente foi decisivo, pois barateava os custos iniciais do processo de expansão para os investidores, como dito anteriormente. Bastava os usineiros entrarem em acordo com os produtores locais e/ou donos das terras, propondo diferentes formas de concessão (venda, arrendamento ou contrato de fornecimento das

terras).

- Expansão da cana por classes de erodibilidade dos solos

O cruzamento entre o mapa de erodibilidade dos solos e as áreas com cana-de-açúcar relativas ao ano de 2011 (tabela 7) revela que cerca de 90% da cana é produzida na área classificada como de baixa erodibilidade, ou seja, foram selecionadas áreas que facilitariam o processo produtivo (baixas declividades) e com reduzido potencial de instalação de impactos

Tabela 7 - Dados do cruzamento entre classes de erodibilidade dos solos e polígonos da cana-de-açúcar de 2011

Classes de Erodibilidade	Área em ha	%	Cana	%
Muito Alta	3.261.065,76	24,83	35.964,81	4,85
Alta	1.449.234,87	11,03	3.109,95	0,42
Moderada	589.352,07	4,48	10.025,10	1,35
Baixa	7.408.388,76	56,42	663188,22	89,58
Nula	422.138,35	3,2	27.987,66	3,78
Total	13.130.179,81	100	740.275,74	100

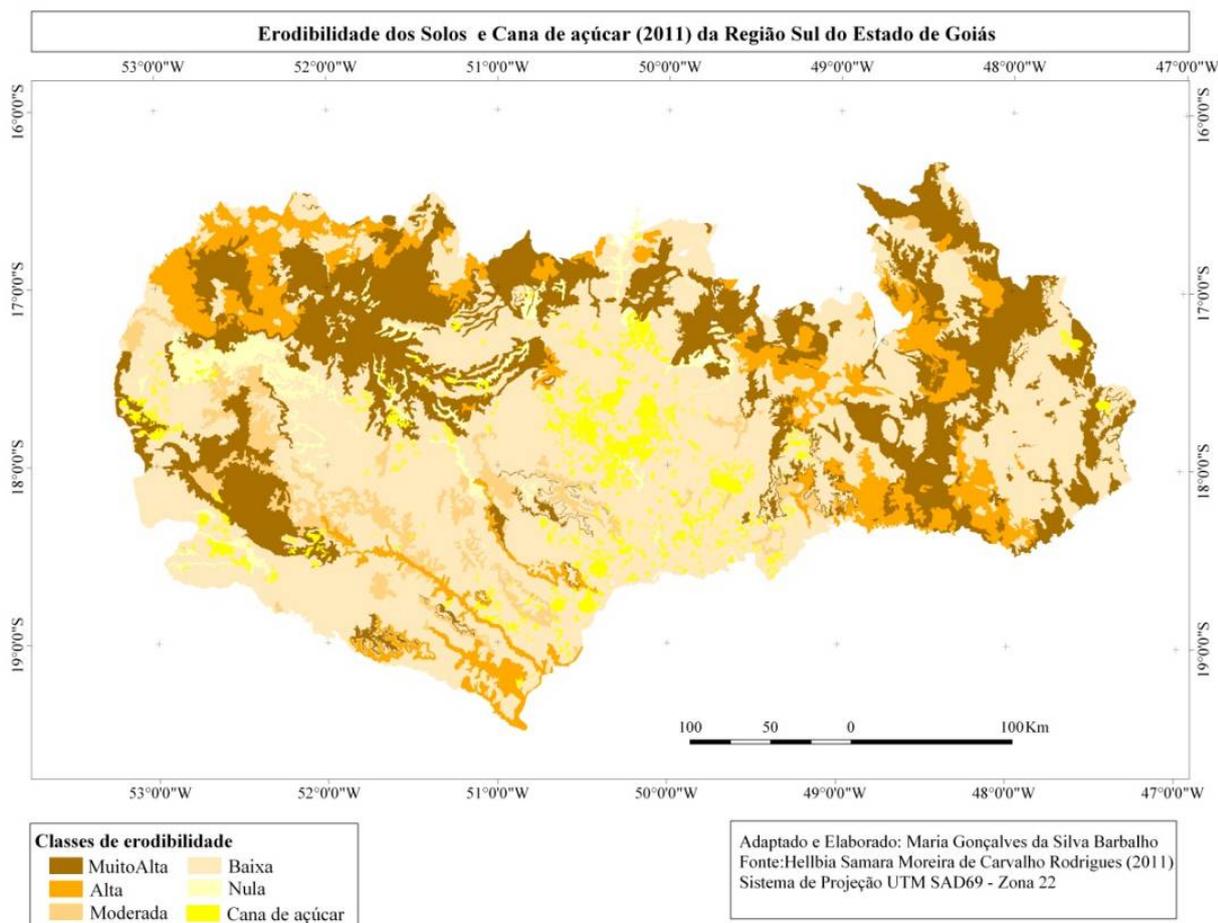


Figura 9 - Mapa de erodibilidade dos solos e polígonos da cana-de-açúcar na região sul de Goiás

como a erosão dos solos, um dos principais fatores no processo de perda de fertilidade. Na figura 9 é apresentada a sobreposição dos mapas de erodibilidade dos solos com as áreas de cultivo da cana-de-açúcar.

Importante destacar que existe cana-de-açúcar sendo plantada em áreas de muito alta erodibilidade dos solos, as quais se referem a 4,85% do total e se encontram associadas aos Neossolos Quartzarênicos e algumas áreas de Cambissolos.

CONCLUSÕES

Diante da expressiva expansão em termos de área plantada entre os anos analisados, é possível afirmar que as áreas já

ocupadas em 2001 pela cana-de-açúcar de fato se referem à produção incorporada pela fronteira agrícola na década de 1970, a qual contou com apoio do Proálcool. Já as culturas mapeadas em 2008 e 2011, onde ocorre um incremento bastante representativo em termos espaciais e temporais, estas são relativas ao novo processo de expansão proposto pelo PNA. Foi observado, nesse segundo momento de expansão de áreas de cana-de-açúcar, um processo de instalação das usinas quase simultâneo aos primeiros plantios, o que revela um planejamento estratégico de ocupação.

Tal ocupação imprime, inicialmente, um processo de substituição de culturas relativo à substituição de culturas de grãos/cana-de-açúcar, o que nega a proposta do

PNA e o discurso oficial do próprio setor, onde a cana-de-açúcar se expandiria nas áreas ocupadas por pastagens degradadas, promovendo a recuperação destes solos. Há evidências de competição entre áreas de pastagem por cana-de-açúcar, embora em menor escala, sendo possível observar ainda que as áreas de pastagem parece ceder lugar também aos grãos à medida que a cana-de-açúcar se expande. Fato que se refere a um impacto indireto da expansão da cana-de-açúcar, materializando o aventado por Abdala; Castro (2010) e Castro *et al.* (2010).

Os solos mostraram-se como um importante fator da expansão, principalmente na sua fase inicial, tendo sido ocupados os solos considerados mais aptos ao cultivo (Latosolos Vermelho), em

áreas com menor potencial erosivo, onde o custo de produção seria menor. Mesmo considerando que a cultura da cana-de-açúcar apresenta bom potencial de adaptabilidade a solos com menor aptidão, como os Cambissolos e os Gleissolos, esses foram convertidos apenas em um segundo momento da expansão, sobretudo quando da substituição ocorrida em áreas de pastagens. Entretanto, não há evidências de que tenham sido pastagens necessariamente degradadas.

Temos que o processo contemporâneo de expansão da cana-de-açúcar ocorre de forma intensivamente no tempo e no espaço na região sul do Goiás, se referindo inicialmente de fato às áreas relacionadas ao eixo tradicional de agricultura, resultantes da Expansão de áreas da Fronteira Agrícolas no Cerrado. Tais dados revelam que a cana-de-açúcar se expande em áreas de culturas de grãos, promovendo um novo cenário para as Fronteiras Agrícolas em Goiás.

REFERÊNCIAS

- ABDALA, K.; CASTRO, S. S. de. Dinâmica do uso do solo da expansão sucroalcooleira na Microrregião Meia Ponte, estado de Goiás, Brasil. In: Seminário Latino-Americano de Geografia Física, 6. Anais. Disponível em: [HTTP://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/klaus](http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/klaus). Acesso em 2 jul. 2010.
- BRAY, S. C.; FERREIRA, E. R.; RUAS, D. G. G. As políticas da agroindústria canavieira e o PROÁLCOOL no Brasil. Marília: Unesp-Marília-Publicações, 2000.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011. 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.
- BORGES, V. A expansão da cana-de-açúcar no estado de Goiás: o caso na microrregião de Quirinópolis. 2010. Relatório para exame de qualificação (Doutorado em Geografia). Instituto de Estudos Sócio-Ambientais. Universidade Federal de Goiás.
- CARDOSO, M.G. (org.). Produção de aguardente de cana. Lavras: Editora UFLA, 2006, 445p.
- Canasat – Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra. INPE – Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/canasat/> Acesso em 17 jan. 2011.
- CASTRO, S. S. de; BORGES, R. O.; SILVA, R. A. A.; BARBALHO, M. G. da S. Estudo da expansão da cana-de-açúcar no estado de Goiás: subsídios para uma avaliação do potencial de impactos ambientais. In: FÓRUM DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA NO CERRADO, 2. Goiânia. Anais. SBPC, 2007. 09-17 p.
- CASTRO, S. S. ; ABDALA, K; SILVA, A.A. BORGES, V.M.S. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. Boletim Goiano de Geografia. Goiânia, IESA, v.30 n.1, 2010. p. 171-191.
- CONAB . Superintendência Regional de Goiás . Avaliação da safra de cana de açúcar 2011/12. Segundo levantamento de Goiás. Agosto, 2011. Disponível em www.conab.gov.br Acesso em: 10.mar.2012.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE/SEPAN. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br> Acesso em: 15 set. 2011.
- KAGEYAMA, A. O novo padrão agrícola brasileiro: do complexo rural ao caos. In: DELGADO, G. C. (Org.). Agricultura e políticas públicas. Brasília: IPEA, 1990.
- MACEDO, I. C. A Energia da Cana-de-açúcar: Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis & Vertecchia, 2005.
- MANZATTO, C. V.; ASSAD, E. D.; BACCA, J. F. M.; ZARONI, M. J.; PEREIRA, S. E. M. (org.). Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55p.
- Miziara, F. Expansão da Lavoura de Cana em Goiás e Impactos Ambientais. In: Congresso Brasileiro de Sociologia, 14. 2009. Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009.
- 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). 2008. Sugarcane Ethanol: contributions to climate change mitigation and the environment. 1st Ed. Wageningen Publs. Wageningen: 63-94.
- NOVAES, A. S. S. AMARAL FILHO, Z. P.; VIEIRA, P. C.; FRAGA, A. G. C. Levantamento Exploratório dos Solos. In: **Projeto RADAMBRASIL**, Folha SE.22, Goiânia. Rio de Janeiro: 1983.
- PASQUALETTO, A. ; ZITO, R. K. Impactos ambientais da monocultura da cana-de-açúcar. Goiânia: Ed UFG, 2000.
- PRADO, H. Pedologia fácil: aplicações. 3ª Edição. Piracicaba: H. do Prado, 2001.
- RODRIGUES, H. S. M. C.; CASTRO, S. S. Análise da Erodibilidade da Mesorregião Sul Goiano. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011, Uberlândia. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2011.
- SANTOS, M.H.M.C. A expansão canavieira em Goiás e seus reflexos:

exemplo de Santa Helena de Goiás (tratamento gráfico da informação). 1987. Dissertação de mestrado. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo.

SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. de. Dinâmica de uso da terra e expansão da cana-de-açúcar entre os anos de 2004 a 2010, na microrregião de Quirinópolis, Goiás. In: Pietrafesa, J. P.; SILVA, S. D. (Org.). Transformações no Cerrado: processo, consumo e natureza. Transformações no Cerrado: processo, consumo e natureza. 1ed. Goiânia: Ed. da PUC Goiás, 2011, v. , p. 155-188.

SILVA, A. A.; MIZIARA, F. A expansão da fronteira agrícola em Goiás e a localização das usinas de cana de açúcar. Pesquisa Agropecuária Tropical. Goiânia, v. 41, n. 3, p. 399-407, jul./set. 2011

UNICA - União da Indústria de cana-de-açúcar. Produção e uso do etanol combustível no Brasil. São Paulo: UNICA, 2007.

UNICAMP/UNICA. Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético. Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo. Relatório final. Campinas, 2005.

WWF. Expansão agrícola e perda da biodiversidade no cerrado: origens históricas e o papel do comércio internacional. Brasília: WWF Brasil, 2000.

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

Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça: fertirrigação, concentração e biodigestão

Technical, economic and environmental viability analysis of the current vinasse use: ferti-irrigation, concentration and bio-digestion

RESUMO

Nesse estudo resume-se a análise da viabilidade técnica, dos aspectos econômicos e ambientais das tecnologias de condicionamento e aproveitamento da vinhaça mais difundidas no Brasil e, em especial, no Estado de São Paulo: aplicação *in natura* no solo (fertirrigação *in natura*), biodigestão e concentração. A viabilidade técnica foi confirmada para as três tecnologias estudadas, seja pela utilização em campo, com ampla vantagem para a aplicação *in natura*, ou pela diversificada oferta das tecnologias de biodigestão e concentração pelo mercado especializado. Quanto à viabilidade econômica, a fertirrigação *in natura* se demonstrou altamente lucrativa, a biodigestão, que contou com tecnologias complementares de geração de energia elétrica para a análise de sua viabilidade, apresentou-se viável quando associada aos queimadores e turbinas em todas as condições estudadas, no entanto, abaixo dos valores de venda de energia atualizados. A tecnologia da concentração se demonstrou completamente inviável a partir das condições econômicas utilizadas. Já na questão ambiental, a fertirrigação *in natura* apresentou diversas vantagens e desvantagens, ficando a sua utilização condicionada a estudos locais. Para a biodigestão e a concentração, essas tecnologias apresentaram diversos ganhos frente à utilização *in natura*, sendo a primeira responsável pela mitigação dos GEE's e a segunda por uma aplicação de vinhaça mais racional e por um melhor equacionamento dos altos volumes de água utilizados pelas usinas e destilarias.

PALAVRAS-CHAVE: vinhaça – usos; vinhaça - disposição reutilização, racionalização

ABSTRACT

This study summarizes the technical, economic and environmental feasibility of three widespread technologies used for conditioning and reuse of vinasse in Brazil, particularly in the State of São Paulo: *in natura* fertigation, biodigestion and concentration. The technical feasibility was confirmed for the three technologies, as there are several suppliers of equipment for the three processes, with a great advantage for fertigation, which is the most common fate of vinasse in Brazil. As for the economic feasibility *in natura* fertigation resulted as a highly profitable use of the vinasse. Biodigestion is economically viable when associated to simple burners, just for in-plant use of the heat produced by methane combustion, or associated to gas turbine powered electrical generators. However, the current selling price of the excess electrical energy produced using the biogas in a sugar cane plant is below the price reached when other forms of power plants are used to produce electricity. The concentration of vinasse showed as an unviable economically if the economic conditions currently found in Brazil prevails. Environmentally *in natura* fertigation showed advantages and disadvantages and from an environmental point of view its use is depends upon local conditions. Biodigestion and concentration have several advantages as compared to *in natura* fertigation. While biodigestion decreases the emission of greenhouse gases, concentration provides a more rational use of vinasse for fertigation and decreases the usage of water in sugar plants and ethanol distilleries

KEYWORDS: vinasse – uses; vinasse - disposal; rationalization

Luiz Felipe Lomanto Santa Cruz
Mestre em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos – USP
São Carlos, SP, Brasil
luizfelipelomanto@gmail.com

Carla Grigoletto Duarte
Engenheira Ambiental, Doutora em Ciências pelo PPGSEA da EESC/USP Pesquisadora de Pós-doutorado - Escola Politécnica/USP
São Paulo, SP, Brasil
carla.duarte@usp.br

Tadeu Fabrício Malheiros
Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos – USP
São Carlos, SP, Brasil
tmalheiros@usp.br

Eduardo Cleto Pires
Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos – USP
São Carlos, SP, Brasil
ecpires@sc.usp.br

INTRODUÇÃO

A vinhaça é um resíduo líquido proveniente da destilação de uma solução alcoólica chamada vinho, obtida do processo de fermentação para obtenção do álcool. Esse resíduo pode ter como matéria prima o caldo de cana, o melaço ou a mistura de proporções, ou de diluições destes.

Andrade (2009) ressalta que a vinhaça que é gerada numa razão de 10,3 a 11,9 litros por cada litro de álcool produzido, apresenta temperatura elevada, pH ácido, corrosividade, alto teor de potássio, quantidades significativas de nitrogênio, fósforo, sulfatos e cloretos.

Até quase o final da década de 70, a vinhaça era lançada diretamente em corpos d'água, o que trazia impactos negativos tanto para a comunidade aquática desses habitats quanto para os seres humanos que sofriam com a deterioração da qualidade da água para usos diretos e indiretos.

Advinda da grande preocupação quanto aos impactos do uso da vinhaça no ambiente, foi instituída em 28 de fevereiro de 1967, o Decreto Lei nº 303 que proibiu a disposição da vinhaça nos rios, lagos e cursos de água. Posteriormente, a Portaria nº 323 de 29 de novembro de 1978, publicada pela Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA) e vinculada ao Ministério do Interior, também proibiu o lançamento direto ou indireto de vinhaça em qualquer coleção hídrica, pelas destilarias de álcool, a partir da safra 1979/1980 (CORAZZA, 1999).

Com a proibição, outros destinos tiveram que ser encontrados para a disposição da vinhaça. Inicialmente se utilizaram das áreas de sacrifício que, segundo Andrade (2009), eram áreas ditas de inundação, onde se formavam extensos alagados para permitir sua infiltração no terreno, sem nenhum controle. No entanto, esse novo método de disposição também era

improdutivo e ambientalmente impróprio, uma vez que indisponibilizava o solo para usos futuros além de causar a poluição das águas subterrâneas. Com a proibição do lançamento nos cursos de água, a perda contínua das áreas de sacrifício (já que se tornavam inutilizáveis para a agricultura) e o crescente volume de vinhaça produzido, outra forma de disposição passou a ser prontamente utilizado a partir da década de 70: a fertirrigação.

Atualmente outras tecnologias já estão sendo utilizadas pelos grandes grupos do setor sucroenergético, seja substituindo as técnicas anteriormente expostas ou complementando-as. As duas principais alternativas à fertirrigação já usadas em escala industrial no setor são a biodigestão e a concentração.

Esse artigo apresenta a análise da viabilidade técnica, a mensuração dos aspectos econômicos e caracterização dos aspectos ambientais das tecnologias de condicionamento e aproveitamento da vinhaça mais difundidas no Brasil e, em especial, no estado de São Paulo: aplicação *in natura* no solo (fertirrigação *in natura*), biodigestão e concentração.

Na primeira parte do artigo, é apresentada uma caracterização dessas três tecnologias e, posteriormente, a análise quanto à viabilidade técnica, econômica e ambiental, respectivamente, contemplando as três tecnologias em cada uma das seções. Para a realização dos estudos foram realizadas visitas de campo em 43 unidades agroindustriais sucroenergéticas do estado de São Paulo durante as safras 2009/2010 e 2010/2011, levantamento no banco de dados do Projeto Ambiental Estratégico Etanol Verde do Estado de São Paulo e literatura especializada sobre o setor. As usinas visitadas foram escolhidas entre aquelas que fazem parte do Protocolo Agroambiental de São Paulo, procurando-se que fossem

representativas das várias capacidades de produção e estágios de modernização das instalações encontradas no estado de São Paulo. Mais detalhes sobre o método e cálculos realizados podem ser consultados em Cruz (2012).

O APROVEITAMENTO DA VINHAÇA NA FERTIRRIGAÇÃO, BIODIGESTÃO E CONCENTRAÇÃO

Na fertirrigação, a disposição da vinhaça é feita diretamente no solo sem nenhuma forma de pré-tratamento. Os benefícios advindos da fertirrigação são tanto diretos, através da redução no custo com a adubação, quanto indiretos, visto que aumentam a fertilidade natural dos solos onde esse subproduto é aplicado. Rossetto (2008) ressalta que a vinhaça é um material de origem orgânica, sem a presença de metais ou outros contaminantes que impeçam seu uso agrícola e, nesse sentido, é perfeitamente aceita pela agricultura orgânica, sem restrições ao seu uso como fonte de nutrientes pelas empresas certificadoras.

Segundo Andrade (2009) o uso da vinhaça repõe ao solo os nutrientes que as plantas dele retiram, aumenta a produtividade agrícola, eleva o pH do solo, aumenta a disponibilidade de alguns nutrientes e imobiliza outros, eleva a população microbiana, o poder de retenção de água e melhora a estrutura física do solo.

Contudo, vale ressaltar que feita de maneira descontrolada (taxa de aplicação excessiva), o uso contínuo da vinhaça como fertilizante pode trazer efeitos negativos para o ambiente no qual é empregado. Madejon (2001) sugere que se pode esperar uma elevação na concentração de sais no solo e potencial risco de salinização com a aplicação de vinhaça ao longo dos anos. Essas observações, no entanto, devem ser vistas com

cautela, uma vez que os estudos foram elaborados na Espanha, país com características de solo e clima diferentes dos encontrados no Brasil. Segundo Meurer *et al.* (2000), apud Silva (2006), o fosfato e o nitrato, existentes em grandes concentrações na vinhaça, se destacam como possíveis contaminantes de águas superficiais e subterrâneas. Agrega-se a este potencial poluidor, as altas concentrações de potássio existentes na vinhaça que, apesar de não ser um poluente direto, favorece a formação de complexos químicos com compostos potencialmente poluidores das águas, como é o caso do nitrato. Portanto, a associação do potássio (K^+) ao nitrato (NO_3^-), por apresentar carga neutra, é facilmente lixiviado para as águas subterrâneas (ROSSETTO, 2008).

Na biodigestão anaeróbica da vinhaça, ocorre a geração de biogás, com geração de um efluente tratado, com alto poder nutricional em NPK e remoção de parte da carga orgânica. Como as taxas de incorporação da matéria orgânica pelo solo ainda não foram devidamente estabelecidas, considerou-se, por hipótese, que a utilização para gerar biogás garante aproveitamento da matéria orgânica remanescente.

A tecnologia de biodigestão tem como vantagens o baixo consumo de energia, a pequena produção de lodo (descarte), a grande eficiência na diminuição da carga orgânica, baixo potencial poluidor, sendo que o biogás produzido poderá ser empregado no processo de produção de energia (FREIRE; CORTEZ, 2000).

De acordo com Salomon (2007), são claras as vantagens da produção de energia elétrica a partir de biogás, entre elas: geração descentralizada e próxima aos pontos de carga, a partir de uma fonte renovável que vem sendo tratada como resíduo; possibilidade de receita extra, proveniente da energia gerada com biogás e

vendida às concessionárias; redução na quantidade de eletricidade comprada da concessionária; possibilidade de uso de processos de cogeração; redução das emissões de metano para a atmosfera, pois este também é um importante gás de efeito estufa; créditos de carbono; redução de odores etc. Por outro lado, existem alguns desafios a serem vencidos que impedem a ampla utilização do biogás, como: não disponibilidade de tecnologias estabelecidas de geração a partir de vinhaça; limpeza do biogás; viabilidade econômica; falta de fiscalização; e penalidades por possíveis danos ambientais.

Por fim, a concentração da vinhaça é uma tecnologia utilizada para reduzir a quantidade de água presente neste subproduto, reduzindo o seu volume e conseqüentemente os custos com transporte e aplicação na fertirrigação. A concentração da vinhaça, além de proporcionar uma maior flexibilização na logística de aplicação no solo (fertirrigação), também condiciona a vinhaça para outras utilizações, entre elas, ração animal, combustível para caldeiras especiais e posterior geração de energia. Agrega-se também o potencial de redução da captação de água pela usina, uma vez que o condensado retirado da vinhaça já retorna para o sistema produtivo das plantas industriais em algumas Usinas (ALBERS, 2007).

A concentração era um processo de pouca abrangência no setor sucroenergético do país, visto seu alto custo energético, padrão que vem se alterando com a difusão da cogeração (produção de vapor e de eletricidade) nas unidades agroindustriais.

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA

Aplicação *in natura* no solo

A viabilidade técnica foi analisada através de uma

abordagem simplificada e realística de inter-relação entre a fertirrigação *in natura* nas unidades agroindustriais integrantes do Protocolo Agroambiental de São Paulo (165 unidades agroindustriais) e a sua efetiva aplicabilidade, ou seja, a disseminação da tecnologia no setor atestando a sua viabilidade. Além disso, nesta fase inicial foi avaliado o número de unidades agroindustriais que utilizavam técnicas preliminares para condicionamento ou reutilização da vinhaça.

A partir dos dados referentes à safra 2009/2010 de 165 unidades agroindustriais (Destilarias e unidades agroindustriais de açúcar e álcool certificadas pelo Projeto Etanol Verde da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo) elaborou-se a Tabela 1 que apresenta informações gerais em relação à produção de álcool e vinhaça, número de unidades agroindustriais que se utilizam da aplicação *in natura* da vinhaça no solo agrícola e aquelas que adotam, preliminarmente, alguma das tecnologias estudadas - biodigestão e concentração.

Verificou-se a utilização da fertirrigação em 100% das unidades agroindustriais signatárias do Protocolo Agroambiental, sendo que apenas 5% do total gerado é destinado a tecnologias de biodigestão e concentração.

Biodigestão

A viabilidade técnica foi analisada por meio de dois caminhos: - (a) Levantamento, entre as unidades agroindustriais pertencentes ao Protocolo Agroambiental de SP que foram visitadas durante o período de elaboração e desenvolvimento do projeto, daquelas que apresentaram um projeto de biodigestão, seja em fase de implantação ou que já estivesse em pleno funcionamento. Também foram coletados dados referentes ao volume médio de tratamento, subprodutos finais a

Tabela 1 – Unidades agroindustriais integrantes do Protocolo Agroindustrial de São Paulo (safra 2009/2010)

Nº	Produção de álcool* m ³	m ³ vinhaça/m ³ etanol	Produção de Vinhaça** m ³	Aplicação <i>in natura</i>	Uso de outra tecnologia
165	15.110.954	12	181.935.886	161	8

*Estimativa considerando a moagem de cana

** Estimativa considerando a média do Protocolo de 12,04 litros de vinhaça/litro de álcool produzidos

serem reutilizados como biofertilizante¹ e/ou biogás, que é destinado à geração de energia) tipo de investimento recebido (investimento próprio ou parceria), e outras informações específicas da unidade. – (b) Análise dos projetos de biodigestão disponibilizados no mercado pelas grandes empresas de tecnologia voltadas para o setor sucroenergético ou para setor de tratamento de resíduos (subprodutos) agrícolas e industriais.

Por meio dessas duas abordagens procurou-se estabelecer uma relação direta entre a viabilidade técnica e a existência de projetos/tecnologias de biodigestão em utilização nas unidades agroindustriais ou disponíveis no mercado.

Dentre as 43 unidades agroindustriais visitadas durante o período de elaboração do projeto, verificou-se a existência de apenas um projeto de biodigestão para a vinhaça. Este projeto, em escala piloto, se encontrava na fase final de instalação e foi projetado para um volume de tratamento de aproximadamente 40 m³.h⁻¹. Entre os produtos finais do processo, a vinhaça biodigerida terá a mesma finalidade de fertirrigação e o biogás gerado será destinado à produção de energia elétrica através de turbogeradores específicos para este tipo de biocombustível. O projeto advém de uma parceria entre a respectiva empresa de açúcar e

álcool e a concessionária de energia elétrica local, sendo a última a maior investidora quanto aos custos relacionados com a aquisição, instalação e manutenção da tecnologia.

Outra planta em funcionamento no Estado de São Paulo pertence à Usina São Martinho de Pradópolis. A planta, em escala industrial, apresenta um reator de 5.000 m³, sendo o biogás destinado à queima nas caldeiras geradoras de vapor. Assim, a empresa obtém um aumento na geração de vapor e na geração de energia elétrica através do sistema de cogeração². Outro uso designado para o biogás produzido nesta unidade é a secagem de levedura, retirada do processo de fermentação em dornas, por meio da energia térmica da combustão do gás nas caldeiras.

Atualmente há dois principais projetos comerciais para biodigestão da vinhaça. O projeto oferecido pela empresa Dedini[®] é denominado Methax Dedini[®] e se utiliza de reatores de leito de lodo expandido com circulação interna, uma variação dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB). O projeto apresenta como propostas a utilização do biofertilizante na lavoura e o biogás pode ter três diferentes usos: na queima do biogás, em caldeiras pré-existentes, para a produção de vapor utilizável na indústria, resultando em

economia e possível venda de bagaço residual; para geração de energia elétrica na combustão direta do biogás em turbinas ou através da utilização do vapor nas turbinas; e diretamente em motores de caminhões.

O projeto da empresa Brasmetano[®] é o Stillax[®] e tem como proposta a utilização de um sistema integrado para a geração de biogás, a partir do tratamento biológico da vinhaça, e demais subprodutos das unidades agroindustriais de açúcar e álcool. O sistema integrado Stillax[®], segundo o fornecedor, permite a transformação de até 90% da matéria orgânica da vinhaça em biogás; a obtenção de energia elétrica para auto sustentação de todo o sistema e/ou venda; obtenção de energia térmica (inclusive para a concentração da vinhaça); valorização da vinhaça pela concentração possibilitando a complementação química para ampliar seu potencial como adubo; entre outros.

Concentração

A viabilidade técnica da concentração foi analisada por meio do levantamento de dados das unidades agroindustriais que têm projeto de concentração, seja em fase de implementação ou operação, entre as pertencentes ao Protocolo Agroambiental de São Paulo. Também foram analisados os projetos de concentração disponibilizados no mercado pelas grandes empresas de tecnologia voltadas para o setor sucroenergético ou para setor de

1 Subproduto líquido da biodigestão. Quando aplicado ao solo, traz tantos benefícios quanto à aplicação *in natura* visto a manutenção da sua carga nutricional inicial.

² Cogeração – “Produção simultânea de dois ou mais tipos de energia (elétrica, mecânica e térmica-útil) a partir de uma única fonte primária”.

tratamento de resíduos (subprodutos) agrícolas e urbanos. Por meio dessas duas abordagens procurou-se estabelecer uma relação direta entre a viabilidade técnica e a existência de projetos/tecnologias de concentração em utilização nas unidades agroindustriais ou disponíveis no mercado.

Quanto às plantas em funcionamento, verificou-se a existência de apenas um projeto de concentração para a vinhaça dentre as unidades visitadas. O projeto, uma planta em escala piloto reduzida, já havia transitado por outras unidades agroindustriais com a finalidade de atestar sua eficiência no tratamento de vinhaças de diferentes características. Diferente da biodigestão, a tecnologia de concentração da vinhaça vem ampliando a sua participação dentro do setor sucroenergético nacional de maneira mais expressiva, tendo como principais representantes os estados de Minas Gerais, Mato Grosso e São Paulo. Quanto ao estado de São Paulo, seis unidades agroindustriais apresentam plantas de concentração em escala industrial e em pleno funcionamento. Apesar do número de plantas em funcionamento parecer pouco significativo, constatou-se através das visitas de campo que a maior parte das unidades agroindustriais contempla a possibilidade futura de utilização dessa tecnologia.

Dentre as unidades agroindustriais que se utilizam da concentração, uma em especial se destaca por ser a pioneira na adoção dessa tecnologia. A Usina Santa Elisa (atualmente integrante do grupo LDC-SEV), localizada no município de Sertãozinho - SP, foi a primeira usina do país a instalar, em 1978, uma unidade de concentração de vinhaça. Apresentando na época uma vazão de entrada da vinhaça de $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, com 6º de Brix 10, e uma vazão de saída da vinhaça concentrada de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, com um Brix de 60º, a planta ainda se

encontra em pleno funcionamento, porém apresentando parâmetros de concentração diferentes dos iniciais para Brix e eficiência de concentração. Foram identificadas outras cinco usinas que usam concentração no estado de São Paulo: Usina Cerradinho em Potirendaba, Usina Rio Pardo em Cerqueira César, a Usina Santa Rosa em Boituva, a Usina Zanin em Araraquara e a Usina da Pedra em Serrana.

Quanto aos fornecedores disponíveis no mercado, foram identificados projetos das empresas Citrotec® de Araraquara/SP e da Dedini®. A planta Ecovin® – Evaporador de Concentração de Vinhaça, da Citrotec®, se utiliza de evaporadores com o funcionamento baseado no princípio de névoa turbulenta descendente acelerada termicamente. Segundo os fornecedores, a tecnologia apresenta como vantagens a alta taxa de evaporação, baixa taxa de incrustação (limpeza automatizada por meio de produtos químicos), baixo consumo energético, operação fácil e possibilidade de automatização completa. A vinhaça concentrada poderá ser usada na fertirrigação, alimentação animal, solidificação, queima e biodigestão.

O sistema Dedini para concentração de vinhaça é tecnologia T.A.S.T.E.® (*Thermally Accelerated Short Time Evaporator*) e também está baseado na evaporação em múltiplos estágios com evaporadores em névoa turbulenta de fluxo descendente. Em relação aos benefícios advindos da instalação da tecnologia, destacam-se a redução do volume de vinhaça a um oitavo, sem aumento do consumo de vapor da destilaria, já que os sistemas são integrados; a economia no custo da fertirrigação, facilidade de distribuição em terras descontínuas e viabilização da distribuição para áreas distantes; e a produção de água evaporada de boa qualidade possibilitando a reutilização no processo industrial (embebição da

cana para extração, diluição do fermento na fermentação, diluição do mel para o preparo do mosto, lavagem de pisos, etc.) e consequente redução na captação dos corpos e cursos d'água.

Com um histórico de mais de três anos no estado de São Paulo, a tecnologia de concentração da vinhaça se tornou uma realidade dentro do setor sucroenergético, seja pela redução dos custos de aplicação da vinhaça no campo com a redução de seu volume ou pelos ganhos ambientais referentes à economia de água e à redução do potencial de poluição das águas subterrâneas. Através das visitas de campo, constatou-se a grande aceitação que essa tecnologia apresenta quando o assunto a ser debatido é o melhor gerenciamento do subproduto vinhaça. Quanto à viabilidade técnica, o fornecimento da tecnologia por empresas com alto nível de credibilidade e excelência tecnológica, a nível nacional e internacional, além dos ganhos econômicos e ambientais alcançados pelas unidades agroindustriais que já se utilizam dessa tecnologia, atestam essa viabilidade. Contudo, duas questões em especial freiam a introdução dessa tecnologia na maior parte das unidades agroindustriais pesquisadas: o alto custo da planta de concentração e a preferência por tecnologias que atuem na redução da produção de vinhaça.

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Na análise econômica para a fertirrigação *in natura*, o objetivo principal foi de mensurar a economia (lucro) que as unidades agroindustriais do setor sucroenergético do estado de São Paulo apresentaram na safra 2009/2010 por meio da substituição dos fertilizantes minerais (NPK) pela fertirrigação *in natura* da lavoura. Definida a metodologia de análise,

esta também foi aplicada no âmbito da região centro-sul e do Brasil.

Para esta análise foram utilizados os seguintes parâmetros e/ou premissas:

- Área de cultivo e quantidade de cana processada pelas unidades agroindustriais signatárias do Protocolo Agroambiental para a safra 2009/2010.
- Área de cultivo e produção total de álcool da região Centro-Sul e do Brasil para safra 2009/2010, a partir do “3º Levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento sobre a cultura da cana-de-açúcar de Janeiro/2011” (CONAB, 2011).
- Quantidade e preço médio dos fertilizantes utilizados no ciclo produtivo da cana, obtidos no estudo publicado pela Pecege/ESALQ-USP intitulado “Custo de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil”, referente à safra 2009/2010.
- Dosagens médias de aplicação de vinhaça *in natura* para São Paulo, Centro-Sul e Brasil, a partir dos dados apresentados por Luz (2005);
- Estimativa dos gastos com adubação complementar das áreas fertirrigadas.
- Classificação e percentual das áreas de cana a serem utilizadas nas análises de viabilidade econômica para cada tecnologia, a partir do reagrupamento das categorias do INPE/CANASAT em três grupos: reforma, cana planta e cana soca.

da fertirrigação *in natura*³, sendo que o volume de aplicação utilizado e a adubação complementar (fósforo e nitrogênio) são as bases para a diferenciação entre eles.

No cenário I, foi considerada a fertirrigação *in natura* com a taxa de aplicação definida a partir da quantidade de nutrientes aplicados na adubação convencional, sem adubação complementar. Os resultados para esse cenário mostraram que a área de cultivo e a área efetivamente fertirrigada com vinhaça se encontra em torno de 25% a 35%, comprovando o completo potencial de reciclagem desse subproduto pelo setor sucroenergético. Tomando como referência o Protocolo Agroambiental, com as 165 usinas analisadas na safra 2009/2010, o ganho econômico obtido com a substituição da adubação mineral girou em torno de 2,57 milhões de Reais por Unidade Agroindustrial.

O cenário II, foi analisado para condições idênticas ao cenário I, mas com uso da adubação complementar. Os resultados mostram que a adubação complementar influenciou diretamente nos ganhos econômicos advindos da substituição da adubação mineral, uma vez que resultou em redução de aproximadamente 37% nos valores finais. Por outro lado, dentre os benefícios da adubação complementar, ressalta-se o aumento na longevidade e/ou produtividade da cultura da cana-de-açúcar, sendo seus resultados diretamente dependentes das características locais e da variedade de cana utilizada. Portanto, partindo do preceito que a prática da adubação complementar é estritamente necessária, também se constata os ganhos econômicos significativos que a substituição de parte da adubação mineral

proporcionaria para o setor, alcançando valores próximos de 1,62 milhões de reais por unidade agroindustrial quando se utiliza o Protocolo Agroambiental como referência.

No cenário III, a taxa de aplicação da vinhaça foi definida a partir de dosagens médias regionais, sem adubação complementar, e no cenário IV com adubação complementar.

A característica que mais se destaca nesses dois últimos cenários é o alto volume de vinhaça aplicado especialmente para a fertirrigação da cana planta, chegando a valores uma vez e meia maiores do que os utilizados nos cenários I e II. Com isso, a relação entre a área de cultivo e a área efetivamente fertirrigada com vinhaça apresentou uma expressiva redução chegando a valores entre 15 e 20%. Pelos mesmos motivos, os ganhos econômicos para o setor apresentaram uma redução para ambos os cenários: 1,67 milhões de reais para o cenário III (sem adubação complementar) e 1,1 milhões de reais para o cenário IV (com adubação complementar) por unidade agroindustrial, quando se utiliza o Protocolo Agroambiental como referência. Assim como na comparação anterior, a adoção da adubação complementar no cenário IV proporcionou uma redução dos ganhos econômicos por Unidade Agroindustrial em cerca de 0,57 milhões de Reais quando comparado ao cenário III. A Tabela 2 apresenta uma síntese dos resultados encontrados.

A partir desses resultados, ressalta-se a importância do gerenciamento adequado do uso da vinhaça para fertirrigação, assim como da adubação complementar, a fim de potencializar a sua distribuição no campo e conseqüentemente os ganhos econômicos e ambientais para o setor sucroenergético.

Aplicação *in natura* no solo

Foram definidos quatro cenários para a análise econômica

³ Detalhes sobre os cálculos estão disponíveis nas páginas 51 a 57 de Cruz (2012)

Biodigestão

Tabela 2 – Ganhos econômicos por região na safra 2009/2010 para aplicação *in natura* nos Cenários I, II, III e IV, em milhões de reais

Ganhos Econômicos safra 2009/2010	Usinas Protocolo	Centro-Sul	Brasil
Cenário I			
Taxa de adubação convencional, sem complementar.	424,7	760,0	846,2
Cenário II			
Taxa de adubação convencional, com complementar.	268,1	479,0	533,0
Cenário III			
Adubação média regional, sem complementar.	276,2	485,6	556,6
Cenário IV			
Taxa de adubação média regional, com complementar.	181,3	318,6	363,7

Fonte: elaboração própria

Tabela 3 - Parâmetros da planta de biodigestão

Parâmetros	Unidade	Valor
Volume do Reator	m ³	1.540,00
Dimensões (altura X diâmetro)	m x m	10 X 14
Vazão de Vinhaça	m ³ /dia	3.069,54
Tempo de Detenção Hidráulica (TDH)	h	12,04
Produção de biogás	Nm ³ /dia*	36.834,52
Produção de metano (CH ₄)	Nm ³ /dia*	22.100,71
Energia disponível no biogás (60% de metano)	MJ/dia	847.635,96
Potencial disponível no biogás	MW	9,81

Fonte: Próprio autor. (* - Nm³ – normal metro cúbico, ou seja em condições normais de pressão e temperatura)

Tabela 4 - Parâmetros do processo de biodigestão

Parâmetros/Valores de Referência	Unidade	Valor
Concentração da vinhaça*	kg DQO/m ³	30,00
Eficiência da biodigestão	% de remoção	80,00
Taxa de conversão 1	NL** Biogás/g DQO _{Removida}	0,50
Taxa de conversão 2***	NL CH ₄ /g DQO _{Removida}	0,30
Densidade do Metano	kg/m ³	0,714
PCI do Biogás**** (60% de metano)	kJ/Nm ³	23.012,00

* Considerando a produção a partir do caldo; ***NL (Normal Litro)

Considerando o biogás com 60% de CH₄; *Poder calorífico inferior

Fonte: Baseado em Elia Neto e Shintaku (2009).

Para a análise da viabilidade econômica da biodigestão, foram definidos os seguintes parâmetros de usina padrão, equivalente a uma

usina de médio porte: moagem de 1,5 milhões de toneladas de cana por safra, com produção de etanol de 254,9 m³.d⁻¹, e produção de

vinhaça de 3.069,5 m³.d⁻¹. A definição de uma unidade produtiva padrão permitiu que estudos comparativos fossem aplicados aos

Tabela 5 - Comparação entre tecnologias de conversão

Tecnologias	Faixa de Potência Instalada (KW – MW)	Rendimento Elétrico (%)	Emissões de NO _x (ppm)
Motores a gás (Ciclo Otto)	30 – 20	30 - 40	250 - 3000
Microturbinas a gás (pequeno porte)	30 – 100	24 - 28	< 9
Turbinas a gás (médio porte)	500 – 150	20 - 30	35 - 50

Fonte: Adaptado de CENBIO, 2005, *apud* Figueiredo, 2007.

diversos projetos propostos para a geração de energia elétrica a partir do biogás.

A tecnologia de biodigestão recomendada para integrar os cenários propostos foi o reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Bed Reactor*), fornecido por empresas de tecnologia ligadas ao setor sucroenergético, como a Brasmetano LTDA de Piracicaba – SP e a DEDINI S.A. de Ribeirão Preto – SP. O valor de referência calculado para a utilização do biogás (VB) pelas tecnologias propostas foi de 0,053 R\$/m³. As informações sobre os parâmetros da planta de biodigestão e do processo de biodigestão estão nas Tabelas 3 e 4 respectivamente.

Nos cenários econômicos definidos neste estudo, o uso do biogás é considerado para geração de energia elétrica para três cenários, com queimadores, motores à combustão interna e turbinas a gás, sempre com venda dos créditos de carbono. A Tabela 5 apresenta informações sobre as tecnologias de conversão.

Foi considerada depreciação dos equipamentos de 10% ao ano, taxa de juros de 11,92% (SELIC – BCB, 20/04/2011); horizonte temporal de 20 anos, e créditos de carbono vendidos no mercado do Protocolo de Kyoto a US\$ 10,00/TCO_{2equiv}; taxa cambial de US\$1,58/R\$ (BCB, 28/06/2011); taxa de desconto igual à taxa SELIC de 11,92% (Banco Central do Brasil,

20/04/2011); e taxa mínima de atratividade (TMA) de 15%. Os custos com a elaboração dos documentos e com o registro do projeto para geração de créditos de carbono não foram incluídos na análise econômica. Para a análise econômica, foram utilizados os métodos: Valor Presente Líquido (VLP), Análise Custo-Benefício (C/B), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Pay-Back.

Para os cenários com geração de energia elétrica, foi analisada a viabilidade econômica para três diferentes preços de venda de energia elétrica. Os preços adotados correspondem a dois leilões recentes e ao preço estabelecido no Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica do Ministério de Minas e Energia (PROINFA), sendo R\$102,41/MWh no Leilão de Energia A-3 / 2011, total contratado de 2.744,6 MW de potência instalada; R\$144,20/MWh nos Leilões de Fontes Alternativas 2010, total contratado de 2.892,2 MW de potência instalada; e R\$169,08/MWh para energia gerada por meio de biogás gerado de aterros sanitários, no PROINFA – 2002/2009.

No cenário I, foi considerada a queima do biogás em queimadores (*flares*) com venda do crédito de carbono. Os queimadores são utilizados como alternativa simples e eficiente na mitigação do aquecimento global e na geração de

créditos de carbono para o empreendedor que opta por esta tecnologia, já que proporcionam a transformação de gases poluentes de alto potencial de aquecimento global (CH₄) em poluentes secundários de potencial reduzido (CO₂). O investimento realizado para a implantação de queimadores com a finalidade de obtenção e venda de créditos de carbono se apresentou economicamente viável para os empreendedores do setor sucroenergético, apresentando um retorno do investimento realizado em apenas 1,7 anos.

No cenário II, a geração de energia elétrica é feita por meio de motores à combustão interna (motogerador de ciclo Otto). Para as duas condições iniciais, utilizando o PROINFA e o Leilão A-3 2010 como referência, a tecnologia dos motogeradores para a geração de energia elétrica se demonstrou economicamente viável. Os elevados valores dos VPLs representaram os lucros totais em valores atualizados que seriam revertidos para o empreendedor na escolha desta tecnologia. Somam-se a este fato, os curtos períodos de tempo necessários para que os investimentos realizados fossem readquiridos: 3,49 e 4,5 anos, respectivamente. Contudo, quando se utilizou como referência o valor de venda de energia estabelecido pelo Leilão A-3 de 2011 a tecnologia apresentou contornos de inviabilidade. A simples verificação

do valor negativo do VPL, além de uma TIR menor que a TMA estabelecida, inviabilizaram a realização do investimento. O valor uniforme líquido total (VUL) representa os custos anuais atribuídos ao empreendedor caso a opção fosse pela implantação desta tecnologia nas condições desfavoráveis apresentadas.

O cenário III, com geração de energia por meio de turbinas a biogás e venda dos créditos de carbono, se demonstrou economicamente viável para todas as condições testadas. Os elevados valores dos VPLs representaram os lucros totais em valores atualizados que seriam revertidos para o empreendedor na escolha desta tecnologia. Somam-se a este fato, os curtos períodos de tempo necessários para que os investimentos realizados fossem readquiridos: 2,61; 3,14 e 4,78 anos, respectivamente.

Outro demonstrativo da viabilidade econômica dessa tecnologia se refere às taxas internas de retornos calculadas. Para todas as condições, a TIR se apresentou superior à taxa mínima de atratividade de 15% estabelecida para este estudo.

Concentração

Assim como foi utilizado para a tecnologia de biodigestão, nesta etapa utilizou-se como referência uma unidade produtiva padrão de porte mediano com 1,5 milhões de toneladas de cana processada por safra. Os métodos de avaliação econômica e as variáveis utilizadas para a elaboração do fluxo de caixa da biodigestão, também foram aplicados para a tecnologia da concentração.

Contudo, esta tecnologia apresenta uma particularidade quando analisamos a variável “receita do subproduto”, já que está relacionada com a redução dos custos do transporte da vinhaça para aplicação no campo e a economia no consumo de água pela unidade fabril, e não com a venda de

um subproduto específico, como no caso da energia elétrica ou dos créditos de carbono. Portanto, essa redução de custo passa a ser contabilizada como receita pelos empreendedores do setor sucroenergético, viabilizando em muitos casos a implantação da tecnologia de concentração. Outro ganho econômico a ser incluído em análises econômicas futuras está relacionado com o aumento da área fertirrigada devido a maior racionalização na aplicação da vinhaça.

A planta comercial de concentração recomendada para integrar a análise econômica foi a tecnologia ECOVIN®, fornecida pela empresa Citrotec® de Araraquara-SP, modelo CTENET® – 150, com 100 m³.d⁻¹ de vazão afluyente e 38,40 m³.d⁻¹ de vazão efluente, e com taxa de concentração de 70%⁴. Foi considerado no cálculo da viabilidade econômica a economia no transporte e aplicação da vinhaça e a economia no consumo de água

Os resultados da análise mostraram que a concentração se apresenta financeiramente desfavorável para qualquer uma das variáveis econômicas adotadas. Associa-se a esse contexto, o elevado valor presente líquido negativo alcançado por esta tecnologia, representando o prejuízo em valores atuais para o empreendedor que optasse pela realização deste investimento. Soma-se a isso, o valor uniforme líquido total (VUL) que representa os custos anuais atribuídos ao empreendedor caso a opção fosse pela implantação desta tecnologia nas condições desfavoráveis apresentadas. Portanto, o investimento realizado para a implantação do concentrador de vinhaça apenas com a finalidade de reduzir os custos com o transporte e a economia de água se apresenta economicamente inviável para os

⁴ Dados obtidos da Usina Cerradinho, unidade Potirendaba (adaptado pelo autor).

empreendedores do setor sucroenergético.

ANÁLISE DE VIABILIDADE AMBIENTAL

Aplicação *in natura* no solo:

A análise de viabilidade ambiental foi baseada em detalhada revisão da literatura. A utilização inadequada da vinhaça na fertirrigação pode ocasionar uma série de impactos ambientais negativos. A síntese dos principais impactos ambientais potenciais para o uso da vinhaça *in natura* no campo agrícola é apresentada na Tabela 6.

O estado de São Paulo, por meio da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e da Normativa P4.231, se encontra na vanguarda quanto ao gerenciamento adequado desse subproduto, tendo em vista as grandes extensões de terra agricultáveis ocupadas pela cultura da cana de açúcar no estado e os problemas que a falta de uma regulamentação efetiva ocasionava à qualidade ambiental do estado desde meados do século XX. O adequado gerenciamento da aplicação da vinhaça poderá evitar e/ou minimizar a maioria dos impactos apresentados.

No entanto, há questões que ainda estão em discussão, como é o caso da poluição das águas subterrâneas que vem sendo tratada em diversas câmaras técnicas, principalmente no âmbito dos órgãos ambientais reguladores⁵.

⁵ A poluição das águas subterrâneas ainda é um impacto que vem passando por discussões e pesquisas em todos os setores da sociedade. Atualmente, um Grupo de Trabalho foi estruturado no Estado de São Paulo, com representantes do setor sucroenergético (CTC) e do órgão ambiental estadual (CESTEB) a fim de fornecer subsídios definitivos para a prática mais sustentável desta atividade, sem que afete a qualidade das águas subterrâneas.

Tabela 6 - Potenciais impactos ambientais no solo ocasionados pela aplicação da vinhaça *in natura* no solo agrícola

C. Ambiental ¹	Impacto Ambiental	Especificidades e condicionantes (Descrição)
Solo	Alteração da população microbiana ^{3,4}	Desenvolvimento da população de microrganismos (fungos e bactérias), favorecida pelo aporte de matéria orgânica e nutriente.
	Alteração (elevação) do pH ^{3,4}	Redução inicial do pH devido à característica ácida da vinhaça (pH médio em torno de 4) e posterior elevação resultante da ação dos microrganismos.
	Alteração da CTC do solo ^{3,4}	Aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) principalmente pelo aporte de matéria orgânica no solo e, consequente, aumento das cargas negativas;
	Alteração da concentração de íons "nutrientes" disponíveis na solução do solo	Aumento da concentração dos íons de fundamental importância para a nutrição das plantas, como por exemplo, potássio (K ⁺), cálcio (Ca ⁺²) e magnésio (Mg ⁺) que se apresentam em elevadas concentrações na vinhaça.
	Salinização ³	Elevação na concentração de sais no solo pelo uso da vinhaça ao longo dos anos.
	Alteração da estrutura física do solo ³	Melhorias estruturais ocasionadas pela ação de microrganismos que se desenvolvem no ambiente.
	Redução de escavações em jazidas de fertilizantes	Redução das pressões antrópicas sobre os depósitos minerais, através da reutilização dos subprodutos do processo produtivo.

¹C.Ambiental – Compartimento Ambiental, ²Subter. ³Silva, M. (2006); ⁴Brito, F. et al. (2009), ⁵Boddey, R. (2009, Embrapa Agrobiologia).

Tabela 6 - Potenciais impactos ambientais na água ocasionados pela aplicação da vinhaça *in natura* no solo agrícola (contin.)

C. Ambiental ¹	Impacto Ambiental	Especificidades e condicionantes (Descrição)	
Superf. ²	Alteração da carga orgânica	Aumento da carga orgânica nos corpos d'água ocasionada pelo transbordo e arraste da vinhaça dos tanques de armazenamento e canais de transporte, principalmente nos meses mais chuvosos.	
	Alteração da concentração de nutrientes	Aumento da concentração de nutrientes (N, K, Ca e Mg) nos corpos d'água devido ao transbordo e arraste da vinhaça dos tanques de armazenamento e canais de transporte, principalmente nos meses mais chuvosos, potencializando alterações da qualidade da água, por exemplo, no seu padrão de potabilidade.	
	Alteração da concentração de sais	Aumento da concentração de sais dissolvidos (principalmente cloretos) nos corpos d'água devido ao transbordo e arraste da vinhaça dos tanques de armazenamento e canais de transporte, principalmente nos meses mais chuvosos, potencializando alterações da qualidade da água, por exemplo, no seu padrão de potabilidade.	
Água	Alteração da carga orgânica	Aumento da carga orgânica nas águas subterrâneas, carregada por percolação, alterando o padrão de potabilidade da água.	
	Alteração da concentração de nutrientes ⁴	Aumento da concentração de nutrientes (principalmente N e K) nas águas subterrâneas, carregados por percolação, alterando o padrão de potabilidade da água	
	Subter. ²	Alteração da concentração de sais ⁴	Aumento da concentração de sais dissolvidos (principalmente cloretos) nas águas subterrânea, carregados por percolação, alterando o padrão de potabilidade da água.
		Alteração da concentração de nitrato (NO ₃ ⁻)	Aumento da concentração de nitrato nas águas subterrâneas, composto potencialmente causador de doenças, como a metemoglobinemia e outros cânceres.
	Alteração da qualidade da água	Aporte de substâncias solúveis (i.e, sais minerais, compostos orgânicos, etc.) carregadas pela percolação da água da vinhaça, potencializando alterações da qualidade da água (i.e, alteração do padrão de potabilidade).	

¹C.Ambiental – Compartimento Ambiental, ²Superf. – Superficial; Subter. - subterrânea, ³Silva, M. (2006); ⁴Brito, F. et al. (2009), ⁵Boddey, R. (2009, Embrapa Agrobiologia).

Tabela 6- Potenciais impactos ambientais no ar ocasionados pela aplicação da vinhaça *in natura* no solo agrícola (final).

C. Ambiental ¹	Impacto Ambiental	Especificidades e condicionantes (Descrição)
Ar e Outros	Elevação das concentrações de CH ₄ e N ₂ O (GEE) ⁵	Emissões de CH ₄ advindas do processo de anaerobiose de canais de distribuição e reservatórios; emissões de N ₂ O advindas da aplicação ao solo (GEE – gás de efeito estufa).
	Elevação do nível de odor	Dispersão de fortes odores advindos da fertirrigação com vinhaça, afetando as comunidades vizinhas.
	Aumento da incidência de vetores	Atração de vetores (moscas) pela decomposição anaeróbia da vinhaça nos reservatórios e canais.
	Deterioração de pavimentos em rodovias estaduais e estradas vicinais	Sobrecarga causada pelo tráfego intenso de caminhões que realizam o transporte da vinhaça e do maquinário para sua aplicação em longas distâncias.

¹C.Ambiental – Compartimento Ambiental, ²Subter, ³Silva, M. (2006); ⁴Brito, F. et al. (2009), ⁵Boddey, R. (2009, Embrapa Agrobiologia).

Biodigestão

A análise ambiental para a biodigestão foi direcionada à redução das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) através da conversão do metano (CH₄) em gás carbono (CO₂). Essa conversão ocorre durante a combustão do gás nos queimadores, nas câmaras de combustão dos motogeradores e dos turbogeradores. Portanto, calculou-se para a unidade produtiva padrão, estabelecida como modelo para este estudo, a redução de suas emissões levando em consideração a utilização dos três cenários de aproveitamento do biogás.

Dentre os potenciais impactos ambientais analisados para o caso da aplicação *in natura* no solo, alguns deles tendem a ser mitigados e outros ampliados com a implantação do processo de biodigestão da vinhaça pela unidade fabril. Essa mitigação e/ou ampliação é alcançada, principalmente, pela redução dos compostos orgânicos biodegradáveis existentes e pela menor exposição deste subproduto ao ambiente atmosférico após a sua produção. Os itens a seguir retratam os ganhos potenciais advindos da biodigestão, sendo que suas descrições são apresentadas na Tabela 6:

- Redução do risco de arraste de vinhaça para os corpos d'água superficiais devido ao maior controle sobre este subproduto.
- Mitigação das emissões dos gases de efeito estufa, CH₄ e N₂O, tanto pela menor exposição da vinhaça ao ambiente atmosférico desde sua produção até a sua aplicação quanto pela menor carga orgânica presente neste subproduto pós biodigestão.
- Redução e, em alguns casos, eliminação dos fortes odores advindos da fertirrigação com vinhaça.

Tabela 7 - Redução equivalente das emissões de GEE por tecnologia adotada

Tecnologias	Valor (TCO _{2eq} /ano)
Queimadores	90.056,86
Motogeradores (ciclo Otto)	9.711,90
Turbinas	12.981,57

Fonte: elaboração própria.

- Redução da incidência de vetores.

Dentre essas vantagens, a mitigação das emissões dos gases de efeito estufa (GEE) aparece como um dos grandes benefícios ambientais desta tecnologia, uma vez que converte gás metano (CH₄) em outros de menor potencial para o aquecimento global.

A Tabela 7 apresenta a quantificação equivalente dos GEEs que deixaram de ser emitidos para cada uma das tecnologias utilizadas como complementação do processo de biodigestão da vinhaça neste estudo.

Nota-se que a utilização dos queimadores aparece como a melhor opção quanto à mitigação dos GEEs. Contudo, esta tecnologia passa a ser preterida pelos empreendedores do setor sucroenergético, tendo em vista a possível complementação do fornecimento de energia elétrica pelos motogeradores e pelas turbinas. Visto isso, a associação dos queimadores às tecnologias de geração de energia é recomendada como a melhor opção, sobretudo naqueles projetos que se utilizam da venda dos créditos de carbono de sua planta industrial.

Ressalta-se que os modelos de quantificação utilizados neste estudo diferem entre si, sendo que para a tecnologia do motogerador e da turbina foi adotada uma metodologia mais conservadora aprovada pelo conselho executivo de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo MDL da ONU (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) no qual se utiliza um conceito de margem combinada para determinar a intensidade de carbono teórica produto da

expansão do setor elétrico nacional. Já para a tecnologia do queimador, quase todo o metano produzido pelo biodigestor foi considerado na conversão para CO₂ (com desconto de 10% de perda pela eficiência da combustão dos queimadores), resultando em valores de mitigação e de créditos de carbono alcançados maiores que os das outras duas tecnologias.

Concentração

Na tecnologia da concentração a análise ambiental se voltou para a racionalização do uso da vinhaça na fertirrigação e pela redução do consumo de água nas plantas industriais que realizam a recirculação dos condensados.

Quanto à racionalização, resultado de aplicação de volumes reduzidos de vinhaça concentrada, essa característica agrega vantagens ambientais das mais diversas formas, desde a redução na utilização de fertilizantes minerais até a mitigação das emissões dos gases de efeito estufa.

Assim como na biodigestão, alguns dos potenciais impactos ambientais analisados para o caso da aplicação *in natura* no solo tendem a ser mitigados ou ampliados com a implantação do processo de concentração da vinhaça pela unidade fabril. Essa mitigação e/ou ampliação é alcançada através da racionalização do uso desse subproduto, resultado direto da redução em seu volume. Os itens a seguir retratam os ganhos potenciais advindos da concentração, sendo suas descrições apresentadas na Tabela 6:

- Redução das pressões antrópicas sobre os depósitos minerais.
- Redução do risco de arraste de vinhaça para os corpos d'água superficiais.
- Redução do risco de percolação da vinhaça para as águas subterrâneas.
- Mitigação das emissões dos gases de efeito estufa, CH₄ e N₂O, tanto pelo menor consumo de combustíveis fósseis e energia elétrica para o transporte e aplicação da vinhaça no campo (caminhões, hidrorolls, bombas de recalque, etc.), quanto pela menor exposição da vinhaça ao ambiente atmosférico desde sua produção até a sua aplicação.
- Redução e, em alguns casos, eliminação dos fortes odores advindos da fertirrigação com vinhaça.
- Redução da incidência de vetores.
- Redução da sobrecarga exercida sobre os pavimentos de rodovias estaduais e estradas vicinais, tanto pelo menor fluxo de caminhões quanto pela implantação de sistemas canalizados para o transporte de vinhaça, sendo este último viabilizado pela redução do volume a ser transportado e consequente redução das dimensões das tubulações e custos associados.

Já no âmbito da redução do consumo de água, calculou-se para a unidade produtiva padrão, estabelecida como modelo para este estudo, a redução anual no consumo de água obtida pela utilização do concentrador de vinhaça e utilização de seu condensado para usos menos exigentes dentro do processo produtivo, por exemplo, a limpeza da cana e dos pisos industriais.

O valor médio de captação e consumo de água adotado neste estudo foi de 1,85 m³/tcm¹ a partir dos parâmetros da usina padrão. A economia que a usina padrão apresentou com uma vazão afluyente para o processo de concentração de 100m³/h (79% do volume de vinhaça produzido) e utilização de 100% do condensado foi de 0,31 m³/tcm, o que significaria a redução da captação média para 1,51 m³/tcm.

Visto o aumento crescente da preocupação mundial com a possível escassez de água e a ampliação da regulação (cobrança) pelo consumo de água no Brasil, a economia obtida com a implantação do processo de concentração surge como um dos principais benefícios dessa tecnologia, cabendo aos empreendedores do setor sucroenergético a função de incluir mais esta variável na análise de viabilidade deste investimento.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Quanto à tecnologia da fertirrigação *in natura*, prática que já vem sendo utilizada há muitos anos no setor, apesar da constatação da sua viabilidade técnica e econômica, esta é uma prática que apresenta potenciais impactos ambientais negativos. As comunidades ao redor das áreas canavieiras convivem com fortes odores nas épocas de aplicação da vinhaça, há risco de poluição de cursos de água e das águas subterrâneas, entre outros; repercutindo negativamente na qualidade de vida desses cidadãos. Portanto, a prática da fertirrigação *in natura* associada a uma das outras tecnologias estudadas (biodigestão e concentração) surge como principal alternativa, uma vez que atua potencializando os benefícios advindos da fertirrigação e mitiga os impactos negativos ocasionados por essa prática. Não se pode esquecer que essa atividade, apesar de todos os potenciais impactos negativos, enquadra-se

como uma prática de reutilização de resíduos agrícolas, atuando na redução da pressão sobre as reservas de fertilizantes minerais e agregando competitividade a um setor de extrema relevância para a economia brasileira.

Em relação à tecnologia da biodigestão, apenas a tecnologia dos motogeradores apresentou um caso pontual de inviabilidade econômica, sendo os turbogeradores aqueles que apresentaram os maiores benefícios para os empreendedores. Contudo, a dificuldade de encontrar fabricantes brasileiros para máquinas geradoras de grande porte, como é o caso das usinas, onera o custo destes investimentos, retraindo possíveis aplicações nesta área. Já no perfil técnico, os três cenários se apresentaram altamente viáveis, uma vez que todas as tecnologias estudadas se encontram disponíveis no mercado e em utilização por usinas e destilarias, mesmo que de forma reduzida. No âmbito ambiental, todos os projetos de biodigestão confirmaram os seus vieses positivos, sobretudo pela sua contribuição à mitigação do aquecimento global pela redução das emissões dos gases de efeito estufa.

A tecnologia da concentração da vinhaça se apresentou como o caso mais complexo analisado neste trabalho. Apesar da sua incontestável viabilidade técnica e ambiental, justificadas pela diversificada oferta desta tecnologia no mercado especializado, pela sua crescente utilização por parte das usinas e destilarias e pelo padrão de sustentabilidade conferido às unidades industriais que optam pela sua utilização; no âmbito econômico os resultados não se apresentam tão favoráveis. Dentre as tecnologias que se demonstraram inviáveis economicamente, a concentração foi a que apresentou as condições mais desfavoráveis para a sua implementação. Contudo, a incorporação progressiva desta tecnologia nas unidades

¹ tcm: tonelada de cana moída

Tabela 8 – Síntese da análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental para aproveitamento da vinhaça.

Tecnologias	Viabilidade Técnica	Viabilidade Econômica	Viabilidade Ambiental
Aplicação <i>in natura</i>	Viável	Viável	Viável, adotando-se boas práticas na aplicação
Biodigestão	Viável	Viável, exceto para motogeradores (cenário II) a preços do Leilão A3-2011	Viável, sendo os queimadores a melhor opção para redução de GEE
Concentração	Viável	Inviável	Viável, disponibiliza água para o processo produtivo (0,31m ³ /tcm em uma usina padrão)

Fonte: elaboração própria.

agroindustriais brasileiras caminha na contramão dos resultados encontrados neste estudo. Essa divergência pode ter sido alcançada devido ao modelo utilizado para a valoração dos benefícios econômicos obtidos por esta tecnologia (economia com transportes e com o consumo de água). Portanto, recomenda-se que seja realizado um estudo de caso específico, sendo importante pormenorizar os benefícios obtidos com a redução do transporte, uma vez que esse item representa o custo mais oneroso da prática de fertirrigação e os volumes a serem aplicados são reduzidos significativamente; além dos benefícios obtidos com a recirculação da água retirada da vinhaça. A Tabela 8 apresenta a síntese dos resultados dessa pesquisa.

Em vista da generalidade assumida para alguns parâmetros deste estudo, não se espera, como de início, que ele sirva de parâmetro final para a tomada de decisão em investimentos futuros do setor. Contudo, pretende-se que a pesquisa seja utilizada com uma base sólida para estudos de caso mais complexos exigidos pelo tema, haja vista a importância dessas decisões no futuro e longevidade dos empreendimentos do setor sucroenergético.

CONCLUSÕES

Nesse estudo foi possível verificar que há viabilidade técnica e

ambiental para o uso da vinhaça *in natura*, para biodigestão, e concentração, no entanto, a viabilidade econômica só teve resultados positivos para aplicação *in natura* e biodigestão sendo que os preços dos leilões para energia renováveis influenciam diretamente e podem tornar seu uso inviável.

Apesar de a fertirrigação *in natura* ser o destino mais empregado para a vinhaça gerada em usinas de cana-de-açúcar, esse uso pode ser considerado menos eficiente que a biodigestão e a concentração. Isso porque a fertirrigação subutiliza a matéria orgânica com potencial para a geração de energia elétrica, subutiliza elevados volumes de água com potencial de reutilização no processo industrial, e não utiliza a energia térmica com potencial de utilização em outras etapas do processo industrial que se utilizam de calor.

A despeito das vantagens nutricionais para a cultura comprovado por muitos estudos científicos acerca da fertirrigação *in natura*, nota-se que parte considerável das unidades agroindustriais e destilarias do estado de São Paulo ainda não investem na potencialização do uso de seus subprodutos, seja pela falta de um setor de pesquisa e desenvolvimento em sua estrutura empresarial ou pela falta de capital/crédito para o investimento nessas novas tecnologias. Portanto, rotineiramente, experiências passadas desenvolvidas de forma

equivocada sob grande especificidade do local pesquisado e/ou utilizando conhecimentos ultrapassados se tornam justificativas para a não adoção de novas tecnologias.

Quanto ao uso de biodigestores associados a tecnologias geradoras de energia elétrica, é possível verificar que há pouca difusão no setor. A geração de energia elétrica por usinas é feita preferencialmente por cogeração a partir do bagaço de cana, abundante nas usinas. Os projetos que se utilizam do biogás dos biodigestores para geração de energia não estavam presentes nos leilões de energia de fontes renováveis (A-3) mais recentes, desestimulando investimentos nesses projetos. Ainda assim, a adoção da biodigestão pode ser desenvolvida em parceria com concessionárias de energia elétrica, como já ocorre na cogeração pelo bagaço da cana-de-açúcar no estado de São Paulo. Essas parcerias trazem benefícios tanto para a usina, por meio do aumento da produção de energética elétrica e da possibilidade de modernização de seu parque industrial, quanto para as concessionárias que veem a possibilidade de aumentar a oferta de energia elétrica em suas redes de distribuição, especialmente importantes em áreas com maior representatividade de termelétricas movidas a combustíveis fósseis.

Uma característica comum às unidades agroindustriais visitadas que não apresentaram projetos referentes à biodigestão da vinhaça

foi a falta de argumentos que inviabilizassem a utilização dessa tecnologia. A maioria das justificativas baseava-se em experiências passadas consideradas mal sucedidas, que apresentavam um nível tecnológico diferente do atual e que não deixaram significativo aporte de documentação (artigos, publicações e relatórios) que retratasse os motivos da interrupção de sua atividade. Os gestores desses empreendimentos, por meio de simples especulações, adotaram um posicionamento negativo quanto à viabilidade dessa tecnologia, demonstrado mais uma vez a ausência ou, ao menos, a ineficiência de seus setores de P&D.

Por fim, quanto à concentração, apesar da sua incontestável viabilidade técnica e ambiental do ponto de vista econômico, os resultados não foram favoráveis. Dentre as tecnologias que se demonstraram inviáveis economicamente, a concentração foi a que apresentou as condições mais desfavoráveis para a sua implementação. No entanto, considerando sua aplicação crescente, devem ser avaliados, caso a caso, os parâmetros econômicos aplicados neste estudo.

Outra questão relevante é que as tecnologias que reduzem a produção de vinhaça passaram a vigorar como a primeira opção no gerenciamento desse subproduto, uma vez que se torna mais sensato investir na redução da produção do que na remediação pós-produção. Uma dessas tecnologias, já disponível no mercado, tem como princípio básico a fermentação com teor alcoólico elevado (até 16%) em associação com leveduras adaptadas a essa condição, proporcionando uma menor relação de litros vinhaça por litro de etanol produzido. Dentre as vantagens destacadas estão, além da redução na produção de vinhaça, a economia de água e insumos químicos (antibióticos, ácidos e antiespumantes), sem que haja perdas de nutrientes para a vinhaça.

Apesar de a concentração parecer ter sido preterida, provisoriamente, por estas novas tecnologias, não se pode descartar o seu potencial de aplicação e, sobretudo, uma possível aplicação conjunta dessas tecnologias a fim de ampliar a eficiência na redução do volume de produção, facilitando o manejo e o retorno da vinhaça à lavoura.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudos aos pesquisadores Luiz Felipe Lomanto Santa Cruz e Carla Grigoletto Duarte e bolsa de produtividade em pesquisa a Eduardo Cleto Pires. À FAPESP pelo financiamento de projetos temáticos que permitiram a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALBERS, Mônica. **Tratamento da vinhaça**: concentração e outros. Workshop Tecnológico sobre Vinhaça. Jaboticabal, 10/10/2007. Disponível em <http://www.apta.sp.gov.br/cana/a_nexos/Position_paper_sessao4_monica_VS.pdf>. Acesso em 15 de maio de 2012.
- ANDRADE, J. **Construção de um Índice de Sustentabilidade Ambiental para a Agroindústria Paulista de Cana-de-Açúcar [ISAAC]**. 2009, 259 p. Dissertação (Mestrado Profissional). Escola de Economia de São Paulo, Faculdade Getúlio Vargas, São Paulo, 2009.
- BANCO CENTRAL BRASILEIRO. Histórico das taxas de juros fixadas pelo Copom e evolução da taxa Selic. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?COPOMJUIROS>>. Acesso em: 22 de ago. de 2011.
- BODDEY, R. et al. **Circular técnica**: mitigação das emissões de gases efeito estufa pelo uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil.

Seropédica-RJ: Embrapa-RJ, 2009. 14 p.

BRITO, F. et al. Efeito da aplicação de vinhaça nas características químicas de solos da zona da mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.4, n.4, p.456-462, out/dez. 2009.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar. 3º levantamento, janeiro/2011. Brasília: 2011

CRUZ, L. F. L. S. **Viabilidade técnica/econômica/ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça para o setor sucroenergético do Estado de São Paulo**. 2011. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

ELIA NETO, A.; SHINTAKU, A. As boas práticas industriais. In: ANA; FIESP; UNICA; CTC. **Manual de Conservação e Reúso de Água na Agroindústria Sucroenergética**. Brasília: Agência Nacional das Águas, 2009. Capítulo 6, p.183-256.

FIGUEIREDO, P; CORTEZ, L. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do instituto agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO, L. et al. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 31-44.

FREIRE, W. J; CORTEZ, L.A.B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. (Série Engenharia Agrícola).

LUZ, P.H.C. Novas tecnologias no uso da vinhaça e alguns aspectos legais. II Simpósio de Tecnologia de Produção de Cana-de-Açúcar. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2005.

MADEJÓN, E, et al. Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a Cambisol soil in the Guadalquivir river valley (SW Spain). **Agriculture, Ecosystems**

and Environment, v. 84, n.1, p.55-65, 2001.

ROSSETTO, R. et al. Potássio. In: DINARDO, L. et al. **Cana-de-Açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. P. 289-312.

SALOMON, K. R. Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Itajubá. 2007.

SILVA, M.; GRIEBELER, N.; BORGES, L. Uso da vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.11, n.1, p. 108-114, 2006.

SILVA, M.; GRIEBELER, N.; BORGES, L. Uso da vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.11, n.1, p. 108-114, 2006.

Recebido em: ago/2012

Aprovado em: out/2013

Efeito da vinhaça na membrana impermeabilizante usada nos tanques de armazenamento

Effect of vinasse on impermeable geomembrane used in storage tanks

RESUMO

Esse trabalho avaliou o efeito da vinhaça (resíduo da cana-de-açúcar) em geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD) tendo-se em vista que esta é lançada a temperaturas de 80-90°C sobre a geomembrana nos tanques de armazenamento. Objetivou-se avaliar a resistência da geomembrana em contato com esse resíduo num período total de avaliação de quatro (4) meses. Foram avaliadas as propriedades físicas, mecânicas e análise termogravimétrica (TGA) para avaliação da degradação das membranas poliméricas frente aos resíduos químicos utilizados. Os resultados obtidos mostram que, de forma geral, a vinhaça afetou significativamente as geomembranas em alguns aspectos, como por exemplo, a espessura do material que variou em 7,8% (aumento). Considerando-se os valores médios nas duas direções, observou-se para o escoamento uma expressiva perda de resistência à tração (34,13%) e deformação (23,48%) e um aumento no módulo de elasticidade (9,63%). Para a ruptura, o comportamento foi semelhante. Houve perda de 32% para a resistência à tração e 24,4% para a deformação. Houve pequena perda de resistência ao rasgo (4,72%) e ligeiro aumento na resistência ao puncionamento (7,9%) após a imersão das geomembranas. Os ensaios de TGA não conseguiram detectar evidências de degradação nas amostras de geomembranas após as exposições, mas identificaram problemas na qualidade do material fornecido.

PALAVRAS-CHAVE: Vinhaça, Geomembranas, Propriedades físicas e mecânicas.

ABSTRACT

This work evaluated the effect of vinasse (residue from sugar cane) in high density polyethylene (HDPE) geomembranes having in mind that it is deposited at temperatures of 80-90°C on the geomembrane in storage tanks. The objective was to evaluate the resistance of the geomembrane in contact with residue in a total period of 4 months. Physical and mechanical tests, and thermogravimetric analysis (TGA) were used to determine degradation of polymer membranes after chemical immersion. In general, the results obtained show that the vinasse affected the geomembranes significantly in some aspects, for instance, the thickness of the material presented a variation of 7.8%. The average values in both directions at yielding showed a significant loss of tensile strength (34.13%) and strain (23.48%) and an increase in the modulus of elasticity (9.63%). At the rupture the behavior presented the same trend: a loss of 32% for tensile strength and 24.4% for the deformation were observed. Tear strength presented small decrease (4.72%) and puncture resistance a increase of 7.9% after immersion of geomembranes. The TGA tests were not efficient to detect evidence of degradation in samples of geomembranes after exposures, but identified problems in the quality of the supplied material.

KEYWORDS: Vinasse, Geomembranes, Physical and mechanical properties.

Fernando Luiz Lavoie
Mestre em Engenharia Geotécnica, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP)
São Carlos, SP, Brasil
fllavoie@yahoo.com.br

Benedito de Souza Bueno
Professor Titular - Escola de Engenharia de São Carlos (EESC – USP)
São Carlos, SP, Brasil
bsbueno@sc.usp.br

Paulo César Lodi
Professor Doutor - Faculdade de Engenharia de Bauru (UNESP)
Bauru, SP, Brasil
plodi@feb.unesp.br

INTRODUÇÃO

Devido ao Programa Nacional do Álcool (Proálcool) criado em 1975 e que atualmente mostra-se como grande ferramenta para a obtenção do álcool como combustível, as áreas de produção de cana-de-açúcar aumentaram significativamente na região Centro-Oeste do Brasil e também na região Noroeste do estado de São Paulo. Em face desse aumento da produção de álcool, aumenta-se também a produção de vinhaça, um subproduto oriundo da sua fabricação. Dos efluentes líquidos da indústria sucroalcooleira, a vinhaça é a que possui maior carga poluidora, apresentando DBO variando de 20.000 a 35.000 mg.L⁻¹. A depender das condições tecnológicas da destilaria, para cada litro de álcool produzido, a quantidade despejada de vinhaça por litro de álcool pode variar de 10 a 18 litros. A temperatura da vinhaça que sai dos aparelhos de destilação é de 85 a 90°C e seu lançamento têm sido estudado com ênfase nos efeitos no pH do solo, propriedades físico-químicas e na cultura da cana-de-açúcar. No entanto, não existe ainda uma avaliação do real potencial poluidor da vinhaça. No contexto ambiental sua aplicação vem sendo contestada pelos seus efeitos no solo e nas águas subterrâneas. Isso por conta da adoção da fertirrigação de plantações de cana-de-açúcar pela maioria das destilarias brasileiras em virtude dos elevados níveis de matéria orgânica e nutrientes, principalmente potássio que a vinhaça possui (CUNHA et al., 1981; ROSSETTO, 1987; LYRA et al., 2003).

Vinhaça

A vinhaça é o produto de calda na destilação do licor de fermentação do álcool de cana-de-açúcar. Também conhecido como restilo, vinhoto ou garapão. A norma P4.231 da CETESB define a vinhaça como um líquido derivado da

destilação do vinho, que é resultante da fermentação do caldo da cana-de-açúcar ou melaço. A elevada concentração de sódio na vinhaça é indesejável já que pode causar condições nocivas ao solo e às plantas (GEMTOS et al., 1999).

De acordo com FREIRE e CORTEZ (2000), a vinhaça é efluente de destilarias com alto poder poluente e alto valor fertilizante. Seu poder poluente, cerca de cem vezes maior que o do esgoto doméstico, decorre da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além de elevada temperatura na saída dos destiladores. É considerada altamente nociva à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces, além de afugentar a fauna marinha que vem às costas brasileiras para procriação. ROSSETO (1987) esclarece que o constituinte principal da vinhaça é a matéria orgânica, basicamente sob a forma de ácidos orgânicos e, em menor quantidade, por cátions como o potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), sendo que sua riqueza nutricional está ligada à origem do mosto. Quando se parte de mosto de melaço, apresenta maiores concentrações em matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio, ao passo que esses elementos decaem consideravelmente quando se trata de mosto de caldo de cana, como é o caso de destilarias autônomas. A norma P4.231 (CETESB) regulamenta que a concentração máxima de potássio no solo não poderá exceder 5% da Capacidade de Troca Catiônica – CTC. Quando esse limite for atingido, a aplicação de vinhaça ficará restrita à reposição desse nutriente em função da extração média pela cultura, que é de 185 kg de K₂O por hectare por corte. A CETESB determinou que, a contar da primeira safra após a publicação da Norma Técnica P4.231 em dezembro de 2006, as agroindústrias do setor sucroalcooleiro no Estado de São Paulo, por meio de suas entidades representativas e com a participação

de entidades de pesquisas científicas, deverão promover estudos para a avaliação da qualidade das águas subterrâneas, do solo e avaliação dos parâmetros adotados na fórmula de dosagem da vinhaça.

Armazenamento e impermeabilização

A norma P4.231 (CETESB) prescreve os critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça no solo. Dentre estes, está a profundidade do nível d'água do aquífero livre, no momento de aplicação de vinhaça que deve ser, no mínimo, de 1,50 m (um metro e cinquenta centímetros). A mesma norma refere-se aos tanques de armazenamento de vinhaça. Estes deverão ser impermeabilizados com geomembrana (GM) impermeabilizante ou outra técnica de igual ou superior efeito. A norma enfatiza também que os canais mestres ou primários de uso permanente para distribuição de vinhaça durante o período da safra deverão ser impermeabilizados com geomembrana impermeabilizante ou outra técnica de igual ou superior efeito.

As geomembranas são materiais poliméricos utilizadas potencialmente em obras geotécnicas e/ou ambientais. Sua principal função é atuar como barreira para líquidos e/ou vapores devido à sua baixa permeabilidade que é da ordem de 10⁻¹¹ cm/s (LODI, 2003; ROWE et al., 2009). No Brasil, as geomembranas mais utilizadas são as de polietileno de alta densidade (PEAD) e de poli cloreto de vinila (PVC) (LODI, 2003). Em sistemas de impermeabilização da base e cobertura de aterros sanitários, por exemplo, as geomembranas mais utilizadas são as de PEAD, devido principalmente à sua alta resistência química. Devido à sua utilização em obras ambientais e de contenção, as geomembranas

entram em contato direto com produtos químicos podendo alterar suas propriedades de resistência e de desempenho comprometendo sua estanqueidade e, portanto, do sistema como um todo. Em usinas de produção de álcool, as geomembranas são utilizadas em canais de armazenamento da vinhaça que é lançada a temperaturas de 80 a 90°C. Com a exposição química, pode ocorrer uma alteração na composição do material, cujas propriedades mecânicas podem também se alterar. Efeitos sinérgicos aumentam o nível de degradação do material se sujeito a altas temperaturas e quando sob tensões mecânicas durante tempo prolongado (KOERNER *et al.*, 1992). Quanto mais agentes agressivos atuarem simultaneamente, mais a geomembrana será atacada e, conseqüentemente, menor será sua resistência. Dessa forma, a primeira etapa em um projeto com geomembranas é a verificação de sua compatibilidade química. As principais normas específicas para avaliação da resistência química de geomembranas são a EPA 9090 (USEPA), ASTM D5747, ISO 12960 e EN 14414. LODI e BUENO (2003) sugerem que o método brasileiro L1.030 prescrito pela CETESB também pode ser utilizado para avaliar a compatibilidade de geomembranas em contato com resíduos. Porém, este método apresenta muitas deficiências e é semelhante ao método 9090 da EPA.

As análises da compatibilidade entre a GM e o resíduo são baseadas na comparação entre as propriedades intactas e após imersão dos materiais por determinados períodos. As principais análises envolvem as propriedades físicas, mecânicas e térmicas dos materiais poliméricos. Diversos autores têm relatado as variações que geralmente ocorrem nessas avaliações. As principais pesquisas foram realizadas por DUZIK AND TISINGER (1990); ARTIERES *et al.*

(1991); OZSU and ACAR (1992); OVERMANN *et al.* (1993); SURMANN *et al.* (1995); DUQUENNOI *et al.* (1995); LORD *et al.* (1995); GUMARGLIEVA *et al.* (1996); MAISONNEUVE *et al.* (1998). Pesquisas de campo e laboratório foram realizadas também por HSUAN *et al.* (1991); HSUAN and KOERNER (1998); SANGAM and ROWE (2002); ROWE *et al.* (2004); RIMAL *et al.* (2004); ROWE (2005) e STARK *et al.* (2005) para mostrar que as geomembranas degradam com o tempo e ilustrar os diferentes aspectos da compatibilidade química. As principais conclusões dessas pesquisas são de que as geomembranas não devem apenas resistir quimicamente aos resíduos e contaminantes, mas também devem manter-se química e mecanicamente estáveis (duráveis) ao longo de sua vida útil. Outros trabalhos como HSUAN and KOERNER (1998), SANGAM and ROWE (2002), RIMAL *et al.* (2004), GULEC *et al.* (2004), ROWE *et al.* (2009) e ROWE *et al.* (2010) apresentam discussões sobre a severidade do envelhecimento em função do tempo de exposição em função dos resíduos e da temperatura de incubação.

Dentro desse contexto, esse trabalho avaliou a compatibilidade química de geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD) expostas à vinhaça tendo-se em vista que esta é lançada a 90°C sobre a geomembrana nos tanques de armazenamento. O objetivo é a avaliação da resistência da geomembrana em contato com esse resíduo. O período total de avaliação foi de quatro meses. Foram avaliadas as propriedades físicas, mecânicas, teor de negro de fumo e análise termogravimétrica (TGA) para avaliação da degradação das membranas poliméricas.

MATERIAL E MÉTODOS

Compatibilidade entre os resíduos e as geomembranas

A compatibilidade química foi realizada de acordo com os métodos de ensaio EPA 9090A e ASTM D5747. O método em si consiste em imergir amostras de geomembranas em uma solução química com temperatura de 50°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) com o intuito de avaliar os efeitos químicos decorrentes desta exposição. Foram utilizados tanques de exposição constituídos de aço inoxidável, com dimensões de 300 mm de comprimento x 300 mm de largura x 350 mm de altura. Os tanques possuíam tampa para vedação e fios metálicos para suspensão das amostras, de modo que as mesmas ficassem devidamente distanciadas entre si e não tocassem as paredes ou o fundo do tanque, permitindo a livre circulação da solução (Figura 1a). O equipamento utilizado para aquecer os tanques de exposição (que contém as amostras de geomembranas e as soluções químicas) é composto por uma caixa metálica aberta, equipada com duas resistências, um termostato para controle da temperatura e dispositivo mecânico para manter o nível de água constante (Figura 1b). O equipamento tem capacidade para quatro tanques de exposição.

A vinhaça foi obtida em usina de cana-de-açúcar da região de Araraquara (SP). O período de exposição e de avaliação das amostras foi de 2880 horas (120 dias), de acordo com prescrições da EPA 9090A. As verificações foram feitas apenas para 120 dias uma vez que se desejava buscar apenas o resultado final da análise tendo em vista que geomembranas ensaiadas anteriormente (LODI, 2003) apresentaram tendência de comportamento no sentido de diminuição da resistência e da deformação. Evidentemente, que o ideal seria a realização de testes em tempos intermediários (EPA 9090), para se verificar as possíveis tendências de variação nas propriedades acompanhadas. Após o período de exposição, as amostras foram devidamente enxaguadas

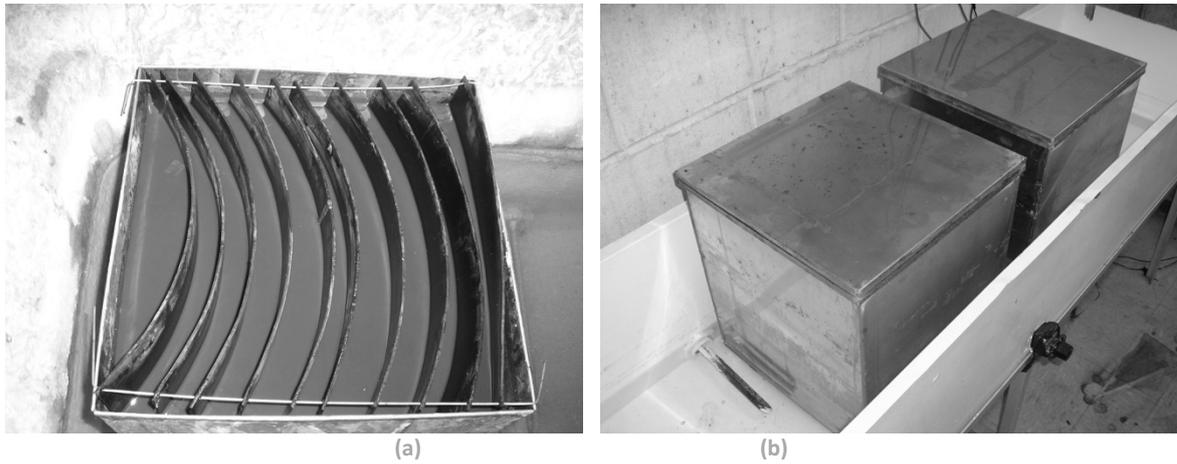


Figura 1 - (a) Tanque de exposição com amostras devidamente distanciadas; e (b) Equipamento utilizado para aquecer o resíduo, contendo dois tanques de exposição.

com água e secas com toalhas de papel absorvente para remover qualquer líquido visível na superfície das amostras.

A composição química da vinhaça está apresentada na Tabela 1.

Material e ensaios realizados

Foram utilizadas geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD) de 2,0 mm de espessura fabricadas e comercializadas por empresas nacionais. A CETESB (método L1.030) recomenda que essas mantas poliméricas apresentem espessura mínima de 1,5 mm. Os ensaios foram realizados de acordo com as normas da ASTM, a saber: determinação da espessura (ASTM D5199), determinação da densidade (ASTM D792), propriedades de tração (ASTM D6693), resistência ao rasgo (ASTM D1004), resistência ao puncionamento (ASTM D4833), dispersão de negro de fumo (ASTM D5596) e ensaio de TGA (ASTM E1131). O equipamento utilizado para a realização dos ensaios mecânicos (Figura 2) possui características próprias de controle e execução, assim como de aquisição e armazenamento direto

Tabela 1 - Caracterização da vinhaça utilizada.

Parâmetros	Resultados	Unidade
Condutividade Elétrica	4,83	mS
Dureza Total	5.600,0	mg/L
Nitrogênio Amonio	6,03	mg/L
Nitrogênio Nitrato	3,52	mg/L
Nitrogênio Nitrto	1,20	mg/L
pH	5,10	
Sódio	17,0	mg/L
Sulfato	283,0	mg/L
D.B.O.	10142	mg/L
D.Q.O.	37119	mg/L
Potássio	621	mg/L
Nitrogênio de Kjeldahl	418	mg/L
Fosfato	52,3	mg/L
Resíduo Não Filtrável Total	25000	mg/L
Cálcio	295,0	mg/L
Magnésio	188,00	mg/L

dos resultados obtidos via interface gráfica com um microcomputador acoplado ao sistema.

Análise Termogravimétrica (ensaio de TGA)



Figura 2 - Vista do equipamento utilizado para a realização dos ensaios mecânicos

O equipamento utilizado neste ensaio possui um analisador termogravimétrico que permite a medida contínua da massa do corpo de prova de uma amostra com exatidão de 0,1 µg. Foram utilizados corpos de prova com massas de 10 a 15 mg aquecidos a razão de 20°C/min. A primeira etapa do ensaio consiste em utilizar gás inerte (nitrogênio) aquecendo o corpo de prova até a temperatura de 560°C. Esta temperatura é mantida por 10 minutos até que não ocorra perda de massa. Nesta etapa do ensaio determina-se a perda de massa correspondente ao polietileno. A segunda etapa do ensaio consiste em injetar gás reativo (ar) aquecendo o corpo de prova até a temperatura de 800°C para oxidar o negro de fumo. Nesta etapa determina-se a quantidade de cinzas existente na amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio Físicos e Mecânicos

As Tabelas 2 a 5 apresentam os resultados dos ensaios de densidade, de tração, de espessura, de rasgo e de punção realizados com as geomembranas intactas e imersas na vinhaça. Esses resultados podem ser visualizados na Figura 3 que apresenta as variações das propriedades considerando as duas direções para os parâmetros de resistência e deformabilidade conforme sugerem HSUAN & KOERNER (1998), KOERNER (1998), LODI (2003) e ROWE *et al.* (2009), ou seja, preferencialmente gráficos comparativos ilustrando os valores retidos das propriedades avaliadas. A Figura 4 que apresenta os resultados dos ensaios de rasgo e de punção.

Analisando-se os resultados das Tabelas 4 e 5 nota-se que a amostra imersa na vinhaça apresentou aumento de 7,80% na espessura. Esse aumento geralmente está relacionado à absorção de componentes do resíduo pela geomembrana como exposto em Koerner et al. (1992) e Lodi (2003). Em relação à densidade, nota-se que a amostra apresentou variações irrelevantes (diminuição de 0,46%).

Analisando a Figura 3, observa-se uma excessiva diminuição na resistência à tração no escoamento (41,02% na direção longitudinal e 27,24% na direção transversal), uma expressiva diminuição na deformação específica (29,75% na direção longitudinal e 17,20% na direção transversal) e um aumento no módulo de elasticidade (14,23% na direção longitudinal e 5,03% na direção transversal). Esse comportamento está associado à perda de resistência que ocorre nas geomembranas quando em contato com resíduos químicos. No caso específico, a geomembrana perde resistência e apresenta diminuição em sua deformabilidade considerando-se o escoamento. O material tornou-se mais rígido podendo apresentar início de fissuramento e, portanto, da sua função impermeabilizante. Deve-se levar em conta que a variação dos parâmetros de resistência e deformabilidade não afetam o desempenho global da geomembrana. Não existe norma

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de tração e de densidade realizados na amostra virgem

CP	Tração no Escoamento						Tração na Ruptura						Densidade (g/cm ³)
	Direção Longitudinal			Direção Transversal			Direção Longitudinal			Direção Transversal			
	σ (MPa)	ε (%)	E (MPa)	σ (MPa)	ε (%)	E (MPa)	σ (MPa)	ε (%)	E (MPa)	σ (MPa)	ε (%)	E (MPa)	
1	17,69	17,67	332,4	18,88	17,38	348,2	26,07	752,3	680,7	28,83	766,1	686,2	0,9499
2	18,61	19,40	318,3	18,89	17,38	334,0	31,13	872,6	596,2	34,21	917,6	628,3	0,9511
3	18,52	19,40	329,8	18,14	17,88	333,5	26,86	795,5	751,9	29,01	792,5	707,6	0,9486
4	18,21	20,84	297,4	17,64	18,17	314,0	29,65	846,2	614,4	28,40	787,7	719,4	0,9468
5	18,49	17,67	352,6	19,13	18,46	339,4	23,50	703,8	667,7	29,28	794,9	766,1	0,9495
Média	18,31	18,99	326,1	18,54	17,85	333,8	27,44	794,1	662,2	29,95	811,8	701,5	0,9492
C.V. (%)	2,04	7,09	6,21	3,36	2,69	3,77	10,97	8,63	9,26	8,04	7,42	7,17	0,17

σ = resistência à tração; ε = deformação; E = módulo de elasticidade; CV = coeficiente de variação.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de espessura, rasgo e punção realizados na amostra virgem

Ensaio	Espessura	Rasgo		Punção
		Dir. Longitudinal	Dir. Transversal	
Unidade	mm	N	N	N
Valor Médio	2,032	307,0	311,3	711,2
C.V. (%)	4,54	5,88	5,43	4,82

Tabela 4 - Resultados dos ensaios de tração e de densidade realizados na amostra imersa na vinhaça

CP	Tração no Escoamento						Tração na Ruptura						Densidade (g/cm ³)
	Direção Longitudinal			Direção Transversal			Direção Longitudinal			Direção Transversal			
	σ (MPa)	ϵ (%)	E (MPa)	σ (MPa)	ϵ (%)	E (MPa)	σ (MPa)	ϵ (%)	E (MPa)	σ (MPa)	ϵ (%)	E (MPa)	
1	11,08	14,42	359,7	10,68	13,05	432,0	21,18	644,6	499,5	16,69	492,8	558,1	0,9446
2	10,74	12,19	428,2	11,06	13,92	388,5	15,27	479,8	524,2	24,57	756,6	539,9	0,9444
3	10,59	13,41	329,8	18,71	17,38	231,3	19,95	639,3	430,0	19,39	630,3	428,1	0,9448
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9446
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9455
Média	10,80	13,34	372,5	13,49	14,78	350,6	18,8	587,9	484,6	20,2	626,6	508,7	0,9448
C.V. (%)	2,29	8,39	13,55	33,58	15,49	30,12	16,59	15,93	10,08	19,81	21,06	13,84	0,047

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de espessura, rasgo e punção realizados na amostra imersa na vinhaça

Ensaio	Espessura	Rasgo		Punção
		Dir. Longitudinal	Dir. Transversal	
Unidade	mm	N	N	N
Valor Médio	2,191	292,5	313,4	767,1
C.V. (%)	1,56	0,71	2,53	5,28

Tabela 6 - Parâmetros obtidos a partir dos resultados dos ensaios de TGA

Parâmetro	Unidade	Intacta	Vinhaça
Polietileno	%	97,95	97,85
Negro de fumo+ cinzas	%	2,05	2,15
Negro de fumo	%	1,78	2,00
Cinzas	%	0,27	0,15
Temperatura com 5% de perda de massa	°C	426,42	427,47
Temperatura com 50% de perda de massa	°C	476,79	473,18

específica para a quantificação dessas variações. A literatura cita algumas variações baseadas na experiência dos autores conforme KOERNER (1998).

O comportamento em tração na ruptura demonstrou redução na resistência à tração (31,49% na

direção longitudinal e 32,50% na direção transversal), na deformação específica (25,97% na direção longitudinal e 22,82% na direção transversal), e no módulo de elasticidade (26,82% na direção longitudinal e 27,48% na direção transversal).

Comparando-se os valores das tabelas 3 e 5, verifica-se que houve diminuição na força necessária para iniciar o rasgo da geomembrana na direção longitudinal (4,72%) e, ligeiro aumento (0,67%) na direção transversal. Os resultados do ensaio

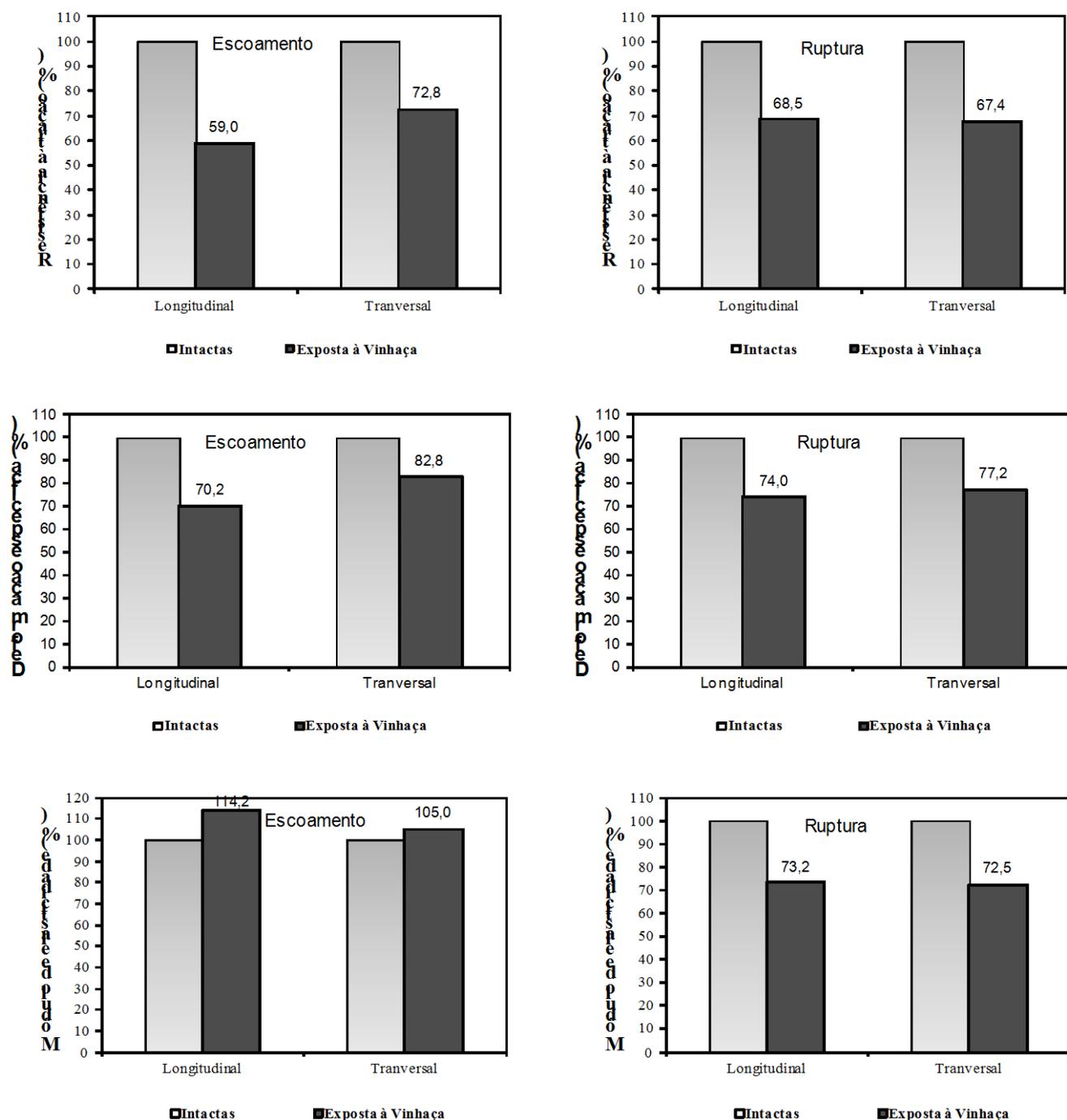


Figura 3 – Variação das propriedades mecânicas (escoamento e ruptura)

de punção apresentaram aumento de 7,86% na resistência ao puncionamento. A Figura 4 apresenta as variações ocorridas nos ensaios de rasgo e de puncionamento.

Ensaio de TGA (Análise Termogravimétrica)

Os parâmetros obtidos a partir dos resultados destes ensaios podem ser vistos na Tabela 6. Foram obtidas as porcentagens de cada componente da geomembrana, assim como as temperaturas de decomposição do polietileno com 5% e 50% de perda de massa.

Observou-se uma quantidade de negro de fumo adicionada ao PEAD para a amostra virgem (1,78%) inferior ao que prescreve a GM 13 (GRI) donde as geomembranas devem apresentar de 2 a 3% de negro de fumo. Para a amostra exposta à vinhaça, as temperaturas de decomposição do polietileno

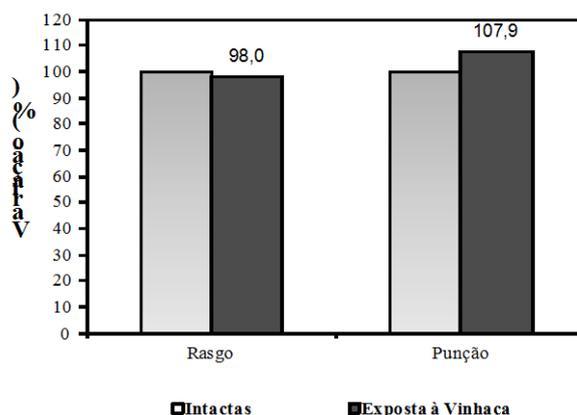


Figura 4 – Variação da resistência ao rasgo (valor médio) e ao puncionamento.

Tabela 7 – Limites sugeridos nas propriedades das geomembranas (KOERNER, 1998 – modificado)

Polímeros termofixos e termoplásticos (PVC, por ex.)		
Propriedade	Resistente	Não Resistente
Taxa de permeação (g/m ² /hr)	< 0.9	> 0.9
Variação no peso (%)	< 10	> 10
Variação no volume (%)	< 10	> 10
Variação na resistência à tração (%)	< 20	> 20
Variação da deformação na ruptura (%)	< 30	> 30
Variação no módulo de elasticidade a 100 ou 200% (%)	< 30	> 30
Variação na dureza (pontos)	< 10	> 10
Polímeros semicristalinos (HDPE, por ex.)		
Propriedade	Resistente	Não Resistente
Taxa de permeação (g/m ² /hr)	< 0.9	≥ 0.9
Variação no peso (%)	< 2.0	≥ 2.0
Variação no volume (%)	< 1.0	≥ 1.0
Variação na resistência à tração no escoamento (%)	< 20	≥ 20
Variação na deformação no escoamento (%)	< 30	≥ 30
Variação no módulo de elasticidade (%)	< 30	≥ 30
Variação na resistência ao rasgo (pontos)	< 20	≥ 20
Variação na resistência ao puncionamento (pontos)	< 30	≥ 30

apresentaram pequenas variações (aumento de 0,25% para a temperatura com 5% de perda de massa e diminuição de 0,76% para a temperatura com 50% de perda de massa) quando comparadas à amostra virgem.

De forma geral, percebe-se que a vinhaça afetou significativamente as geomembranas em alguns aspectos chegando a alterar a espessura do material em cerca de 7,8%. Verifica-se também uma diminuição média

na resistência e deformabilidade (escoamento) de 34% e 23,5%, respectivamente. Houve um aumento médio na rigidez de 7,8% e uma pequena diminuição na resistência média ao rasgo (2,7%). Deve-se levar em conta que as geomembranas ficaram expostas por 120 dias nesses resíduos à temperatura de 50°C e o efeito esperado era de que realmente os materiais apresentassem alterações em suas propriedades. O importante dessa análise é avaliar se existe uma

tendência de comportamento das propriedades das geomembranas em contato com os resíduos. De certa forma, percebe-se que o material apresenta perda de resistência e deformabilidade com a exposição, mas que não chega a comprometer o desempenho do material tendo em vista que a literatura corrente (KOERNER, 1998) refere-se a essas variações dentro de limites aceitáveis (Tabela 7).

Outro fator importante é que as análises térmicas mostraram que

a composição da geomembrana não está de acordo com os padrões exigidos (LODI, 2003). Esse fato pode alterar as propriedades de resistência do material ainda mais sob o efeito pronunciado de temperatura como acontece com a vinhaça ao ser lançada sobre a geomembrana. Com o comprometimento da função impermeabilizante, o resíduo irá contaminar o solo e o lençol freático.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos conclui-se que:

- Não houve variação significativa para a densidade (diminuição de 0,48%) e espessura (aumento de 7,8%) das geomembranas após a exposição;
- Considerando-se os valores médios nas duas direções, observou-se para o escoamento uma expressiva perda de resistência à tração (34,13%) e deformação (23,48%) e um aumento no módulo de elasticidade (9,63%). O material tornou-se mais rígido. Para a ruptura, o comportamento foi semelhante. Houve perda de 32% para a resistência à tração e 24,4% para a deformação. Houve pequena perda de resistência ao rasgo (4,72%) e ligeiro aumento na resistência ao punção (7,9%) após a imersão das geomembranas;
- Os ensaios de TGA não conseguiram detectar evidências de degradação nas amostras de geomembranas após as exposições, mas identificaram problemas na

qualidade do material fornecido;

- No geral, as variações ocorridas nas amostras demonstram que o ensaio acelerado foi útil para promover a degradação das membranas poliméricas imersas na vinhaça e, portanto, servir de parâmetro para análises futuras bem como avaliar a tendência de comportamento dos materiais expostos;
- Em se tratando do processo impermeabilizante, a geomembrana demonstrou resistência adequada cumprindo sua função. No entanto, deve-se atentar para o fato de que o material deve ser analisado e ensaiado corretamente para que não ocorra a degradação deste e, portanto, a contaminação do solo e lençol freático.

REFERÊNCIAS

- ARTIERES, O., GOUSSE, F. & PRIGENT, E. **Laboratory - Aging of Geomembranes in Municipal Landfill leachates**. Proceedings Sardinia 91, Italy, pp.587-603, 1991.
- ASTM D1004. Test Method for Initial Tear Resistance of Plastic Film and Sheeting, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2009.
- ASTM D4833. Test Method for Index Puncture Resistance of Geotextiles, Geomembranes and Related Products, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2007.
- ASTM D5199. Measuring Nominal Thickness of Geotextiles and Geomembranes, American Society for Testing and Materials, West

Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2006.

ASTM D5596. Standard Test Method for Microscopic Evaluation of the Dispersion of Carbon Black in Polyolefin Geosynthetics, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2003.

ASTM D5747. Standard Practice for Tests to Evaluate the Chemical Resistance of Geomembranes to Liquids, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2008.

ASTM D6693. Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Nonreinforced Polyethylene and Nonreinforced Flexible Polypropylene Geomembranes, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2010.

ASTM D792. Specific Gravity and Density of Plastics by Displacement, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2008.

ASTM E1131. Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2008.

BS EN 14414. Geosynthetics. Screening test method for determining chemical resistance for landfill applications, British Standards, 2004.

CETESB, P4.231. **Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**, 12 p., 2006.

CUNHA, R. C. A.; COSTA, A. C. S.; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. **Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I – physical and chemical aspects**. Water Science Technology, v.19, n.8, p.155-165, 1981.

- DUDZIK, B. E.; TISINGER, L. G. **Geosynthetic Testing for Waste Containment Applications**, ASTM STP 1081, Robert M. Koerner, editor, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990.
- DUQUENNOI, C., BERNAHRD, C., GAUMET, S. **Laboratory Aging of Geomembranes in Landfill Leachates**. Proceedings Sardina 95, Fifth International Landfill Symposium, Italy, 1995, pp. 397-404, 1995.
- EPA METHOD 9090. **Compatibility Tests for Wastes and Membrane liners in EPA SW-846**, Test Methods for Evaluating Solid Waste, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 1990.
- FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 203p., 2000.
- GEMTOS, T. A.; CHOULIARAS, N.; MARAKIS, S. **Vinasse rate, time of application and compaction effect on soil properties and durum wheat crop**. Journal of Agriculture and Engineering Research, v.73, n.3, p.283-296, 1999.
- GRI TEST METHOD GM13. Test Properties, Testing Frequency and Recommended Warranty for High Density Polyethylene (HDPE) Smooth and Textured Geomembranes, 2000.
- GULEC, S.B., EDIL, T.B., & BENSON, C.H. **Effect of acidic mine drainage on the polymer properties of an HDPE geomembrane**. Geosynthetics International, 2(11): 60-72, 2004.
- GUMARGALIEVA, K.Z., IVANOV, V.B., ZAIKOV, G.E., MOISEEV, JU.V. & POKHOLOK, T.V. **Problems of ageing and stabilization of poly(vinyl chloride)**. Polymer Degradation and Stability. 52. 73-79, 1996.
- HSUAN, Y.G., LORD Jr., A.E., KOERNER, R.M. **Effects of outdoor exposure on high density polyethylene geomembrana**. Geosynthetics 91 Conference Proceedings, Atlanta, USA. IFIA, St Paul, MN, USA, pp.287-302, 1991.
- HSUAN, Y.G., KOERNER, R.M. **Antioxidant depletion lifetime in high density polyethylene geomembranes**. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE, 532-541, 1998.
- ISO/TR 12960. **Geotextiles and geotextile-related products -- Screening test method for determining the resistance to liquids**, International Organization for Standardization, 1998.
- KOERNER, R. M.; HALSE, Y. H.; ARTHUR, E. L. **Long Term Durability and Aging of Geomembranes, Waste Containment Systems: Construction, Regulation, and Performance**, Edited by Rudolph Bonaparte, 1992.
- KOERNER, R.M. **Designing with Geosynthetics**, 3rd Ed. Prentice Hall Publ. Co., Englewood Cliffs - págs 426 - 469, 1998.
- LODI, P. C.; BUENO, B. S. **Analysis of aging and degradation of HDPE and PVC geomembranes**. Proceedings of the Seventh International Conference on Geosynthetics, pp. 523-526. Nice - France, 2002.
- LODI, P. C. **Aspectos de degradação de geomembranas poliméricas de polietileno de alta densidade e de poli cloreto de vinila**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), Brasil, (2003).
- LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. **Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.525-532, 2003.
- MAISONNEUVE, C.; PIERSON, P.; DUQUENNOI, C.; MORIN, A. **Assessing the long term behavior of geomembranes in multi-factor environments**. Proceedings of the 6th International Conference on Geosynthetics, Vol.1, pp.355-358. Atlanta, USA, 1998.
- MÉTODO L1.030. **Membranas impermeáveis e resíduos - avaliação da compatibilidade**, Companhia de Tecnologia e Saneamento ambiental (CETESB), 1990.
- OVERMANN, L.K., COWLAND, J.W., MATTRAVERS, N.K., SHUNG, W.K., LEE, B.S., and WAN, C.H. **Chemical Resistance Testing of Liner Materials for Hong Kong Landfills**. Proceedings Sardina 93, Fourth International Landfill Symposium, pp. 333- 347, 1993.
- OZSU, E. & ACAR, Y.B. **Liquid Conduction Tests for Geomembranes**. Geotextiles and Geomembranes, vol. 11, pp. 291 a 318, Elsevier Science Publishers Ltd, 1992.
- RIMAL, S.; ROWE, R. K.; HANSEN, S. **Durability of geomembrane exposed to jet fuel A-1**. In: Proceedings of 57th Canadian Geotechnical Conference, Quebec City, October, BiTech Publishing Ltd, Richmond, British Columbia, pp. 13-19. Canada, 2004.
- ROSSETTO, A. J. **Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira**. In: Paranhos, S.B. (ed.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, v.2, p.435-504, 1987.
- ROWE, R. K; QUIGLEY, R. M.; BRACHMAN, R. W. I; Booker, J. R. **Barrier Systems for Waste Disposal Facilities**, 2nd ed. Spon Press, 587pp, 2004.
- ROWE, R.K. **Long-term performance of contaminant barrier systems**. Geotechnique 55 (9), 631-678, 2005.

ROWE R. K.; RIMAL S.; SANGAM H.
Ageing of HDPE geomembrane exposed to air, water and leachate at different temperatures.
Geotextiles and Geomembranes (27) 137-151, 2009.

ROWE, R. K.; RIMAL, S.; ARNEPALLI, D. N.; BATHURST, R. J. **Durability of fluorinated high density polyethylene geomembrane in the Arctic.** Geotextiles and Geomembranes (28), 100–107, 2010.

SANGAM, H. P.; ROWE, R. K. **Effects of exposure conditions on the depletion of antioxidants from high density polyethylene (HDPE) geomembranes.** Canadian Geotechnical Journal (39), 1221-1230, 2002.

STARK, T.D., CHOI, H., & DIEBEL, P.W. **Plasticizer retention in PVC geomembranes.** Geo-Frontiers, Rathje, E.M. (Ed.), Geotechnical Special Publication, pp. 130-142, 2005.

SURMANN, R., PIERSON, P., COTTOUR, P. **Geomembrane Liner Performance and Long Term Durability.** In.: Fifth International Landfill Symposium. Proceedings of the Sardina 95, pp. 405-414. Italy, 1995.

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

Análise crítica do Plano Decenal de Expansão de Energia – PDEE 2021 - Questões socioeconômicas e ambientais decorrentes das estratégias brasileiras para o etanol combustível

Critique of the Decennium Energy Expansion Plan PDEE 2021. Socioeconomic and environmental issues arising from the Brazilian strategies for ethanol fuel

RESUMO

As questões energéticas Brasileiras para o período 2012 -2021 estão expressas no Plano Decenal de Expansão Energética, cuja edição preliminar foi disponibilizada para consulta pública em setembro de 2012 pelo Ministério das Minas e Energia. Este artigo discute as premissas e diretrizes adotadas para os combustíveis de carros de passeio, com foco nos seus aspectos ambientais. Destacam-se os riscos de considerar que o etanol possa atender todo o crescimento da demanda de combustíveis para carros de passeio, e os aspectos e impactos previsíveis que virão em decorrência da necessária expansão da cultura da cana de açúcar planejada para o início do período decenal. O artigo também inclui recomendações para o uso de outras opções de combustíveis existentes e a livre concorrência para garantir abastecimento e preços competitivos. Do ponto de vista ambiental, o artigo também recomenda que um inventário consequente de todos os impactos, negativos e positivos, deve ser levantado e considerado para direcionar as políticas e estratégias nacionais.

PALAVRAS-CHAVE: PDEE 2021, etanol combustível, matriz energética, impacto ambiental, ocupação do solo.

ABSTRACT

The Brazilian energy strategies for 2012 – 2021 period are addressed in the Decennial Plan for Energy Expansion 2021 (PDEE 2021). A preliminary edition was released for public discussion by the Ministry of Mines and Energy in September 2012. This article discusses the plan guidelines for passenger car fuels, with emphasis on their environmental aspects. The risks of expecting bioethanol supply to meet alone the growth of vehicle fuel demand are highlighted. The predictable aspects and impacts arising from the necessary sugar-cane culture expansion, as planned for the decennial period are also discussed. A free competition between other fuel alternatives to ensure demand provision and affordable fuel prices is proposed as part of a strategy. From the environmental standpoint, the article recommends that an inventory of all positive and negative impacts should be calculated and considered to set up the national policies and strategies.

KEYWORDS: PDEE 2021, bioethanol, fuel matrix, environmental impact, land-use.

Mario A. Massagardi
Programa de Pós Graduação
em Gestão Ambiental –
Universidade Positivo (UP)
Curitiba, PR, Brasil
maram60@terra.com.br

Valdir Fernandes
Professor dos Programa de
Pós Graduação em Gestão
Ambiental Universidade
Positivo (UP) e Professor
Governança e
Sustentabilidade do ISAE
Curitiba, PR, Brasil
valdir.fernandes@icloud.com

Eliane Carvalho de Vasconcelos
Professor Titular Programa
de Pós Graduação em Gestão
Ambiental Universidade
Positivo (UP)
Curitiba, PR, Brasil
evasconcelos@up.com.br

Paulo Janissek
Professor Titular Programa
de Pós Graduação em Gestão
Ambiental Universidade
Positivo (UP)
Curitiba, PR, Brasil
pjanissek@up.com.br

INTRODUÇÃO

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDEE), publicado anualmente pela Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério das Minas e Energia (MME) do Brasil, é o mais importante instrumento de planejamento do setor energético brasileiro. Antes de sua publicação oficial, o PDEE é disponibilizado para consulta pública na internet. A versão do PDEE denominada 2021 foi colocada para consulta pública em setembro de 2012 na página do Ministério (BRASIL, MME, 2012).

O plano é baseado em exaustivo levantamento de dados contextualizando a análise da demanda e da oferta energética do país. Como resultado, o plano consolida as estratégias para os setores elétrico, dos combustíveis fósseis e dos renováveis, que resultam na projeção da matriz energética do país para os próximos dez anos. Na edição do PDEE que contempla o período 2012 - 2021 merece destaque a reafirmação da política do Ministério (MME) de que praticamente todo o aumento da demanda de combustíveis para os carros brasileiros será suprido pelo etanol produzido no país. Uma das justificativas para esta estratégia é a intenção de contribuir de forma significativa para a redução do acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera, obtida pela substituição da gasolina por um combustível renovável.

No entanto, não são considerados no plano os impactos ambientais e sociais, resultantes da expansão do cultivo da cana de açúcar, necessária para suprir esta demanda. A discussão da sustentabilidade desta expansão é imprescindível para a ponderação dos benefícios e custos decorrentes desta estratégia.

Adicionalmente, faz-se necessário analisar de forma abrangente as premissas e a amplitude das metas estabelecidas

no PDEE 2021, com respeito ao risco de desabastecimento dos combustíveis para motores do ciclo Otto, tendo em vista que não há planejamento para o aumento da oferta de gasolina no período descrito.

REFERENCIAL TEÓRICO

A expansão da cultura da cana de açúcar no centro-sul Brasileiro

A moderna expansão do cultivo da cana de açúcar iniciou-se no ano de 1975 quando o governo brasileiro lançou o programa chamado Proálcool, com objetivo de produzir etanol suficiente para adicionar vinte por cento deste na gasolina, reduzindo a escassez de combustíveis no país, derivada da crise do petróleo. Ao lançar este programa, não havia por parte do governo significativa consideração sobre impactos ambientais que esta expansão do cultivo da cana poderia trazer (GOLDENBERG *et al.*, 2008).

Na década de 1980, os automóveis movidos a álcool hidratado chegaram a uma participação de 85% na frota de veículos novos produzidos no Brasil. No final desta década, no entanto, uma séria crise de abastecimento do etanol, acompanhada pelo barateamento dos combustíveis derivados de petróleo, causou uma crise de confiança no consumidor. Como consequência, os veículos a álcool deixaram de ter a preferência na compra de carros novos. Esta confiança somente seria recuperada a partir do ano de 2003, com o lançamento dos carros “flex” de injeção eletrônica, que possuíam diversos mapas de calibração dos motores permitindo operar com qualquer proporção de gasolina e etanol hidratado. (SOLOMON *et al.* 2007).

Com oferta crescente e preços competitivos, fruto dos investimentos e ganhos de produtividade do setor, o etanol

ganhou atratividade frente à gasolina no mercado consumidor. Como resultado, no ano 2011 sete milhões de hectares de plantação de cana de açúcar dominavam a paisagem do interior do estado de São Paulo, sul do Mato Grosso do Sul e Goiás, parte da região noroeste de Minas Gerais e o norte do Paraná. Um pouco mais de um milhão de hectares de plantação também existiam no nordeste brasileiro (BRASIL, PDEE 2021, 2012). Esta área plantada gerou uma produção de cana de açúcar de aproximadamente 550 milhões de toneladas. Aproximadamente metade foi utilizada para produzir 20,5 milhões de metros cúbicos de etanol combustível para uso no Brasil e exportação. A outra metade gerou 31 milhões de toneladas de açúcar (ÚNICA, 2012).

Para atender a demanda, até 2012, a previsão (PDEE 2021) é que a área destinada ao cultivo da cana seja de 13 milhões de hectares, o que representa uma expansão superior a 60 % em relação a 2011.

Impactos ambientais decorrentes: relevância e abrangência

Impacto ambiental pode ser considerado (BRASIL, 1986) como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais.

Dessa forma, conforme as normas para licenciamento ambiental (BRASIL, 1986) a análise dos impactos da expansão da cultura da cana no Brasil deve considerar:

a) O meio físico (subsolo, águas, ar, clima, recursos minerais, topografia, etc.)

b) O meio biológico e os ecossistemas naturais (flora e fauna, espécies indicadoras de qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente).

c) O meio sócio econômico – uso e ocupação do solo, das águas, a sócio economia, sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos.

O resultado decorrente desta análise é o plano de ações mitigadoras dos impactos negativos e de monitoramento dos indicadores ambientais.

Os impactos ambientais e socioeconômicos associados ao cultivo da cana como fonte de energia

Macedo *et al* (2005), baseado em inventários de insumos e energia dos processos agrícolas e industriais, demonstrou que o etanol de cana de açúcar substitui a gasolina no uso em automóveis com vantagens ambientais. Uma das vantagens do uso do etanol em motores está na redução das emissões de gases tóxicos de escape, em especial do monóxido de carbono e dos hidrocarbonetos não queimados (MACEDO *et al*, 2005). Esta redução das emissões de gases tóxicos contribui para a melhoria da qualidade do ar nas cidades. Em uma simulação para a Cidade do México, Garcia *et al.* (2010) consideram que a adição de 10% de etanol à gasolina tem potencial para reduzir em 8,8 % as emissões de CO e em 7,6 % as emissões de CO₂, para o período considerado no estudo (2002 a 2020). No entanto, o aumento estimado na produção de acetaldeído é de 119,5 %. O

aumento de emissões de compostos orgânicos, quando combustíveis oxigenados são utilizados, também é reportada por Karavalaski (2012), Cook (2011) e Magnusson (2011), entre outros autores.

Ao considerar todo o ciclo de vida do etanol, o balanço ambiental é calculado em três diferentes níveis ou abrangências: considerando apenas o balanço direto entre a energia gerada e consumida na produção do etanol; incluindo também as emissões estimadas para a produção dos diversos insumos agrícolas e industriais, e, em uma abordagem mais ampla, também as emissões equivalentes à construção das instalações e máquinas utilizadas no processo. Uma comparação sobre as diferentes abordagens utilizadas para o balanço energético foi publicada recentemente, com ênfase no etanol Brasileiro (RAMÍREZ TRIANA, 2011). Esta metodologia demonstrou que, ao contrário do etanol de milho produzido nos Estados Unidos, um combustível produzido com déficit de energia, o etanol de cana brasileiro tinha pequena dependência no seu processo produtivo do uso de combustíveis fósseis, na proporção de oito partes de energia produzida por uma unidade de combustível fóssil consumido, e por isso poderia ser considerado um combustível de fonte renovável (BRASIL, Gov. SP, 2008).

A cultura da cana de açúcar em grande escala tem diversos impactos significativos no meio ambiente e muitos deles têm o potencial de reduzir os ganhos obtidos quando da substituição da gasolina. Na tabela 01 estão relacionados os principais aspectos e impactos ambientais da cultura da cana no meio físico.

Dentre estes impactos alguns merecem comentário devido à sua relevância:

As queimadas

As queimadas são feitas deliberadamente para facilitar o acesso do homem ao corte do caule da cana. Seus impactos contribuem para reduzir as vantagens do uso do álcool combustível no que diz respeito à qualidade do ar e as emissões de gases de efeito estufa.

A prática da colheita mecanizada, ação corretiva para este impacto, se expande continuamente no centro-sul do país e 2013 será o último ano em que as queimadas serão prática tolerada na cultura da cana (ÚNICA, 2012).

A compactação e contaminação do solo

Outros impactos relevantes ainda permanecem sem uma solução aplicável em grande escala, dentre eles, a compactação do solo e o uso de produtos químicos, principalmente pesticidas e inseticidas, na fase agrícola do processo. Ambos podem trazer consequências também no meio biótico, ou através da contaminação da água e peixes, ou diminuindo a disponibilidade de alimento para animais insetívoros.

A vinhaça

Do lado industrial, o aspecto de maior monta é a sobra e descarte da vinhaça, que atualmente é transportada de volta aos campos e utilizada como fertilizante. A vinhaça é produzida numa taxa de 10 a 15 l por litro de etanol (ÚNICA, 2005) e seu volume é, portanto, muito grande. Os impactos decorrentes do descarte da vinhaça são basicamente de dois tipos: - a necessidade de transporte da usina ao campo e - o aumento da concentração de matéria orgânica no solo (185 g DBO₅ / litro).

O PDEE 2021 estima que 855 milhões de metros cúbicos de vinhaça serão produzidas no ano 2021, decorrentes da produção do etanol. Uma quantidade de mesma ordem de grandeza deverá resultar da produção de açúcar e de outros derivados da cana destinados ao uso industrial.

são certamente necessários para se conhecer a amplitude dos impactos.

As emissões causadas pela mudança de uso da terra

No ano 2000 foi publicado o Relatório Executivo do IPCC (Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas) das Nações Unidas, contendo a metodologia para se contabilizar as emissões de dióxido de carbono decorrentes das mudanças de uso do solo, direta ou indiretamente causadas pela produção de insumos para biocombustíveis em áreas anteriormente utilizadas para se produzir alimentos (IPCC, EXECUTIVE REPORT, 2000).

Com base nesta metodologia foi possível se inventariar as emissões decorrentes da mudança de uso da terra causada pela expansão da produção de biocombustíveis nos Estados Unidos, e demonstrar que, ao contrário do que se supunha, as políticas de expansão da produção e uso de biocombustíveis daquele país não levariam a redução das emissões de gases de efeito estufa; ao contrário, com todos os efeitos contabilizados, o que realmente ocorreria seria o aumento, a curto, médio e longo prazo, da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera (SEARCHINGER, 2008).

A redução da produção de alimentos para a produção de biocombustíveis, ou mesmo o deslocamento das áreas produtivas dos alimentos para regiões mais distantes dos pontos de consumo foram relacionadas com o aumento dos preços destes aos consumidores, e com o potencial perigo de desabastecimento em tempos de menor abundância (SEARCHINGER, 2011).

Como decorrência destes estudos se desenvolveu também o conceito de que biocombustíveis avançados, além do alto rendimento energético, deveriam ser produzidos de sobras, resíduos ou de outras fontes que não competissem com a produção de alimentos diretamente,

ou indiretamente, através da ocupação do solo ou do uso de recursos anteriormente voltados para a produção de alimentos.

Nos estudos que demonstraram o balanço energético positivo do etanol de cana de açúcar no Brasil, assim como as suas vantagens ambientais na substituição da gasolina, não foram consideradas as emissões pela mudança do uso do solo. A argumentação normalmente utilizada para justificar que a situação brasileira é diferente do que ocorre nos Estados Unidos ou Europa se baseia na existência de grandes áreas agriculturáveis no país, atualmente ocupadas por pastagens ou já degradadas pela utilização em outras culturas agrícolas, o que permitiria a expansão da cultura da cana sem ocasionar impactos significativos que levassem à escassez ou aumento dos preços dos alimentos (Goldenberg, 2008).

A política energética brasileira propõe a continuidade da expansão da produção do etanol combustível, ampliando a área plantada de cana de açúcar de oito milhões para no mínimo 13 milhões de hectares (Brasil, MME, PDEE 2021, 2012). O real impacto desta política no que diz respeito ao balanço das emissões de gases de efeito estufa não é conhecido, dado que as emissões causadas pela mudança do uso do solo ainda não foram criteriosamente contabilizados e somados com as emissões inventariadas no processo

agrícola e industrial do etanol.

Grandes expansões agrícolas obrigam as populações a passar por processos de adaptação às novas atividades econômicas da região. Os defensores da expansão da cana, por sua vez, ressaltam a importância da cana no balanço de divisas do país, contribuindo de um lado na redução da importação de derivados de petróleo, e de outro na geração de divisas nas exportações de etanol e açúcar. Também ressaltam a criação de empregos diretos e indiretos, estes nos setores de máquinas, equipamentos e insumos (ÚNICA, 2005).

DIRETRIZES DO PLANO PARA GASOLINA E ETANOL COMBUSTÍVEL

A demanda de combustíveis para carros de passeio

A projeção do crescimento da frota de carros é feita com base em tendências socioeconômicas e prevê, além do ingresso anual de novos veículos no mercado, uma taxa de sucateamento dos carros mais antigos. O crescimento total previsto para o período de 10 anos é de 80%, ou seja, um crescimento médio anual de 6%. Do total de 53 milhões de veículos em 2021 aproximadamente 43 milhões serão flex, e poderão ser abastecidos com gasolina ou com etanol hidratado. A premissa de crescimento da frota flex no período é de mais de 140%, o

Tabela 2 - Brasil - Perfil da frota de veículos leves por combustível (milhões de unidades)

Tipo de veículo	Frota em 2012	Frota em 2021
A gasolina	12,5	9,1
Flex	17,6	43,3
A etanol	0,9	0,3
Outros*	-	0,3
Total	31	53

Fonte EPE;

(*) Outras tecnologias possíveis, exemplo veículos elétricos;

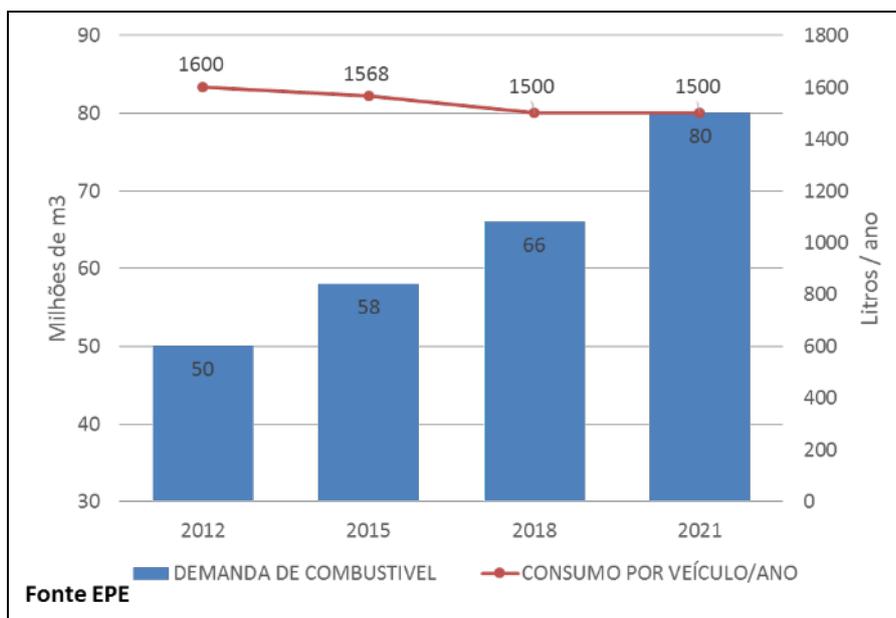


Figura 1 – Previsão do EPE para a demanda de energia para veículos com motor do ciclo Otto

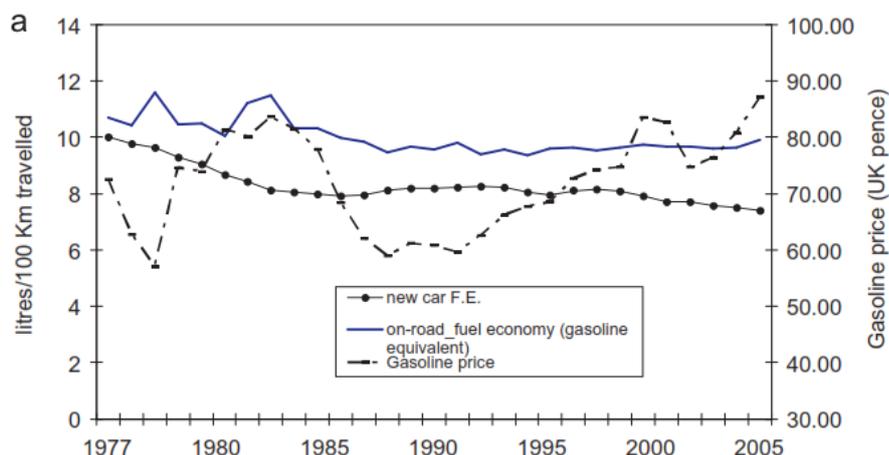


Figura 2 - Histórico economia no consumo observado para carros no Reino Unido para o período de 1977 a 2005. Fonte: BONILLA, 2009.

que reflete a tendência atual de preferência de compra da população. Consequentemente, a frota de veículos que usam exclusivamente gasolina se reduz no período e a frota que roda exclusivamente a etanol, composta basicamente de veículos produzidos nas décadas anteriores ao ano 2000, deverá desaparecer. Uma pequena participação de mercado é dada a veículos híbrido-elétricos a partir do ano 2015.

A projeção de crescimento da frota de carros de passeio no

Brasil conforme o PDEE 2021 pode ser vista na tabela 02.

A frota total projetada gera uma demanda de combustíveis, expressa em milhões de metros cúbicos de gasolina equivalente, como mostra a figura 1, que indica também o consumo médio anual projetado.

O aumento da demanda volumétrica de combustíveis prevista para o período decenal é de 60%, atingindo 80 milhões de metros cúbicos de gasolina equivalente em 2021. Ele é,

portanto, menor que o crescimento projetado da frota, o que indica que se assumiu uma premissa de ganho de eficiência energética no uso do combustível: o consumo médio anual dos carros se reduz de 1600 litros em 2012 para 1500 litros de combustível em 2021. Isto significa que os veículos a serem produzidos durante este período decenal deverão ser consideravelmente mais eficientes no uso do combustível do que aqueles que compõem a frota atual, ou ainda deverão rodar menos.

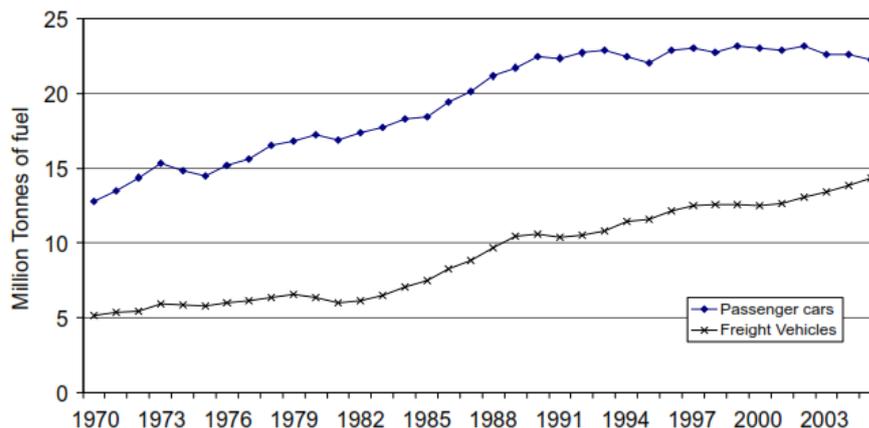


Figura 3 - Demanda crescente de combustíveis observada para veículos de passeio e carga no Reino Unido no período de 1970 a 2003. (Fonte: BONILLA, 2009)

Para efeito de comparação, a figura 2 e 3 apresenta a evolução histórica registrada no período de 1977 a 2005 para carros no Reino Unido, e figura 3 indica o consumo por combustíveis (BONILLA, 2009). É interessante observar que grandes avanços tecnológicos foram observados inicialmente, resultando em carros mais eficientes (menor consumo). No entanto, esta redução é menos significativa a partir do ano 2000, pelos menos no estudo reportado para os autores. No entanto, isto não significou uma redução na demanda total de combustíveis, uma vez que, com o aumento de carros supera os efeitos da maior eficiência destes veículos. Um outro fator que pode ser apontado, no sentido de aumentar o consumo, é que, os motoristas podem ser indiretamente estimulados a rodar mais na medida que trocam para carros mais econômicos.

No ano 2012 o governo brasileiro pela primeira vez publicou metas de ganho de eficiência energética para carros, através do programa INOVAR-AUTO. Se atendidas as metas de qualificação e adicionais que permitem redução dos impostos embutidos nos preços dos veículos, os carros novos brasileiros deverão ser no ano 2017 aproximadamente 15% mais eficientes no uso de combustível do que são hoje. Porém, este efeito benéfico ocorreria somente na

segunda metade do período decenal do PDEE 2021.

Fatores que podem aumentar a demanda de combustíveis:

O efeito benéfico de melhorar a eficiência energética dos carros novos pode ser anulado por outros fatores de ocorrência bastante provável e assim gerar um cenário de demanda de combustível superior ao dado pelo PDEE 2021. Exemplos destes fatores são:

- O uso pela população de veículos maiores e de motores mais potentes do que os atuais, dado o seu crescente poder aquisitivo;
- O adensamento de tráfego que será gerado pelos 20 milhões de veículos adicionados às ruas e estradas do país, o que diminuirá as velocidades médias de rodagem e aumentará o consumo de combustível.

Fatores que podem diminuir a demanda por combustível:

O PDEE 2021 não considera cenários alternativos de demanda de combustíveis para carros, mas um cenário mais agressivo de redução poderia ser parte da formulação da política pública. Alguns exemplos de medidas efetivas de redução estão relacionados abaixo:

- Desestímulo do uso do transporte individual via aumento de preço dos combustíveis. A adoção deste tipo de medida, porém, tem barreiras políticas pela sua impopularidade e depende diretamente de avanços significativos nos modais de transporte coletivo.
- Ganho maior na eficiência energética dos carros: uma possibilidade mais concreta seria a imediata liberação no Brasil do uso dos modernos carros de passeio a diesel, que têm atualmente eficiência energética 30 a 35% superior à dos motores do ciclo Otto (USA, 2013). Conforme o PDEE2021, o Brasil terá excesso de oferta de diesel combustível de alta qualidade ainda dentro do período decenal e capacidade livre para exportação.

A demanda projetada de gasolina e etanol

A gasolina comercializada ao público no Brasil é chamada de gasolina C e contém até 25% de seu volume de etanol anidro. O restante do conteúdo é chamado de gasolina A.

Tabela 3 - Demanda projetada até 2021 de etanol combustível e gasolina (em Milhões de metros cúbicos)

Demanda combustível	2012	2016	2021	Crescimento (%)	
				total	Médio anual
Etanol hidratado	15	33	52	247	14
Etanol anidro	7	8	10	43	3,6
Etanol total	22	41	62	182	11
gasolina	29,2	25,4	28,9	0	0

Tabela 4: PDEE 2021 – Premissas para cálculo da oferta de etanol

Premissa:	PDEE2021 ano 2012	PDEE2021 ano 2021	Diferença em %
Área ocupada pela cultura da cana (milhões de hectares)	8	13	62%
Produtividade da cana (tc / ha)	68.3	88.5	30%
Produção de cana de açúcar (milhões de toneladas)	586	1155	97%
Porcentagem da cana usada para etanol	56%	68%	21%
Número de usinas de produção de etanol	420	499	19%
Produção etanol (litros / tc)	82.3	87.7	6%
Produção total de etanol (Bilhões litros)	24.6	68.5	178%
Produção do etanol automotivo para o Brasil (bilh. litros)	21.9	61.6	181%
Fonte de dados: PDEE 2021			

O PDEE 2021 projetou a demanda de curto prazo da gasolina A considerando a premissa que este combustível deverá ser o preferido dos consumidores durante o período 2012-2013, porém perderá esta posição para o etanol hidratado a partir do ano 2014 até o final do período decenal, motivada pela recuperação da oferta e da competitividade em preços do etanol.

Como resultado, e a despeito do crescimento da frota, a gasolina C não tem demanda crescente projetada no período, a exemplo do que acontece com o etanol. A demanda projetada de etanol e gasolina está indicada na tabela 3, construída a partir do PDEE 2021:

Este padrão de planejamento tem se mantido o

mesmo dos planos de expansão de energia publicados nos anos anteriores, mas a demanda de curto prazo de gasolina foi neste ano corrigida para cima para o período 2012 e 2013 devido à falta de oferta de etanol e o aumento de seus preços. Em 2012 o país importou gasolina. No total, o PDEE 2021 projeta um crescimento de demanda de quase três vezes do consumo total do etanol automotivo em 10 anos, atingindo 62 milhões de metros cúbicos no final do período decenal. A justificativa para tal projeção é a de que a demanda corresponderá à oferta prevista para este combustível (BRASIL, PDEE2021, 2012).

Considerando-se que a demanda do etanol foi estimada pela oferta, faz-se necessário se entender como a oferta deste

combustível foi projetada. A tabela 4 mostra os principais indicadores de crescimento e premissas do PDEE 2021 para projetar a oferta de etanol combustível.

A comparação do cenário atual do ano 2012 contra aquele projetado para o ano 2021 mostra a grandeza do desafio que o plano propõe para a indústria brasileira do etanol. A análise individual dos indicadores e premissas demonstram os desafios e os riscos a ele associados.

A expansão da área necessária para o plantio da cana de açúcar

A expansão no uso da terra pela cultura da cana de açúcar no centro-sul brasileiro durante os anos

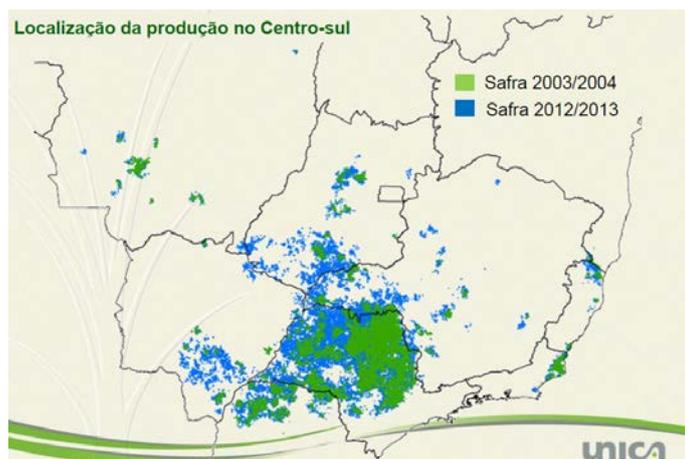


Figura 4 - Expansão da cultura da cana de açúcar no centro-sul brasileiro 2003-2013



Figura 5 - Produtividade histórica e obtida no período 2012/2013, expressa em toneladas de cana por ha. (Fonte: CTC, 2013).

de 2003 a 2013 pode ser visto na figura 4 (ÚNICA, 2012).

O mapa mostra a ocupação de toda a região central, norte e oeste do estado de São Paulo, noroeste do Paraná e forte expansão recente no sul de Mato Grosso do Sul e partes de Goiás e Minas Gerais. Não estão indicadas no mapa as áreas de cultivo de cana no nordeste brasileiro, normalmente utilizada para outros produtos alimentares e não para a produção de etanol combustível.

O novo ciclo necessitaria, conforme o PDEE 2021, expandir a área atual plantada de oito milhões de hectares em mais cinco milhões de hectares. Esta expansão deveria ocorrer nas áreas consideradas

ótimas ou boas para o cultivo da cana, o que significaria ocupar novas e grandes extensões de terra nos estados de Mato Grosso do Sul e de Goiás, indo até as proximidades do pantanal a oeste. Expansões também poderiam ocorrer partindo das áreas atualmente ocupadas em direção à Brasília e ao interior do Estado de Minas Gerais.

Sob o ponto de vista ambiental, o PDEE 2021 se mostra controverso ao considerar como premissa a mudança do uso do solo numa extensa região que produz soja, cítricos, café e muitas outras culturas, e que passaria a praticar a monocultura da cana de açúcar, ficando exposta a todos os impactos ambientais anteriormente descritos.

Neste caso específico deve-se supor que as culturas agrícolas e as atividades pecuárias desalojadas pela ocupação da cana deverão se instalar em algum outro lugar, sendo as regiões mais disponíveis e vulneráveis, as áreas de mata protegidas que ainda sobraram. Ao redor das áreas de expansão da cultura da cana existe a leste a mata atlântica, ao oeste o pantanal mato-grossense e a norte a floresta amazônica. Ocupação ilegal e desmatamentos de áreas protegidas são práticas proibidas, mas ainda existentes.

Adicionalmente, as emissões de gás carbônico decorrentes destas atividades de mudança do uso do solo, direta ou

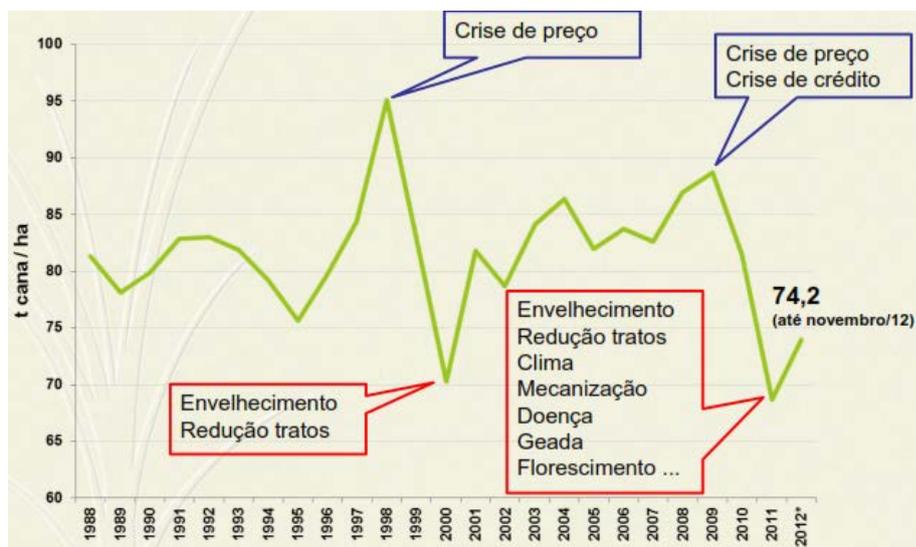


Figura 6 -Produtividade histórica da cana de açúcar Brasileira, e fatores de influência que afetam esta produtividade.

indireta, deverão ser de grande monta, dada a extensão territorial impactada, mas não são consideradas dentro da seção de impactos ambientais do PDEE 2021.

O crescimento da produtividade da atividade agrícola

O plano considera que, além dos investimentos em expansão, a agroindústria irá também investir para renovar os canaviais atuais para que, a nível nacional, trabalhem a um nível médio de produtividade de 88 toneladas de cana por hectare, valor 30% superior à média da safra de 2012, e somente atingido neste ano pela região mais produtiva do país, Ribeirão Preto, conforme indicam os dados da figura 5. A produtividade alta se dá historicamente pela adoção de investimentos na otimização dos processos e pela ausência de fenômenos de restrições como os climáticos, o aparecimento de pragas e doenças na plantação. Os fatores econômicos também influenciam, conforme indicado na figura 6.

Obter altos valores médios a nível nacional significa, portanto, altos esforços e ampla disponibilidade de recursos financeiros, além de um

comportamento favorável do clima. Desta forma, e em se considerando que estas premissas se confirmariam na realidade, a disponibilidade de cana no ano 2021 seria de 1.155 milhões de toneladas, valor 97% superior à produção esperada para o ano 2012.

Como contraponto a esta expectativa, deve-se considerar que a safra 2011-2012 teve produção de 571 milhões de toneladas, aproximadamente 8% menor que a safra do ano anterior, e com produtividade média no país inferior a 70 toneladas por hectare.

A disponibilidade da cana para a produção de etanol combustível

O plano também considera que 68% da cana produzida em 2021 seriam direcionadas para a produção do etanol combustível, contra os 56% utilizados em 2012, sendo o restante da cana suficiente para atender à demanda futura do açúcar e de outros produtos para uso na indústria e que tem na cana sua matéria prima.

Dois são atualmente os principais produtos da cana: o açúcar e o etanol combustível.

O açúcar é uma commodity altamente valorizada não somente pelo seu valor alimentar, mas também como matéria prima para

uma série de produtos de alto valor agregado de uso industrial. Do açúcar também se pode atualmente produzir diversos tipos de combustíveis sintetizados por processo biológico, para uso, por exemplo, em aviação e em motores de ignição por compressão. Muito embora a tecnologia para isso exista, estes produtos ainda não são fabricados em grandes escalas.

O etanol, por sua vez, é produzido no Brasil pelo processo de fermentação do caldo de cana. Existem diversas iniciativas para se desenvolver um processo economicamente viável e aplicável em larga escala para a produção de etanol utilizando-se da celulose da cana. Este tipo de processo se utilizaria também do caule das plantas, aumentando significativamente a produção de etanol por tonelada de cana. Conforme o plano há a expectativa de que este processo esteja desenvolvido no final do período decenal, mas aplicado apenas em escala modesta na produção.

Desta forma, a parte da cana a ser destinada para a produção do etanol nos próximos dez anos é uma premissa que deve ser considerada com restrições, pois irá depender principalmente da demanda e lucratividade futuras dos negócios com o açúcar e com os produtos destinados ao uso

industrial, ambos tradicionalmente mais lucrativos que o etanol combustível.

A expansão das usinas de processamento da cana:

Para a etapa industrial, o plano prevê que 69 novas usinas seriam construídas, a maioria à partir do ano 2015, numa taxa média de 10 novas usinas por ano. Esta magnitude de investimento irá requerer alta confiança no futuro dos negócios e capacidade financeira, situação bastante diferente da atual, que é descrita no próprio plano com 24% de ociosidade nas usinas existentes, por falta de cana para moagem, e com poucos projetos aprovados para novas instalações.

Também para a fase industrial o plano prevê um ganho de produtividade de 6% na conversão da cana em etanol. A taxa futura seria de 87,7 litros de etanol produzido por cada tonelada de cana processada.

A oferta do etanol como resultado da combinação de todas as premissas

Considerando-se confirmadas todas as premissas das etapas agrícola e industrial do processo do etanol, se atingiria no ano 2021, uma produção total de mais de 68 bilhões de litros, valor 178% superior à previsão do plano para o ano 2012.

O PDEE 2021 considera que neste período o Brasil será também exportador de etanol para os Estados Unidos, Comunidade Europeia e Japão. Deve-se descontar desta produção bruta o volume provável de exportação e da conta resulta a oferta de etanol combustível para o mercado brasileiro, de 61.6 bilhões de litros, em outras palavras, uma taxa de crescimento em dez anos de 182% ou, na média, de 11% ao ano por 10 anos consecutivos.

CENÁRIOS ALTERNATIVOS

O fato de que a projeção da oferta (e da demanda) de etanol do PDEE 2021 é baseada em premissas arrojadas faz levantar a hipótese de que cenários alternativos deveriam se considerados, menos otimistas de um lado, mas também mais realistas ao considerar riscos ponderáveis e justificados pela história desta indústria.

A situação atual da indústria como ponto de partida

O relatório da ÚNICA, apresentado em dezembro de 2012 mostra na verdade uma indústria em crise, com taxas de produtividade decrescentes nos últimos quatro anos em sua etapa agrícola, o que denota envelhecimento e falta de investimentos no setor, desocupação no setor industrial e também um endividamento médio nos últimos anos no nível de 90% do seu faturamento bruto.

Os números de produção de cana e de etanol apresentados pela ÚNICA para o ano 2012 são consideravelmente mais baixos do que aqueles que o PDEE 2021 mostra como prováveis para este mesmo ano. O extraordinário crescimento previsto pelo PDEE 2021 não parece plausível se comparado como o que realmente está acontecendo na indústria do etanol nestes últimos anos e o risco de que as coisas não aconteçam como planejado deveria ser considerado.

A restrição na oferta nacional da gasolina

O outro combustível autorizado para carros, a gasolina, por sua vez, tem o seu cenário de consumo calculado pelo que sobrou do total consumo da oferta de etanol. Ele fica estável no nível de 29 bilhões de litros durante os dez anos do plano. Esta previsão não dá sustentação para que se realizem investimentos para aumentar a

capacidade nacional de refino deste derivado, o gargalo do processo, dado que as reservas brasileiras de petróleo garantem a autossuficiência, e estão em expansão.

No cenário proposto, os possíveis riscos de menor produção de etanol não poderão ser compensados por maior produção de gasolina. A diferença precisará ser importada.

O risco para o consumidor

A oferta do etanol sempre será dependente dos aspectos econômicos, climáticos e mercadológicos que influenciam o tamanho da safra e a capacidade de processamento da cana, e estes certamente continuarão a agir, ora impulsionando a produção, ora não. Tantas premissas favoráveis e arrojadamente estabelecidas na projeção da oferta levam à probabilidade de erro, ou melhor, levam o país e sua economia ao risco constante de desabastecimento, perene ou sazonal. Em aberto ficam as proporções em que este desabastecimento ocorrerá.

Ao estabelecer a política monopolizada do combustível para carros, o PDEE 2021 compromete o poder de escolha e de barganha por preços do consumidor. Em nenhum momento o PDEE 2021 considera a competitividade de preços dos combustíveis disponíveis no mercado brasileiro. No entanto, este fator não pode ser desconsiderado, já que todas as escolhas de mercado estarão na mão dos produtores da cana e de seus derivados, que poderão vender seus produtos aqui ou no exterior, onde obtiverem maior margem de lucro.

A situação proposta pelo PDEE 2021, no que diz respeito à política de combustíveis para carros, não promove no setor a livre concorrência e não dá qualquer segurança ou alternativa para o consumidor, tanto em relação à disponibilidade quanto ao preço dos combustíveis.

O risco para a indústria produtora do etanol

A indústria da cana, como privilegiada pela política energética do estado, terá certamente mais alternativas de negócios que o consumidor. Por outro lado, ela será demandada pelo plano a investir maciçamente na expansão do cultivo e da industrialização de seus produtos. Adicionalmente, precisará continuar a investir em tecnologia para desenvolver processos inovadores e ganhar em produtividade.

A história mostra, porém, que nos ciclos anteriores de expansão, o alto endividamento e outros fatores como, por exemplo, crises mundiais levando a baixas margens de comercialização, fatores climáticos e outros, descapitalizaram a indústria do etanol e enfraqueceram o seu poder de investimento. Em outras palavras, sugere-se que a redução da taxa de crescimento e expansão para níveis mais modestos poderá ser benéfica para a indústria do etanol, ao reduzir os riscos de endividamento do setor e ampliar a sua capacidade de gerar retorno financeiro a despeito de fatores adversos.

Incentivo para outras fontes de energia: A possível solução

Uma política equilibrada, factível e abrangente deveria ser elaborada privilegiando a disponibilidade dos combustíveis para atender com segurança a demanda e ao mesmo tempo assegurando um ambiente de livre concorrência que ofereça ao consumidor opções competitivas de combustíveis à sua escolha.

Dado que para a gasolina não existem investimentos aprovados para o aumento de capacidade de refino deste combustível nos próximos dez anos, e que para o etanol não há possibilidades de se prever corretamente a sua disponibilidade, a única solução possível seria incluir na matriz de combustíveis uma

terceira variável, representada por novas opções de combustíveis.

As fontes alternativas teriam a função, em um primeiro momento, de cobrir a demanda residual de combustível não coberta pela oferta proposta de gasolina e etanol, e ainda oferecer reservas para assegurar o abastecimento. A medida em que se revelem estrategicamente interessantes, teriam maior representatividade na matriz energética geral, e para combustíveis em particular.

Para terem efetividade dentro do período do plano, as opções alternativas deveriam estar disponíveis para uso em curto ou médio prazo. Nestas condições o Brasil dispõe, no período do plano, de oferta em expansão de combustível diesel, biodiesel e gás-natural veicular. A indústria automobilística também tem motores modernos, eficientes e com conformidade ambiental para o uso destes combustíveis. Estes combustíveis alternativos poderiam assegurar também uma expansão mais controlada da cultura da cana. Investimentos poderiam ser feitos para ganhar produtividade nos setores agrícola e industrial do processo, e para introduzir no futuro a promissora rota celulósica. Desta forma, a oferta futura do etanol poderia crescer sem causar impactos adicionais, em especial sem se expandir em áreas já ocupadas por outras culturas.

A população em geral se beneficiaria pela prática da livre concorrência entre as alternativas disponíveis de combustível, podendo optar conforme a disponibilidade e preço de cada opção.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A edição do PDEE que contempla o período 2012 – 2021 assume a premissa de que praticamente todo o aumento da

demanda de combustíveis para os carros brasileiros será suprido pelo etanol produzido no país. Para que isso seja possível, é necessária a combinação de vários fatores, incluindo a expansão da área cultivada, aumento da produtividade, melhor eficiência dos motores e diminuição do consumo por parte dos consumidores. A justificativa está baseada nas vantagens ambientais que o etanol, um biocombustível, apresenta sobre os combustíveis fósseis.

Além dos riscos econômicos e estratégicos advindos da ênfase em somente um tipo de combustível, foram abordados neste artigo os fatores que podem contribuir ou impedir o alcance das metas do plano. Também foram enfatizados os riscos ambientais decorrentes da política proposta pelo PDEE 2021.

Considerando-se os riscos decorrentes do planejamento limítrofe da oferta futura de combustíveis para motores do ciclo Otto no PDEE 2021, e à falta de alternativas para o consumidor, fragilizam o plano que se apresenta desequilibrado e pouco ponderado por análise de cenários e riscos.

Desta forma, as opções de combustíveis existentes devem ser utilizadas para garantir o abastecimento e que a livre concorrência entre eles seja o fator a garantir a disponibilidade e competitividade em preço para o bem do consumidor e da economia do país como um todo. Parece pouco recomendado prever que toda a crescente demanda por combustíveis possa ser atendida somente pelo etanol obtido a partir da cana de açúcar.

Do ponto de vista socioeconômico e ambiental, seria recomendável que qualquer política de expansão da monocultura da cana além dos limites atuais fosse justificada por estudos mais aprofundados que objetivamente quantificassem e ponderassem os impactos positivos e negativos desta atividade.

Dentre os aspectos a considerar, deve-se contabilizar as emissões de CO₂ decorrentes das atividades agrícolas e industriais, assim como as emissões decorrentes da mudança do uso direto e indireto da terra, e todos os demais impactos nos meios físicos e biológicos. A quantificação destes impactos deve servir para confirmar se o plano estratégico, que prevê a produção intensiva de etanol combustível, realmente atende ao seu propósito original, e é sustentável do ponto de vista econômico, ambiental e social.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE J., DINIZ K., **Impactos Ambientais da Agroindústria da Cana-de-açúcar**: Subsídios para a Gestão, 2007, ESALQ.
- BRASIL, **RESOLUÇÃO CONAMA nº 1**, de 23 de janeiro de 1986
Publicada no DOU, de 17 de fevereiro de 1986, Seção 1, páginas 2548-2549.
- BRASIL, Ministério das Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, **Plano Nacional de Expansão de Energia 2021(PDEE 2021)**, 2012, Brasil. Edição para consulta pública, conforme www.mme.gov.br/mme/menu/pde2021.html em 04 de janeiro de 2013.
- BONILLA, D. **Fuel demand on UK roads and dieselisation of fuel economy**. Energy Policy **37** 3769–3778, 2009
- GARCIA C.A. et al. / **Renewable and Sustainable Energy** Reviews 14, 3032–3040, 2010.
- GOLDENBERG, J. et al., **Bioenergia no estado de São Paulo : situação atual, perspectivas, barreiras e propostas** – São Paulo : Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2008.
- KARAVALAKIS G., DURBIN T. D., SHRIVASTAVA M., ZHENG Z., VILLELA M., JUNG H., **Impacts of ethanol fuel level on emissions of regulated and unregulated pollutants from a fleet of gasoline light-duty vehicles**. Fuel, Volume 93, March 2012, Pages 549-558
- MACEDO I. et al, **Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil**, 2004.
- MAGNUSSON R., NILSSON C., **The influence of oxygenated fuels on emissions of aldehydes and ketones from a two-stroke spark ignition engine**, Sciverse- Science Direct, Fuel, **90**, (3), 1145–1154, 2011
- PORTAL UNICA **Conferência de imprensa de 20.12.2012**; Conforme visto em www.unica.com.br em 10.02.2013.
- RODRIGUES L. D., **A cana de açúcar como matéria prima para a produção de biocombustíveis; impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta de mitigação**, 2010, Trabalho de Conclusão do Curso de Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia.
- RONQUIM C., **Queimada na colheita da cana-de-açúcar: impactos ambientais, sociais e econômicos**, Documentos – 77, EMBRAPA, 2010
- RAMÍREZ TRIANA, C. A. **Energetics of Brazilian ethanol: Comparison between assessment approaches**. Energy Policy **39**, 4605–4613, 2011
- Rich COOK R. et al, **Air quality impacts of increased use of ethanol under the United States' Energy Independence and Security Act**. Atmospheric Environment **45** (2011) 7714
- SEARCHINGER T. et al, **Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land Use Change**, Science-Express Report, 2008
- SEARCHINGER T., **How biofuels contribute to food crisis, 2011**, artigo [no www.washingtonpost.com](http://www.washingtonpost.com) > opinions, conforme visto em 04.01.2013.
- SILVA M. et al, **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático**, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, **.11**, (1), 108–114, 2007.
- SOLOMON, B. D.; BARNES, J. R.; HALVORSEN, K. E. **Grain and cellulosic ethanol: History, economics, and energy policy**. Biomass and Bioenergy, **31**, 416–425, 2007.
- UNICA, **Sugar Cane's Energy – Twelve studies on Brazilian sugar cane agribusiness and its sustainability**; Organizador: Isaias de Carvalho Macedo, 2005.
- USA, US Department of Energy, U.S. Environmental Protection Agency, www.fuelconomy.gov on March 30th 2013, Diesel Vehicles, 2013
- WMO - IPCC – **Special report on Land-use, Land-use change and Forestry**, 2000.

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



ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

Av. Beira-Mar, 216, 13º andar
Castelo | Rio de Janeiro | RJ | Brasil | CEP 20021-060
Tel: (21) 2277-3900 Fax: (21) 2262-6838

www.abes-dn.org.br