

**INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NO SETOR SUCROALCOOLEIRO:
DETERMINANTES, ESTÁGIO VIGENTE E PERSPECTIVAS NO
CONTEXTO BRASILEIRO (2005 - 2014)**

**TECHNOLOGICAL INNOVATIONS IN THE SUGAR AND ALCOHOL
INDUSTRY: DETERMINANTS, CURRENT STAGE AND PROSPECTS
IN THE BRAZILIAN CONTEXT (2005 - 2014)**

**Marta Cleia Andrade – Faculdade de Ciências e Educação de Rubiataba – FACER –
Brasil – marta.cleia@hotmail.com**

RESUMO

No Brasil, no que tange ao setor sucroalcooleiro, o uso de novas tecnologias relacionadas à atividade de cultivo e transformação industrial da cana-de-açúcar tem se dado de forma crescente e irreversível. Sendo assim, este trabalho tem o intuito de abordar os aspectos relacionados ao estágio vigente das inovações tecnológicas, os fatores motivadores para a adoção das mesmas e as perspectivas do setor sucroalcooleiro. A metodologia utilizada foi a revisão de literatura da última década, compreendendo o período de 2005 a 2014. Optou-se por revisar principalmente os principais periódicos brasileiros que tratam do assunto. Entre as principais descobertas adverte-se que devido às evoluções no paradigma tecnológico, as usinas são pressionadas para assumirem novos investimentos para manter ou mesmo superarem suas participações no mercado. Constatou-se que as motivações e a vantagem competitiva dessas usinas são provenientes da redução de custos e do aumento de eficiência, bem como de uma maior confiabilidade nos controles operacionais existentes em função das inovações tecnológicas empregadas. As quais vêm avançando no Brasil, mas há ainda bastante espaço para evoluir. E, infelizmente, nem todos os atores são contemplados com os benefícios decorrentes da atividade econômica analisada neste estudo, ou seja, o avanço nos meios técnicos-produtivos não atinge todos os produtores.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar. Inovações. Tecnologia.

ABSTRACT

In Brazil, in the sugar and alcohol industry, the use of new technologies related to farming activity and industrial transformation of sugarcane has given up increasingly and irreversibly. Thus, this work aims to address the issues related to the current stage of innovations, the motivating factors for the adoption of these technological innovations and industry outlook. The methodology used was a literature review of the last decade, the period from 2005 to 2014. It was decided to review mainly the major Brazilian journals dealing with the subject. Among the key findings are warns that due to developments in the technological paradigm, the plants are required to take on new investments to maintain or even exceed their market shares. It was found that the motivations and competitive advantage of these plants come from reduced costs and increased efficiency as well as greater reliability in operating controls depending on the technological innovations employed. These are advancing in Brazil, but there is plenty of room to evolve. And unfortunately, not all actors are covered with the benefits of economic activity analyzed, meaning that progress in the technical-productive means shows up not reaching all producers.

Key-words: Sugarcane. Innovations. Technology.

Submetido: Maio 2016.

Aprovado: Fevereiro 2017.

1 Introdução

Com base em Freeman (1995), pode-se dizer que a construção de um sistema de inovação em diversos países do mundo, explica os diferentes estágios de desenvolvimento observados. Considerando que historicamente as sociedades têm organizado e buscado consolidar o desenvolvimento de diferentes formas em suas economias nacionais, no que diz respeito à introdução, melhoria e difusão de novos produtos e processos.

Nesse sentido, no que diz respeito a economia brasileira, a cana-de-açúcar sempre foi de muita importância. E agora passa por uma promissora fase. Há quem considere que o aumento na utilização de biocombustíveis é inevitável (Escobar, Lora, Venturini, Yáñez, Castillo & Almazan, 2009). Portanto, fatores como o desenvolvimento do etanol, um produto derivado da cana, como alternativa à substituição dos combustíveis fósseis; e ainda, o preço mais forte do açúcar no mercado de *commodities*; a utilização e a valoração de subprodutos industriais resultantes da fabricação de açúcar e álcool, são alguns aspectos que também motivaram uma forte expansão da cultura da cana no Brasil, e induziram à maior modernização e à eficiência da indústria canavieira.

A matriz energética brasileira se destaca pela grande incidência de fontes renováveis, sendo colocada entre as mais limpas do mundo. O veículo *flex* que responde por cerca de 90% das vendas, é um ponto chave da história do sucesso do etanol brasileiro. Alguns estudos mostram o etanol de cana-de-açúcar como um biocombustível avançado, capaz de reduzir as emissões de gases do efeito estufa (GEE) em no mínimo 61% em comparação com a gasolina.

Uma condição atual é que o mercado globalizado exige das empresas, de modo geral, um questionamento de suas práticas atuais, e vem forçando uma modernização e reestruturação. Assim também ocorre para as empresas que atuam de modo a cultivar e a transformar a cana-de-açúcar.

A formação de um sistema de inovação é tida como preponderante para o desenvolvimento das nações, tenham elas setores mais ou menos intensivos em tecnologia (Lundvall, 1992). No Brasil, a partir da década de 60, percebe-se um processo gradativo de modernização da agricultura. No setor sucroalcooleiro, o uso de tecnologias para a colheita da

cana-de-açúcar tem se dado de forma crescente e irreversível, devido aos marcos regulatórios com fins de erradicação da queima da palha, o que por sinal veio para substituir o trabalho manual, eliminando o emprego dos cortadores da cana (Fredo & Salles-Filho, 2012).

Como faltam estudos que identifiquem o estágio atual e as perspectivas ligadas ao desenvolvimento tecnológico no âmbito do setor sucroalcooleiro, este trabalho contribui no sentido de identificar tais questões, orientando, portanto, na tomada de decisão empresarial ou na elaboração de políticas públicas, além de contribuir com os debates acadêmicos em torno do assunto.

Diante tal contexto, este estudo tem o intuito de abordar os aspectos relacionados ao estágio vigente do desenvolvimento tecnológico no setor sucroalcooleiro no Brasil, bem como os fatores motivadores para a adoção das inovações tecnológicas e suas perspectivas. A metodologia utilizada foi a revisão de literatura da última década, identificando tendências, práticas e cenários desse período de 2005 a 2014, principalmente os periódicos brasileiros que tratam do assunto, além de consultas aos *sites* de entidades ligadas ao setor e ao desenvolvimento de novas tecnologias. Optou-se pelos periódicos brasileiros para se ter uma visão mais específica do contexto brasileiro.

Assim, a pergunta que norteia este trabalho é: como a indústria sucroalcooleira brasileira vem se desenvolvendo tecnologicamente; o que a motiva a buscar padrões de eficiência e quais as perspectivas relacionadas à modernização desse setor?

Visando dar resposta a tais questionamentos, este trabalho está estruturado de forma a contemplar: os aspectos históricos e atuais do setor sucroalcooleiro; os fatores determinantes para as inovações; as evoluções e as práticas de modernização que vêm ocorrendo, bem como pretende mostrar as perspectivas para o setor.

2 Referencial Teórico

2.1 O setor sucroalcooleiro no Brasil

No Brasil, a cana-de-açúcar chegou logo após o descobrimento do país. A cultura ganhou importância econômica a partir da segunda metade do século XVI, quando os engenhos do nordeste brasileiro passaram a operar em Pernambuco, Bahia, Alagoas, Sergipe e Paraíba.

No século XIX, a expansão mundial dos polos produtores de açúcar reduziu a importância do Brasil no mercado mundial, comprometendo assim a viabilidade econômica da

atividade interna. Nesse período, São Paulo e Rio de Janeiro se firmaram como fornecedores para as regiões Sul e Sudeste. Em 1933, foi criado o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) visando regular a produção interna e desenvolver pesquisas sobre a cultura. Em 1973, o Brasil iniciou, com a primeira crise do petróleo, o Programa Nacional do Alcool - Proálcool, com o objetivo de inserir o etanol na matriz energética brasileira. Em 1979, iniciou-se a produção de veículos movidos a etanol no Brasil (Marin & Nassif, 2013).

A produção de cana-de-açúcar se concentra nas regiões Centro-Sul e Nordeste do Brasil. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2010) publicou um estudo intitulado “Projeções do Agronegócio Brasil: 2009/2010 a 2019/2020”, o qual prevê o crescimento da produção de açúcar (cerca de 46,7 milhões de t) e de etanol (62,9 bilhões de litros), mais do que o dobro da produção 2008/2009, que foi de 27,7 bilhões de litros.

As estimativas para a produção brasileira de açúcar indicam uma taxa média anual de crescimento de 3,53% no período 2009/2010 a 2019/2020. Essa taxa deve conduzir a uma produção de 46,70 milhões de toneladas do produto em 2019/2020. Tal produção corresponde a um acréscimo de 15,2 milhões de toneladas em relação ao volume observado em 2008/2009. As taxas anuais projetadas para exportações e consumo para os próximos 11 anos são respectivamente de 3,80% e de 1,90%. Quanto à produção de etanol, composta pelo álcool anidro e álcool hidratado, no Brasil está concentrada nas regiões Centro-Sul, Norte e Nordeste, tendo como fonte a cana-de-açúcar. O etanol é considerado pelos especialistas como um álcool etílico de biomassa, para uso combustível ou industrial. É utilizado inclusive na produção de bebidas industrializadas. O Brasil e os Estados Unidos são os maiores produtores de etanol. As projeções do etanol referentes à produção, consumo e exportação refletem grande dinamismo, especialmente no crescimento do consumo interno. A produção de etanol projetada para 2019/2020 é de 62,91 bilhões de litros, mais que o dobro da produção de 2008/2009, de 27,76 bilhões de litros (MAPA, 2010).

2.2 Evoluções e fatores determinantes na adoção de inovações tecnológicas

Como fatores centrais relacionados à adoção das inovações tecnológicas, faz-se necessário salientar que as empresas brasileiras vêm buscando adequar suas estratégias de atuação em um contexto de progressivas introduções de inovações econômicas, numa perspectiva de crescente internacionalização das operações dessas corporações.

Schumpeter (1982) enfatizou o papel das inovações no sistema econômico. Para este

autor, o elemento chave da evolução do capitalismo é a inovação, no que diz respeito a introdução de novos produtos, bens ou técnicas de produção, novas fontes de matérias-primas, novos mercados ou de composições industriais.

É importante destacar o que seria uma organização com características inovadoras. Uma organização inovadora, para Barbieri (2007), é aquela que introduz novidades de qualquer tipo em bases sistemáticas, e colhe, portanto, os resultados esperados. A expressão “bases sistemáticas” para esse autor significa a realização de inovações com autonomia e proatividade. Assim, a inovação torna-se um elemento central do *modus operandi* dessa organização, o que deixa entender que ela desenvolve continuamente, recursos tangíveis e intangíveis.

Nessa linha, a inovação tecnológica é a promotora da dinâmica concorrencial, resultando em um processo de criação de diferenças nas formas de atuação das empresas. As quais têm como motivação principal para a busca de diferencial, a possibilidade de obter vantagens competitivas sobre as concorrentes (Centenaro, 2012). Este autor chama a atenção para o fato de que o desenvolvimento de novas tecnologias ajuda a ganhar legitimidade a partir dos limites definidos pela regulamentação relacionada.

Proença et. al (2009) definem a inovação tecnológica como a aplicação de uma novidade ao processo produtivo, ou em novo produto, ou na adição de novo atributo ao produto já existente, e ainda, adotando de novo processo de produção que possibilite obter melhores níveis de produtividade.

É indiscutível que o tema dos biocombustíveis é atualmente repetidamente abordado no contexto mundial. O que reflete uma preocupação crescente sobre a urgência do desenvolvimento e uso de combustíveis renováveis, bem como outras formas aprimoradas de energia (Renewable Energy Policy, 2015). O papel da legislação como promotora das melhorias tecnológicas e as estratégias de gestão ambientalmente orientadas, são questões que merecem destaque. As inter-relações entre os decisores políticos, os consumidores conscientes, os produtores e a evolução dos requisitos de Responsabilidade Social no comércio internacional, são aspectos que estão inter-relacionados e interdependentes, devido aos diversos interesses. A nova legislação exige que as empresas se envolvam na minimização de resíduos e tenham maior responsabilidade social, desde a fase de concepção do produto, passando pela fase de produção, de consumo e na gestão do fim-de-vida dos produtos. O que pode ser um catalisador cada vez mais importante para as mudanças corporativas, bem como das atitudes, valores, paradigmas e práticas orientadas para esse tema. Mas que ainda são insuficientemente explorados. Assim, as informações relativas às preocupações ambientais, às tecnologias limpas, ao tratamento de

resíduos, à gestão do fim de vida dos produtos e as energias mais limpas, permitirão que cada cidadão se torne mais consciente (Bonilla; Almeida; Giannetti & Huisingh, 2010).

Numa abordagem histórica, no sentido de entender as evoluções no âmbito do setor sucroalcooleiro, alguns planos econômicos objetivando controlar a inflação, inclusive com congelamento de preços, contribuíram para uma crise no setor canavieiro no período de 1987 a 1997, quando houve o fechamento de diversas unidades produtoras de álcool, devido a redução dos preços, sendo que muitas indústrias não tinham um planejamento para a nova realidade (Centenaro, 2012).

Nos anos 90, a abertura econômica significou a perda de mercado para os agricultores familiares, sobretudo, para aqueles que não conseguiram se integrar às indústrias. Nas regiões mais pobres ou naquelas que apresentavam condições desvantajosas e quando não conseguiram competir com os grandes produtores internacionais, o homem do campo foi obrigado a traçar novas estratégias para não sucumbir às pressões externas (Perestrelo & Martins, 2003).

Nesse contexto, na agroindústria canavieira, dos anos 90 até 2009, evidenciou-se um cenário de reestruturação a partir da desregulamentação setorial. Os produtores tiveram que se adaptar ao livre mercado e a caminhar sem os incentivos e a coordenação estatal, antes existentes. A desregulamentação direcionou para as expectativas quanto às oportunidades de lucratividade com menores riscos devido à saída do Estado.

Nesse sentido, os produtores passaram a desenvolver novas competências visando aumentar a eficiência técnica, modernizando a estrutura produtiva das usinas e buscando outros mecanismos de coordenação corporativista, por exemplo, na Unica em São Paulo ou na Alcopar, no Paraná. O paradigma tecnológico tornou-se condição *sine qua non* para a sobrevivência no mercado (Shikida, Azevedo & Vian, 2011). Numa abordagem ampliada, outros autores como Barbieri et al. (2010) identificaram: as pressões externas, a busca pela melhoria da imagem e a possibilidade de diferenciação, como sendo os fatores determinantes para a inovação empresarial.

No Brasil, a modernização agrícola passou pela implantação da agroindústria na zona rural, expandindo-se quase que exclusivamente entre as grandes propriedades que ampliavam as exportações nacionais.

Desta forma, o complexo agroindustrial da cana-de-açúcar, especialmente a cadeia produtiva do álcool, coloca o Brasil em posição de liderança no progresso tecnológico na área energética, a partir dos biocombustíveis (Proença *et al.*, 2009).

Sendo assim, no que diz respeito aos fatores determinantes para a inovação tecnológica

no setor analisado, foram identificados que nas áreas agrícola e industrial, os principais fatores estão relacionados à desregulamentação setorial, pois os produtores tiveram que se adaptar ao livre mercado; pautando-se também pela redução de custos; maior eficiência e aumento da produtividade. Há ainda, as influências significativas dos marcos regulatórios como, por exemplo, os que estabelecem fim para as queimadas nos canaviais.

Uma condição que vem abrindo oportunidades para a introdução no setor dos bens de capitais, como as máquinas de colheita mecanizada.

Constatou-se também que a motivação para a busca por modernização no setor é proveniente de uma melhor precisão e confiabilidade nos controles operacionais, inclusive de trato na cultura, em função das inovações tecnológicas empregadas. E ainda, a utilização e a valorização de subprodutos industriais, resultantes da fabricação de açúcar e álcool, são aspectos que também determinam a expansão da cultura da cana, e induzem à modernização e à maior eficiência dessa indústria.

2.3 As inovações tecnológicas no setor sucroalcooleiro

Autores seminais afirmavam que a inovação é uma condição fundamental para a geração de vantagem competitiva, assim como para o crescimento das empresas e para o desenvolvimento econômico e social (Schumpeter, 1982; Penrose, 1959).

Em relação aos modelos de inovação, para Rothwell (1994), eles podem ser classificados em cinco momentos:

- inovação Empurrada pela Tecnologia: modelo adotado nas décadas de 1950 e 1960, no qual a demanda era maior do que a capacidade de produção e a maioria das inovações tecnológicas era bem aceita pelos mercados;
- inovação Puxada pelo Mercado: entre os anos 1960 e 1970, a concorrência ficou mais intensa, de modo que as empresas buscavam compreender as necessidades dos mercados antes de desenvolverem soluções tecnológicas;
- modelo Composto: entre os anos 1970 e 1980, o processo de inovação toma outro direcionamento e passa a contemplar os agentes externos na conquista por conhecimentos da comunidade científica e outros atores;
- modelo Integrado: entre 1980 e 1990, os japoneses iniciaram a integração entre os diversos departamentos das empresas a fim de gerarem inovações mais rapidamente, através de atividades gerenciadas paralelamente;

- modelo de Redes: atualmente a inovação ocorre em um formato de rede, decorrente da ação conjunta entre atores internos e externos à empresa (Rothwell, 1994).

Nota-se, portanto, que as práticas inovadoras não são unidirecionais, mas passam por mudanças em decorrência de forças sistêmicas, as quais pressionam a organização a se adaptar.

Indo de encontro ao Modelo de Redes, enfatizado por Rothwell (1994), as inovações que ocorrem no setor sucroalcooleiro se encaixam nessa abordagem, pois as empresas de bases tecnológicas, como o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), por exemplo, têm contribuído com geração de novos conhecimentos para as usinas sucroalcooleiras.

A modernização tecnológica na área agrícola das usinas, abrange desde a escolha da variedade de cana a ser plantada, até fase da colheita. Nesse sentido, as inovações tecnológicas que vêm ocorrendo nessa agroindústria não se dão apenas no aspecto biológico, como os novos produtos genéticos, mas também na mecanização de processos, no preparo do solo e plantio, nas técnicas culturais e de colheita, reduzindo, inclusive, a sazonalidade da mão de obra contratada (Gonçalves, 2005).

A escolha de uma variedade da cana-de-açúcar resistente a pragas e doenças, que seja tolerante à seca e com o período útil industrial (PUI), é o que toda empresa deseja. Além disso, o planejamento da colheita é fundamental, garantindo assim o aproveitamento máximo da cultura.

Vale destacar que o melhoramento da cana-de-açúcar no Brasil é desenvolvido por três Instituições: o IAC-Instituto Agrônômico de Campinas, o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA) (Proença et al., 2009).

No que diz respeito ao avanço das capacidades tecnológicas, Shikida e Azevedo (2011) destacam que a agroindústria canavieira paulista, mineira e a paranaense dominam parcela expressiva das capacidades tecnológicas dos níveis básico e intermediário. Sendo a agroindústria paulista, a que apresentou, na maioria das vezes, os maiores índices de ocorrências nos âmbitos e perfis supracitados.

No âmbito da inovação, nota-se que 100% das usinas pesquisadas em São Paulo e Minas Gerais estão com capacidades tecnológicas de nível básico, que se refere ao conhecimento mínimo sobre a tecnologia em uso, condição necessária para as empresas se manterem no mercado; no Paraná, no nível intermediário (as indústrias apresentam conhecimentos científicos, pessoal qualificado e algum direcionamento para P&D), novamente São Paulo é o destaque (78%), seguido de Paraná (20%) e Minas Gerais (14%). Uma unidade

paranaense (10%) está inserida no âmbito da inovação na gradação avançada, que envolve P&D, procurando criar/deter novas tecnologias; São Paulo, neste quesito, apresentou 22% e Minas Gerais 0%.

Proença et al. (2009) mostram que aos poucos, o plantio mecanizado da cana vem ganhando espaço, o qual não é mais amplo, devido a problemas técnicos e desvantagens como os altos índices de danos mecânicos causados às gemas nas operações de colheita da muda/transbordo/plantio. Por outro lado, o plantio mecanizado possui a vantagem de manter o teor de umidade no solo, propiciando uma melhor brotação dos toletes, uma vez que a plantadora abre o sulco, aduba, distribui os toletes, aplica o defensivo e fecha os sulcos, em uma só operação. No plantio mecanizado utiliza-se uma quantidade maior de mudas, em torno de 16 ton/ha, enquanto no plantio manual é usado 12 ton/ha.

Quanto ao plantio da cultura, outra solução inovadora para aumentar a produtividade, facilitar o manejo, agregar valor e baixar os custos de produção, diz respeito a um sistema mecanizado e totalmente automatizado. Esse sistema que utiliza tecnologia de ponta, consiste na preparação e fertilização do solo, empregando o georreferenciamento por satélites, e no plantio dos toletes (CTC, 2015).

Quanto à colheita da cana-de-açúcar, o sistema tradicional de colheita manual por cana queimada, elimina a matéria seca e aumenta a concentração de gás carbônico na atmosfera, contribuindo com o efeito estufa. Um aspecto muito criticado, devido aos impactos para o meio ambiente.

Desse modo, a colheita mecanizada da cana-de-açúcar está cada vez mais presente nesse setor no Brasil. Por ter um potencial econômico mais interessante (Davis; Hay & Pierce, 2014). Esse tipo de colheita permite ainda a padronização, o pré-processamento da matéria-prima e principalmente, uma maior segurança para o processo produtivo, com melhor controle das atividades na indústria.

Na maior parte dos canaviais paulistas, por exemplo, a mecanização da colheita terá de atingir 100%, como prevê a lei 11.241/02 e o Protocolo Agroambiental assinado em 2007. O fogo, para queima da palha, só poderá ser usado até 2017 em áreas onde a topografia não permite a colheita mecanizada. A mecanização da cana-de-açúcar atingiu 84,8% na safra 2013/14 na região de São Paulo.

O Instituto de Economia Agrícola (IEA) em parceria com a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), estimou o percentual de área colhida por máquinas na colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo na safra agrícola 2013/14. Do total de área

em produção ou área de corte (5.497.118 hectares), 84,8% encontra-se mecanizada, correspondendo a 4.659.684 hectares, aumento de 3,5 pontos percentuais em relação à safra 2012/13. A partir desse índice é possível acompanhar a evolução da mecanização da colheita de cana-de-açúcar e avaliar o cumprimento dos marcos regulatórios, com fins de proteção ambiental (NOVACANA, 2015).

Outro fato que marca o início de um novo estágio para a agricultura canavieira com destaque para o surgimento da biotecnologia moderna. Silveira, Borges e Buainain (2005) enfatizam sobre os avanços no campo da genética vegetal, que têm como efeito reduzir a dependência excessiva das inovações mecânicas e químicas, que foram os pilares da revolução verde. Além do aumento da produtividade, a biotecnologia moderna pode contribuir para a redução dos custos de produção, para a produção de alimentos com melhor qualidade e com o desenvolvimento de práticas menos agressivas. Assim, a principal contribuição da biotecnologia visa ao desenvolvimento de uma planta com um atributo de interesse econômico, como é o caso das plantas resistentes aos vírus ou pragas. Os primeiros experimentos com cultivos geneticamente modificados (GM) foram feitos em 1986, nos Estados Unidos e na França.

As práticas de melhoramento genético (GM), com potencial de maior produtividade, indicam avanço para o desenvolvimento e melhoria das culturas, e permitem acelerar o processo de seleção e melhoramento, aumentando o número de cópias do gene que são responsáveis por características desejáveis e reduzindo os genes que codificam traços indesejáveis (Davis; Hay & Pierce, 2014).

Complementarmente, o trabalho de Cirani e Moraes (2010) sugerem que o percentual de adoção das tecnologias de precisão, que visa gerenciar a variabilidade espacial da produção, é elevado na indústria sucroalcooleira paulista. Numa perspectiva global, cada vez mais as práticas agrícolas de precisão estarão sendo utilizadas (Davis; Hay & Pierce, 2014). E, a probabilidade de adotar tais tecnologias é maior em usinas de capital nacional, que fazem parte de um grupo empresarial de orientação exportadora, de gestão profissional e que utilizam maior percentual de recursos próprios para investimentos.

Outro aspecto é que a cultura canavieira vem utilizando o sensoriamento remoto para analisar a área cultivada e antecipar dados de safra. Atualmente, já estão realizando controle de pragas através desta tecnologia, visando reduzir custos com defensivos agrícolas (Proença, et al., 2009). Estes autores afirmam que o monitoramento por meio do sensoriamento remoto via satélite é feito na região Centro-Sul por meio do programa Canasat, projeto em parceria entre o

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), a ESALQ e a UNICA (entidade que representa as indústrias sucroalcooleiras).

Outra novidade é o etanol celulósico, o etanol de 2ª geração ou 2G. Um combustível produzido a partir de materiais que contenham celulose, como o resultado do processamento da biomassa da cana: o bagaço e a palha. Essa tecnologia poderá dobrar a quantidade de etanol produzida por unidade, em relação ao etanol de 1ª geração, sem necessidade de expandir a área plantada e mantendo a autossuficiência energética. Sendo que geralmente, a técnica escolhida para o desenvolvimento é a de hidrólise enzimática. Esse projeto inovador será integrado aos processos de geração de etanol existentes nas usinas que operam no Brasil (CTC, 2015).

Eggert e Greker (2014) salientam que os EUA, assim como o Brasil e alguns países europeus vêm introduzindo políticas de apoio ao bioetanol e biodiesel. Esses autores analisaram o estado de biocombustíveis de segunda geração, 2G, os quais são considerados mais caros de produzir, particularmente o etanol à base de celulose. E, mostraram em seu artigo sobre políticas que poderiam facilitar a competitividade desses combustíveis, na medida em que o investimento privado no desenvolvimento de 2G bioetanol ainda é baixo. Para esses autores, precisaria de uma intervenção pública com apoio específico à pesquisa e à aprendizagem tecnológica a fim de alcançar as reduções de custos necessárias para o bioetanol 2G, e que ocorresse um somatório das inovações e da experiência de todo o setor. Finalmente, os autores alertam para outras opções, tais como os veículos a hidrogênio ou elétricos, pois podem trazer inovações preferíveis em relação aos veículos movidos a biocombustíveis.

Nessa linha, Albarelli, Ensinas e Silva (2014) salientam que a redução da carga de enzima da matéria celulósica é um fator limitante para fazer o etanol de segunda geração ser mais competitivo que o etanol tradicional.

No que diz respeito à área industrial, tem ocorrido o aumento de produtividade devido à automação dos processos de fabricação de açúcar e álcool, que estão deixando de ser controlados manualmente e passam a ser controlados por computadores. Vem ocorrendo ainda a implantação de novas tecnologias, como as moendas de alta capacidade e processamento, caldeiras de alta pressão e extração do caldo por difusores (Augusto, Takahashi & Sachuk, 2012).

Ainda na parte industrial, com o aumento da mecanização da colheita de cana-de-açúcar e a diminuição da palha dos canaviais, cresce a quantidade de palhicho que vai para o processamento industrial. Neste sentido, a tecnologia de limpeza de cana a seco (sopradores e peneiramentos) possibilita a separação da palha antes de ir para o picador e posteriormente na

utilização da palha, como combustível complementar de energia. Com este processo, a empresa tem alguns benefícios como: a economia de água, o aumento da capacidade de moagem, redução no volume de torta de filtro, entre outros. O custo de implantação dessa tecnologia está condicionado ao porte e à realidade de cada unidade (Proença, *et al.*, 2009).

De forma complementar, há um *software* que resolve questões de automação industrial, ou seja, trata-se de uma tecnologia que vem sendo aplicada em diversos setores industriais, mas a maior clientela desse produto batizado de Leaf, de domínio da empresa a ISystems, é formada por usinas sucroalcooleiras. O Leaf foi criado por um grupo de engenheiros de computação e matemáticos, na época em que eram estudantes na Universidade de Campinas (Unicamp). Baseia-se na chamada lógica difusa, ou lógica "fuzzy", que usa uma série de cálculos (algoritmos) para ampliar as formas de executar uma tarefa.

A aplicação do Leaf se dá em processos automatizados, cujas oscilações tragam perdas às fábricas. Nas usinas de cana-de-açúcar, as aplicações feitas até agora foram na redução da variação de pressão em torres de destilação de etanol. Em uma unidade sucroalcooleira de São Paulo, essa tecnologia conseguiu reduzir em 61% essas variações, o que trouxe uma produtividade de 11% maior no processo. O *software* tem outras aplicações, como em caldeiras de cogeração de energia, em cozedores (que permitem atingir no caldo a concentração de açúcar desejada), assim como no processo de evaporação. Ao todo, 19 grupos sucroalcooleiros estão testando ou já adotaram o Leaf em 23 plantas industriais (Batista, 2013).

No que diz respeito à busca por eficiência quanto aos resíduos da cana-de-açúcar, Andrade (2010) em um estudo na empresa goiana Jalles Machado S/A identificou que ela produz toda a energia que utiliza e vende em seguida a produção excedente. A empresa foi pioneira no estado de Goiás na implantação da cogeração de energia elétrica a partir do bagaço da cana. Sua central termoelétrica tem capacidade para gerar 40 MWH, suficientes para abastecer uma cidade com 150 mil habitantes. Há vantagens econômicas e ambientais da cogeração, se comparadas às tradicionais hidrelétricas. Na cogeração de energia (a partir do bagaço), os custos de implantação são em média de 50% de uma central hidrelétrica. A cogeração de energia também é uma solução para os resíduos da cana.

Contudo, mesmo considerando os avanços que vêm ocorrendo no setor, segundo a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), o setor sucroenergético brasileiro apresenta um comportamento ainda tímido em relação à inovação e há poucas empresas que realizam investimentos nessa área de forma frequente. A constatação é de um estudo de pesquisadores do Núcleo de Apoio à Gestão da Inovação do Setor Sucroenergético,

com sede na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e apoiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (Finep).

Esse estudo serviu de base para o livro “*Futuros do bioetanol: o Brasil na liderança?*”. O livro é resultado de um trabalho de capacitação de profissionais do setor sucroenergético em gestão da inovação, com um diagnóstico da inovação nessa área e a elaboração de planos de inovação para empresas do setor. Uma das constatações é que das 58 empresas participantes do projeto, que representam um terço da produção nacional de etanol, uma pequena parcela faz inovação de forma mais intensa e possui estrutura de pesquisa e desenvolvimento (P&D). De uma forma geral, o nível de inovação no setor sucroenergético brasileiro ainda é considerado baixo, principalmente na área agrícola (FAPESP, 2015).

É inegável que cada vez mais as inovações vêm ocorrendo no setor sucroalcooleiro, o que traz boas perspectivas para os empresários do setor, mas há ainda muito espaço para estudos, investimentos e avanços.

2.4 Perspectivas no âmbito do setor sucroalcooleiro

Na perspectiva tecnológica e social e ambiental, é notável que o Brasil ainda precisa avançar em seus projetos, considerando o âmbito da atividade produtiva deste estudo. Mesmo diante do mérito técnico-produtivo já conquistado.

Há aqueles que afirmam que as transformações atuais do capitalismo modificam a economia em busca da eficiência e da diminuição dos custos da produção, sacrificando milhões de postos de trabalho. Vale ressaltar que a produção da cana-de-açúcar e sua transformação são atividades ligadas a intensos debates, pois há potenciais impactos negativos, de natureza ambiental e social.

Outros autores como Shikida e Azevedo (2011) projetam alguns desafios em termos de capacidades tecnológicas que a indústria canavieira precisa consolidar para firmar melhores resultados. Isso nos âmbitos dos investimentos, operação/produção e inovação. Há, portanto, espaço para avançar no desenho do processo básico, fabricação dos equipamentos, na inovação de processo e, sobretudo, em P&D, de modo que permita avanços. Neves e Conejero (2007) complementam afirmando que no ambiente tecnológico há ainda oportunidades no sistema agroindustrial da cana, que podem estar relacionadas: à mecanização da colheita; ao etanol gerado a partir da palha e bagaço; no uso de satélites e agricultura de precisão e na modificação genética das variedades da cana.

No que diz respeito ao ambiente político-legal, a proibição da queimada da cana inviabilizará algumas áreas (de maior ou menor impacto) e a própria legislação ambiental e trabalhista buscará cada vez mais uma condição de sustentabilidade (Neves & Conejero, 2007). Ameaças de natureza social também devem ser trabalhadas, como o avanço do biocombustível em áreas de produção de alimentos, a imagem da empregabilidade na colheita, de ocupação de terra (monocultura) e das queimadas.

Neves e Conejero (2007) enfatizam que toda a produção terá que ser feita baseada no equilíbrio das dimensões da sustentabilidade: *ambiental* (condições e características de produção), *humana* (respeito aos recursos humanos envolvidos) e *econômica* (lucros e distribuição de resultados). Há anos, a questão da sustentabilidade vem sendo discutida nesse setor, pois o potencial de desequilíbrio da atividade é grande.

Nesse sentido, Escobar *et al.* (2009) consideram que é imperioso estabelecer condições de trabalho e re remuneração adequadas para os trabalhadores da cadeia de produção de biocombustíveis.

Vale ressaltar que em algumas regiões do Brasil, pequenos produtores estão arrendando suas terras ou investindo em outras culturas, em decorrência da proibição (como os marcos da Lei n. 11.241 de 2002 do governo do Estado de São Paulo e o Protocolo Agroambiental de 2007) da queima da cana, pois a baixa remuneração do setor e a desvantagem em fazer a colheita mecanizada em pequenas áreas, acaba excluindo-os da produção da cana-de-açúcar.

Mesmo assim, não se pode negar que o processo de modernização do campo contribuiu para a expansão e aumento da produtividade do país, integrando novas regiões à economia nacional e aumentando a exportação (Teixeira, 2005).

Outro fator pertinente é que o país precisa aumentar sua oferta de etanol para conseguir consolidar este produto no mercado nacional e internacional de forma estável. Desse modo, o aumento da oferta dependerá de novos investimentos na capacidade produtiva e gerencial das empresas instaladas, pois há indicação de que várias usinas operam com capacidade ociosa – a média da capacidade de uso das usinas de etanol no Brasil é de apenas 53,9% (Garcia, Lima & Vieira, 2015).

Importante ressaltar também que apesar das perspectivas de expansão do consumo de etanol no mercado interno e externo, da disponibilidade de terras para o cultivo, das tendências de elevação do preço do petróleo e das restrições impostas pelos reflexos do aquecimento global, o setor sucroenergético ainda vivencia um período de incertezas quanto ao retorno dos

investimentos. Embora o governo brasileiro tenha apresentado incentivos para a retomada dos investimentos, o setor ainda dá sinais que não realizará os investimentos para reverter o cenário de crise, em função do endividamento das empresas, em particular das empresas nacionais, e no caso das empresas controladas pelo capital externo, em função da insegurança de elevar o aporte de capital, não sendo possível a certeza do retorno (Garcia, Lima & Vieira, 2015).

Enfim, as inovações tecnológicas estão dando um novo direcionamento às atividades produtivas do país. Assim, parece que o capital passou a comandar a economia do país em todos os setores, inclusive no campo. Apesar de que os avanços técnicos-produtivos se mostram não atingindo todos os produtores, direcionando para a exclusão dos menos favorecidos. Além disso, não se pode afirmar, pois é um tema que não há consenso, mas há um potencial aumento dos impactos ambientais, o que pode intensificar os problemas de cunho social.

Considerações Finais

Devido às evoluções no paradigma tecnológico, as usinas brasileiras têm sido obrigadas a assumir novos investimentos para se manterem ou mesmo superarem suas posições no mercado, tornando-se necessário uma articulação do setor sucroalcooleiro com o setor público, com vistas à alavancagem de P&D e superação de alguns gargalos setoriais.

Corroborando os estudos de Shikida, Azevedo e Vian (2011), a agroindústria canavieira brasileira é tecnicamente qualificada e possui os menores custos de produção do mundo, além de contar com potencial para o aumento da produção. Contudo, esta condição é dada fundamentalmente por suas capacidades tecnológicas básica e intermediária, considerando uma escala de nível básico a avançado. A caracterização do tipo avançado, que apresenta tecnologia de ponta de um setor, ainda tem muito espaço para avançar. Embora o setor sucroenergético vivencie hoje um período de incertezas quanto ao retorno dos investimentos.

Com base no estudo de Dunham, Bomtempo e Fleck (2011), foi possível observar o caráter exógeno das inovações ocorridas no setor analisado. As usinas de açúcar e álcool são ainda dependentes de inovações desenvolvidas por outros agentes. As instituições públicas e privadas de pesquisa se mostram essenciais para a melhoria da produtividade da cana, além de melhorias em outros aspectos da cultura – como a resistência a pragas e doenças. As indústrias de bens de capital e serviços desenvolvem e ajudam na difusão de equipamentos e *softwares* de melhor desempenho, aumentando as escalas de produção, melhorando o controle dos processos e os índices de rendimento.

Constatou-se que a vantagem competitiva dessas usinas é proveniente da redução de custos e aumento da produtividade, bem como de uma melhor precisão e confiabilidade nos controles operacionais, em função das inovações tecnológicas empregadas. A utilização e a valorização de subprodutos industriais resultantes da fabricação de açúcar e álcool são aspectos que também motivam a expansão da cultura da cana no Brasil, e induzem à modernização e a uma maior eficiência dessa indústria. Mesmo assim, há desafios em termos de capacidades tecnológicas e sociais que a indústria canavieira precisa trabalhar e consolidar para firmar melhores resultados.

Por fim, no setor analisado, o avanço nos meios técnicos-produtivos mostra-se não atingindo todos os produtores e propriedades, excluindo os menos favorecidos. Diante aos possíveis desequilíbrios sociais advindos da atividade econômica analisada, faz-se necessária a atenção do governo na elaboração de políticas públicas para amparar a mão de obra: considerando os impactos do processo de inovação tecnológica, a qual tem conquistado mais espaço no contexto sucroalcooleiro. Por fim, futuras pesquisas poderiam explorar esse aspecto, mostrando a ausência ou a presença da intervenção do poder público, como uma benesse para os menos favorecidos.

Referências

Albarelli, J. Q.; Ensinas, Adriano V.; Silva, Maria A. (2014). A New Proposal of Cellulosic Ethanol to Boost Sugarcane Biorefineries: Techno-Economic Evaluation. *International Journal of Chemical Engineering*, Article ID 537408, p. 1-11.

Andrade, M. C. F. (2010). *Green supply chain management e sustentabilidade na agroindústria canavieira: o caso Jalles Machado*. Mestrado em Administração, programa de pós-graduação em Administração da Unisinos, 133 p.

Augusto, C. A.; Takahashi, L. Y.; Sachuk, M. Y. (2012). A Influência da Inovação Tecnológica na Competitividade e nas Relações de Trabalho em Usinas de Açúcar e Álcool Paranaenses. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, Lavras, v. 14, n. 1, p. 1-14.

Barbieri, J. C. (2007). Organizações inovadoras sustentáveis. In: BARBIERI, J. C.; SIMANTOB, M. *Organizações inovadoras sustentáveis: uma reflexão sobre o futuro das organizações*. São Paulo, Atlas.

Barbieri, J. C.; Vasconcelos; I. F. G.; Andreassi, T.; Vasconcelos, F. C. (2010). Inovação e sustentabilidade: novos modelos e proposições. *RAE*, v. 50, n. 2, p. 146-154.

Batista, F. (2015). *Usinas testam inovação para reduzir desperdícios*. Disponível em <http://www.unicamp.br/unicamp/clipping/2013/09/26/usinas-testam-inovacao-para-reduzir-desperdicios> Acesso em 30/09/15.

Bonilla, S. H.; Almeida, C. M. V. B.; Giannetti, Biagio F.; Huisingh, D. (2010). The roles of cleaner production in the sustainable development of modern societies: an introduction to this special issue. *Journal of Cleaner Production*, 18, p. 1–5.

Centenaro, M. (2012). *Um estudo sobre investimento direto externo no setor sucroenergético do estado de Mato Grosso do Sul*. Dissertação de mestrado do Programa de pós-graduação em Administração da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo.

Centro de Tecnologia Canaveieira – CTC. (2015). Disponível em <http://www.ctcanaveieira.com.br/etanol2g.html> Acesso em 30/09/15.

Cirani, C. B. S.; Moraes, M. A. F. D. (2010). Inovação na indústria Sucroalcooleira Paulista: determinantes da adoção das tecnologias de agricultura de precisão. *RESR*, Piracicaba, SP, v. 48, n. 4, p. 543-565.

Davis, S. C.; Hay, W.; Pierce, J. (2014). *Biomass in the energy industry: an introduction*. Disponível em http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/sustainability/group-reports/ESC_biomass_handbook.pdf acesso em 21 maio de 2016.

Dunham, F. B.; Bomtempo, J. V.; Fleck, D. L. (2011). A Estruturação do Sistema de Produção e Inovação Sucroalcooleiro como Base para o Proálcool. *Revista Brasileira de Inovação*, Campinas (SP), v.10 (1), p. 35-72, 2011.

Eggert, H.; Greker, M. (2014). Promoting Second Generation Biofuels: Does the First Generation Pave the Road? *Energies*, n. 7, p. 4430-4445.

Escobar, J. C.; Lora, E. S.; Venturini, O. J.; Yáñez, E. E.; Castillo, E. F.; Almazan, O. (2009). Biofuels: Environment, technology and food security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.13, p. 1275–1287.

Fredo, C. E.; Salles-Filho, S. L. M. (2012). Tecnologia X Emprego no setor Sucroalcooleiro de São Paulo. *Rev. de Economia Agrícola*, São Paulo, v. 59, n. 1, p. 05-22.

Freeman, C. The ‘National System of Innovation’ in historical perspective. Cambridge. *Journal of Economics*, n. 19, p. 5-24, 1995.

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP. (2015). *Inovação no setor sucroenergético brasileiro ainda é baixa*. Disponível em

Garcia, J. R.; Lima, D. A. L. L.; Vieira, A. C. P. (2015). A nova configuração da estrutura produtiva do setor sucroenergético brasileiro: panorama e perspectivas. *Revista de Economia Contemporânea (Journal of Contemporary Economics)*, v. 19, n.1, p. 162-184.

Gonçalves, J. S. Dinâmica da agropecuária paulista no contexto das transformações de sua agricultura. (2005). *Informações Econômicas*, São Paulo, v. 35, n. 12, p. 65-98.

http://agencia.fapesp.br/inovacao_no_setor_sucroenergetico_brasileiro_ainda_e_baixa_aponta_pesquisa/20866/ Acesso em 30/09/15

Lundvall, Bengt-Ake. *National Systems of Innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*. London: Pinter, 1992.

Marin, F.; Nassif, D. S. P. (2013). Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n.2, p. 232–239.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). (2015). *Projeções do Agronegócio Brasil: 2009/2010 a 2019/2020*, Brasília, 2010. Disponível em http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/MAIS%20DESTAQUES/Proje%C3%A7%C3%B5es%20Agroneg%C3%B3cio%202009-2010%20a%202019-2020.pdf Acesso em 23/09/2015.

NOVACANA. (2015). *Mecanização da cana-de-açúcar atinge 84,8% na safra 2013/14 em SP*. Disponível em <http://www.novacana.com/n/cana/colheita/mecanizacao-colheita-cana-safra-020315/> Acesso em 24/09/2015.

Penrose, E. (1959). *The theory of the growth of the firm*. New York: Oxford University Press.

Perestrelo, J. P. P.; Martins, I. S. (2003). Modernização rural: transformações econômicas e suas implicações demográficas, epidemiológicas e nutricionais nos municípios de Monteiro Lobato e Santo Antônio do Pinhal. *Saúde e Sociedade*, v.12, n.2, p. 38-55.

Proença, E. R.; Tarsitano, M. A. A.; Bolonhezi, A. C.; Rapassi, R. M. A.; Costa, S. M. A. L. (2009). *Inovações Tecnológicas adotadas por Usinas do Setor Sucroalcooleiro na regional de Andradina, SP*. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural -SOBER, 47º Congresso, Porto Alegre.

Renewable Energy Policy Global Status. *Annual Reporting on Renewables: ten years of excellence*. Disponível em http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015-Onlinebook_low1.pdf. Acesso em 19 de maio de 2016.

Rodrigues, J. A. R., (2011). Do Engenho à Biorrefinaria. A Usina de Açúcar como Empreendimento Industrial para a Geração de produtos Bioquímicos e Biocombustíveis, *Quim. Nova*, v. 34, n. 7.

Rothwell, R. (1994). Industrial innovation: success, strategy, trends. In Dodgson, M.; Rothwell, R. (Eds.) *The handbook of industrial innovation*. Hants. Edward Elgar.

Schumpeter, J. A. (1982). *Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juro e o ciclo econômico*. São Paulo: Nova Cultural.

Shikida, P. F. A.; Azevedo, P. F.; Vian, C. E. F. (2011). Desafios da Agroindústria Canavieira no Brasil Pós-desregulamentação: uma análise das capacidades tecnológicas, *RESR*, Piracicaba, SP, v. 49, n. 03, p. 599-628.

Silveira, J. M. F. J.; Borges, I. C.; Buainain, A. M. (2005) Biotecnologia e Agricultura da ciência e tecnologia aos impactos da inovação. *São Paulo em Perspectiva*, v. 19, n. 2, p.101-114.

Teixeira, J. C. (2005). Modernização da Agricultura no Brasil: impactos Econômicos Sociais e Ambientais. *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros*, Três Lagoas-MS, v. 2 – n. 2, p. 21-42.