

Sistemas de Inovação Ambiental em Países em Desenvolvimento: uma discussão a partir do desenvolvimento do Etanol de Segunda Geração no Brasil

Stela Ansanelli

Professora do Departamento de Economia da Faculdade de Ciências e Letras da UNESP
E-mail: stelaluiza@fclar.unesp.br

Pedro Pinho Senna

Universidade Estadual Paulista - UNESP
E-mail: pedrinhosenna@gmail.com

Daniel Augusto Coração de Campos

Universidade Estadual Paulista - UNESP
E-mail: danielcoracaocampos@gmail.com

Guilherme Ribeiro da Silva

Universidade Estadual Paulista - UNESP
E-mail: gui_93@msn.com

Resumo

As inovações ambientais constituem um caminho importante para a redução do hiato tecnológico de países em desenvolvimento, contudo, é pouco explorada, pela literatura, uma abordagem sistêmica adequada à realidade e às características desses países. O objetivo deste artigo é discutir a constituição de sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento, por meio do estudo de caso do desenvolvimento do Etanol de 2ª Geração (E2G) no Brasil. Observou-se que o E2G constitui uma inovação ambiental de processo e a forma como esse vem sendo realizado caracteriza um Sistema de Inovação Ambiental em E2G de cana no Brasil, pelas interações harmoniosas e coesas entre o Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), o governo, as instituições de pesquisa (nacionais e estrangeiras), as firmas de diferentes setores (nacionais e estrangeiras) e a demanda em ascensão.

Palavras-chave: Sistemas de inovação, Ambiental, Etanol de segunda geração.

Classificação JEL: Q42, Q55, Q58

Environmental Innovation Systems in Developing Countries: A Discussion on the Development of Second-Generation Ethanol in Brazil

ABSTRACT

Environmental innovations consist in a very important path towards decreasing technology gap in developing countries, however, it is poorly explored, by specialized literature, in a systemic approach adequate for these countries' reality and

characteristics. The main purpose of this research is to discuss the formation of environmental innovation systems in developing countries, by means of a case study regarding the development of Second Generation Ethanol (SGE) in Brazil. It has been observed that SGE represents a process environmental innovation, also, the current production methods characterize Brazilian sugarcane-based SGE as an environmental innovation system, because of the harmonious and cohesive interactions between the National Lab for Bioethanol Science and Technology (CTBE), the government, national and foreign research institutions, national and foreign firms of different sectors, and the growing demand.

Key words: *Innovation systems, Environmental, Second-generation ethanol.*

JEL Code: *Q42, Q55, Q58*

1. Introdução

A habilidade de introduzir novas tecnologias e novos elementos organizacionais é fator essencial para o processo de modernização, industrialização e, conseqüentemente, desenvolvimento econômico (BOGLIACINO et al, 2009). Para certos autores, o processo de inovação é interativo e resulta das relações entre os agentes econômicos, políticos e sociais. Esses “Sistemas de Inovação” envolvem não só inovações radicais, como também incrementais e difusão tecnológica e são vistos como uma forma de política de desenvolvimento industrial e tecnológico (LASTRES; CASSIOLATO; ARROIO, 2005). Dentro da literatura que aborda esse conceito, são debatidas as especificidades e fragilidades dos países em desenvolvimento na construção de Sistemas de Inovação (LUNDVALL et al, 2009).

As inovações tecnológicas que evitam ou minimizam danos ambientais também representam oportunidades de ganhos competitivos e sustentáveis. Firms que desenvolvem inovações ambientais, por exemplo, têm maior inserção internacional via investimentos diretos estrangeiros ou elevação das exportações (LUSTOSA, 2002). Alguns autores acreditam que as inovações ambientais também podem ser desenvolvidas por meio de um processo interativo constituindo Sistemas de Inovação Ambiental (WEBER; HEMMELSKAMP, 2005; OLTRA; JEAN, 2009; KEMP; ROTMANS, 2005). Contudo, essa discussão não aborda países em desenvolvimento.

Desse modo, o objetivo deste artigo é discutir a construção de Sistemas de Inovação Ambiental em países em desenvolvimento, por meio do estudo de caso do desenvolvimento do Etanol de 2ª Geração (E2G) no Brasil. O E2G, produzido a partir da biomassa da cana-de-açúcar, é uma exclusividade brasileira e o modo como ele foi (e vem sendo) desenvolvido, por meio da interação entre diversos atores, traz significativas contribuições para cobrir a lacuna identificada na literatura.

A metodologia baseou-se em revisão bibliográfica, pesquisa *em sites* e realização de entrevistas com especialistas. Esse artigo se divide em três seções, além desta introdução: na seção 2 será definido o conceito de Sistemas de Inovação Ambiental e discutida a possibilidade de construção de sistemas de inovação em países em desenvolvimento; na seção 3 será apresentado o E2G de cana como inovação ambiental e analisada a forma sistêmica como este foi (e vem sendo) desenvolvido no Brasil, na busca de articular elementos do Sistema de Inovação Ambiental com os de Sistema de Inovação em países em desenvolvimento; a última seção compõe as conclusões do trabalho.

2. Sistemas de Inovação, Meio Ambiente e Países em Desenvolvimento

2.1 Determinantes da inovação ambiental em uma abordagem sistêmica

Inovação ambiental consiste em processos novos ou modificados, técnicas, sistemas e produtos que evitam ou reduzem danos ambientais. As inovações podem ser técnicas ou organizacionais. Há duas principais categorias de uso de inovações técnicas: tecnologias do tipo *end-of-pipe*, que buscam minimizar um dano ambiental gerado e são consideradas, portanto, uma medida paliativa; e tecnologias limpas, que evitam ou reduzem a emissão de poluentes e minimizam a utilização de energia e materiais como insumos, sendo vistas como preventivas. A inovação organizacional, por sua vez, muda a estrutura da organização, das rotinas e das práticas de uma empresa. Em alguns casos, ela pode ser um pré-requisito da inovação técnica ambiental (KEMP; ARUNDEL, 1998).

Embora se origine da mesma corrente de pensamento neoshumpeteriana, a inovação ambiental se diferencia da inovação “tradicional” quanto ao seu desenvolvimento e difusão. Enquanto essa surge endogenamente no processo de busca de assimetrias e por meio de rotinas, a ambiental necessita da pressão da regulação ambiental para despertar as firmas na correção dos impactos ambientais e reduzir a incerteza dos investimentos. Além disso, as condições de apropriabilidade podem ser reduzidas, visto que é de interesse social a rápida difusão de tecnologias ambientais. De modo complementar, para alguns problemas ambientais ainda não existe conhecimento técnico suficiente (KEMP; SOETE, 1990).

De fato, na literatura, a famosa hipótese de Porter ressalta o papel da regulação como condutora do processo de inovação ambiental nas firmas, capaz de transformar os desperdícios ambientais em ganhos econômicos de produto e processo, como economia de energia e água, no transporte dos resíduos e na melhoria e durabilidades dos produtos (PORTER; LINDE, 1995).

Contudo, embora a regulação seja um dos principais fatores determinantes da inovação ambiental, outros elementos e a articulação entre eles vêm ganhando espaço na literatura. Para Lustosa (2002), os quatro elementos que induzem as empresas a adotarem práticas mais limpas são: as políticas ambientais, na forma de legislações, subsídios, créditos, financiamentos e outros mecanismos utilizados pelas instituições; as pressões dos consumidores finais e intermediários; a pressão dos grupos de interesses (*stakeholders*) e a pressão dos investidores.

Green (2005) destaca, além da regulação, as alterações na demanda do mercado, efeitos de pressões da cadeia de suprimentos (que é uma forma da mudança inter-organizacional da demanda) e mudança da cultura dentro da organização inovadora.

Oltra (2008) agrupa esses fatores determinantes em três tipos:

- Políticos: instrumentos regulatórios e econômicos, incluindo incentivos financeiros;
- Do lado da oferta: agentes da cadeia e suas atividades inovativas;
- Do lado da demanda: preferências dos consumidores.

Para Weber e Hemmelskamp (2005), inovação que resulta em sustentabilidade exige mais do que inovação tecnológica, como mudanças na cadeia de consumo, nas instituições, no comportamento dos atores envolvidos, na forma de extração dos recursos e no consumo dos bens, bem como na interação entre esses elementos.

Assim, como a geração de inovações ambientais depende de vários fatores e da interação entre eles, não sendo resultado de uma resposta sistemática à regulação, a discussão quanto à determinação da inovação ambiental tem caminhado na direção de Sistemas de Inovação Ambiental.

Weber e Hemmelskamp (2005) apresentam cinco características presentes em um Sistema de Inovação Ambiental: alterações funcionais com salto de ecoeficiência; combinação de inovações tecnológica, organizacional e institucional; envolvimento de vários atores; existência de um novo guia de princípios e objetivos e mudanças de longo prazo nos níveis micro e meso. Para um Sistema de Inovação gerar um Sistema de Inovação Ambiental são necessárias novas políticas e abordagens de governança operando e coordenando diferentes esferas de decisão política, uma vez que devem conduzir a uma nova qualidade de resultados.

Oltra e Jean (2009), ressaltam a importância do padrão setorial. A inovação ambiental resulta da interligação entre os três grupos de determinantes. O regime tecnológico ajuda a compreender as dinâmicas microeconômicas de inovação ambiental, por considerar as características do ambiente tecnológico no nível da indústria, fornecendo melhor entendimento do processo de aprendizado da inovação ambiental. As condições da demanda, por meio das preferências dos consumidores e de seus critérios de compra, são importantes na difusão das inovações ambientais e na competição tecnológica. Por fim, as políticas inovativas e ambientais influenciam o regime tecnológico e as condições da demanda, mas, ao mesmo tempo, são condicionadas por eles.

A partir de uma visão normativa, para Kemp e Rotmans (2005), a noção de Sistemas de Inovação Ambiental é dinâmica, interativa e global. Esses sistemas envolvem uma coevolução entre sistemas técnicos, ambientais e sociais, sendo mais do que o melhoramento de um sistema de inovação e são passíveis do conflito entre os objetivos políticos de curto prazo e a mudança de longo prazo necessária à sustentabilidade. Sistema de Inovação Ambiental, geralmente, consiste em uma combinação de componentes novos e antigos e pode mesmo consistir de uma nova combinação de componentes antigos. Ele transcende um país ou mesmo continente e vai além do uso de processos de produção mais eficientes e produtos verdes.

Os autores defendem uma transição de médio – longo prazo, com planejamento e método de implementação, voltada a objetivos e resultados específicos, tais como a alteração de um modelo energético emissor de dióxido de carbono (CO₂) para outro baseado em energias renováveis, como eólica, biomassa, hidrogênio e elétrica. Essa transição deveria ter, como elementos principais, vários domínios, atores e níveis, bem como precisaria enfatizar o processo de aprendizado. O papel do governo seria o de facilitador dessa evolução, estabelecendo não só medidas coercitivas sobre as práticas atuais (taxas sobre o uso de CO₂), mas também incentivos econômicos, e promovendo o envolvimento de novos atores, como a comunidade e produtores de energias renováveis.

Evidências apontam que os países da *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) vêm desenvolvendo sistemas de inovação ambiental nas últimas décadas direcionadas, sobretudo, à redução das emissões (OECD, 2011; PRATES; SERRA, 2006). O Quadro 1 apresenta os casos conforme com os tipos de agentes e de interação, conforme sugeridos por Oltra e Jean (2009) e Kemp e Rotmans (2005). Os atores envolvidos (empresas privadas, órgãos públicos, instituições de pesquisa e consumidores) interagem por meio de políticas regulatórias, incentivos e programas de pesquisa. Entre os vários casos, o governo atua não só por meio da regulação das atividades que querem substituir, mas também do financiamento de programas de tecnologias que desejam estimular, como o caso dos carros elétricos no Canadá, França e Alemanha, das tecnologias que reduzem emissões alemãs e da captura e armazenamento de carbono no Canadá. Além disso, observa-se que a cooperação é um aspecto presente em praticamente todos os casos.

Quadro 1. Casos selecionados de sistemas de inovação ambiental nos países da OECD

Inovação Ambiental	Atores envolvidos	Formas de interação
Captura e armazenamento de carbono (CCS) Canadá	Usinas de energia e governo	Financiamento, programas de difusão do conhecimento, subsídios e regulação no setor de petróleo.
Carros elétricos Alemanha Canadá França	Indústria automobilística, governo e fabricantes de energia Indústria automobilística, firmas do serviço público, governo municipal, universidades e instituições de pesquisa e consumidores Indústria automobilística e governo	Cooperação e programas públicos Tarifas diferenciadas para tipos de eletricidade, programas públicos, associações. Investimento público e privado, subsídios para P&D.
Azulejos solares Portugal	Indústria de azulejos, instituições de pesquisa e governo	Consórcio de P&D e cooperação
Tecnologias ambientais para redução das emissões Alemanha	Firmas reguladas (poluidoras), fornecedores de tecnologias ambientais, governo e instituições de pesquisa	Cooperação, regulação, incentivos, programas de P&D.

Fonte: Elaboração própria a partir de OECD (2011) e Prates e Serra (2006).

Nessa literatura não há evidências de sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento. No entanto, esses países possuem condições para o desenvolvimento de sistemas de inovação?

2.2 Sistemas de inovação em países em desenvolvimento

Embora não haja, na literatura, uma discussão específica ao tratamento de sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento, há debates sobre o hiato tecnológico, as deficiências em termos de geração de inovação “tradicional” e a condução política no formato de sistemas de inovação “tradicional” em países em desenvolvimento. Isso porque a habilidade de introduzir novas tecnologias é fator essencial ao desenvolvimento econômico.

Enquanto países desenvolvidos possuem carga de experiência acumulada no que tange a políticas de inovação, o mesmo não ocorre nos países em desenvolvimento. Conforme Srholec (2011), não são apenas as características e habilidades individuais das firmas que influenciam o processo inovativo, mas também o ambiente no qual estão inseridas, de modo que os padrões socioculturais de cada sociedade afetam o processo de desenvolvimento das inovações de determinado país. Assim, como aponta Bogliacino et al (2009), países em desenvolvimento apresentam padrões diferentes em inovação se comparados àqueles países reconhecidamente na fronteira da tecnologia: enquanto nos países desenvolvidos há forte presença de pesquisa e desenvolvimento (P&D) e de infraestrutura de ciência e tecnologia robusta, os países em desenvolvimento tendem a adquirir máquinas e imitar produtos e processos dos países mais avançados.

Consequentemente, a busca pelos níveis tecnológicos e produtivos (*catch up*) internacionais não é um processo automático ou simples, já que para alcançá-los são necessários fatores como investimento em capital tangível (máquinas, equipamentos

etc.) e capital intangível (educação, treinamento, entre outros), específico a cada país (PATEL; PAVITT, 1998).

As principais fraquezas que comprometem o ambiente de inovação nos países em desenvolvimento, conforme World Bank (2004) são: baixos níveis de educação; baixa qualidade das condições de governança, como a falta de transparência e excesso de burocracia; e falta de infraestrutura, como em telecomunicações e transportes. Mesmo não constituindo uma fragilidade em si, deve-se notar a forte presença de empresas transnacionais nesses países, que podem trazer implicações em termos de transbordamentos tecnológicos.

Além dessas características, destaca-se a ausência de integração entre os sistemas produtivo, financeiro, de educação e de pesquisa. Nesse aspecto, os sistemas de inovação – conjunto de instituições, organizações e entidades que promovem, incentivam e coordenam o processo de inovação – tendem a ser pobremente construídos e tornam-se muito fragmentados nos países em desenvolvimento. Uma grande quantidade de microempresas opera no mercado informal; há uma quantidade insuficiente de comunidades de pesquisa, de modo que as universidades locais não estão ligadas à realidade vivida pela sociedade; as instituições são numerosas e, por isso, dificultam o estabelecimento de organizações eficientes para a promoção da inovação. O custo econômico e a ausência de financiamento constituem uma barreira adicional à inovação (WORLD BANK, 2004; BOGLIACINO et al, 2009).

Por conta disso, os sistemas de inovação, nesse tipo de ambiente, são vistos como fragmentados com algumas partes do sistema bem desenvolvidas, mas com firmas e organizações com poucas conexões entre os elementos mais fortes do sistema (LIU, 2009). Nesse sentido, de acordo com Lundvall et al (2009), alguns autores defendem a ideia da utilização do termo “sistema de aprendizagem” ao invés de “sistema de inovação” nos países menos desenvolvidos. Tal ideia parte do princípio de que a inovação, *stricto sensu*, ocorre apenas em países desenvolvidos, enquanto que, nos países em desenvolvimento, a inovação incremental e a difusão tecnológica assumem posição central.

Porém, aceitar essa ideia implica dizer que apenas países como Estados Unidos, Japão, França e Alemanha possuem sistemas de inovação, deixando de lado países pequenos que se destacaram nesse campo, como Dinamarca e Noruega. Esses países foram capazes de desenvolver alta capacidade de absorver e usar novas tecnologias criadas fora de suas fronteiras. As taxas de mudança tecnológica e crescimento econômico dependem historicamente mais da difusão eficiente do que do pioneirismo em inovações radicais. (LUNDVALL et al, 2009).

Além disso, o grupo de países caracterizados como “em desenvolvimento” é bastante heterogêneo, tanto em termos de renda *per capita* e tecnologia, quanto à qualidade das instituições. Por isso, Niosi (2010) expõe uma classificação de países em três grupos distintos, considerando as semelhanças entre os sistemas nacionais de inovação. O primeiro grupo refere-se aos países industriais que fazem parte da OECD, possuindo sistemas nacionais densos e complexos – incluindo a presença de firmas atuantes em pesquisa e desenvolvimento, universidades, padrões bem estabelecidos de incentivos ao processo de pesquisa e desenvolvimento, entre outros.

O segundo grupo de países é caracterizado pela tentativa de alcançar a fronteira de tecnologia, representada pelo grupo anterior. Nesse grupo encontram-se especialmente China e Índia, por alcançarem um crescimento rápido nas últimas décadas, além de países do Leste Europeu (República Tcheca, Eslováquia, Eslovênia, Hungria, Polônia e Romênia), Brasil, Irã, Turquia e África do Sul. Grécia e Portugal também entram nesse grupo. Nesses países, muitas organizações e instituições do

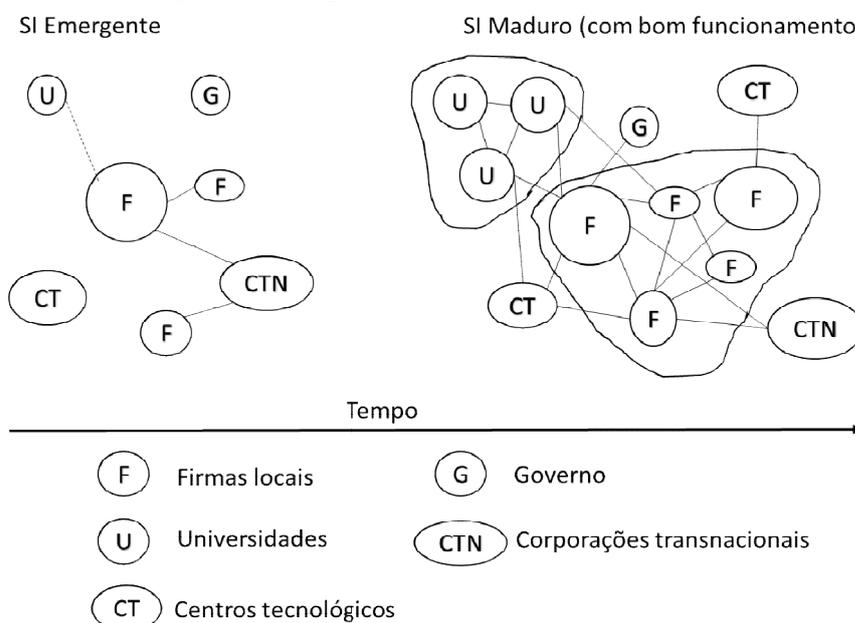
sistema nacional estão posicionadas, principalmente, dentro do setor público. Entretanto, o setor privado apresenta baixas taxas de pesquisa e desenvolvimento.

O terceiro grupo, por outro lado, foi capaz de criar apenas pedaços de um sistema nacional de inovação. Esse conjunto abrange a maior parte da África, Ásia e América Latina – mais de cem países (NIOSI, 2010). Muitos têm uma base de recursos naturais substancial, porém não possuem um sistema nacional capaz de utilizá-la a longo prazo.

É possível associar as características dos segundo e terceiro grupos à formalização apresentada por Chaminade et al (2009). Na Figura 1, podem-se visualizar os elementos-chave dos sistemas de inovação e suas interações, tanto em um sistema emergente quanto em um sistema estruturado. Observa-se que esses dois tipos de sistemas compõem os estágios da evolução de um sistema de inovação. Nos sistemas de inovação emergentes, os elementos-chave – Firms locais (F), Universidades (U), Centros Tecnológicos (CT), Governo (G) e Corporações Transnacionais (CTN) – possuem pouca ou nenhuma conexão, devido ao fato de tais elementos estarem em formação. Interações importantes para o processo inovativo ainda não foram concretizadas, como entre o governo e os grupos empresariais e estes com centros tecnológicos.

Entretanto, em países em desenvolvimento que possuem um sistema inovativo maduro, as relações são numerosas e fortes. Além das interações entre si, por exemplo, entre universidades e empresas formando grupos coesos, as conexões intergrupos são diversas, possibilitando um fluxo constante de conhecimento, tecnologia, desenvolvimento de pesquisas, entre outros. As atividades inovativas nesse estágio possuem um suporte amplo e, portanto, são abundantes.

Figura 1. Estágios no desenvolvimento de um sistema de inovação



Fonte: Chaminade et al (2009, p.366)

Portanto, apesar de suas idiossincrasias, para Chaminade et al (2009) é evidente que um grupo de PEDs possui condições de desenvolver sistemas de inovação maduros e coesos. Contudo, é possível articular os elementos de um sistema de inovação maduro

em países em desenvolvimento com objetivos ambientais? Existem casos de sucesso que demonstrem essa interação?

3. Desenvolvimento do Etanol de Segunda Geração no Brasil

Nessa seção argumenta-se que o Etanol de 2ª Geração (E2G) de cana no Brasil constitui uma inovação ambiental que foi desenvolvida de modo sistêmico, a partir do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) e de sua interação com outros agentes. Para tanto, valeu-se de revisão bibliográfica para contextualizar a fase industrial do E2G e de entrevistas com especialistas diretamente envolvidos com o nascimento do CTBE, a saber: Prof. Dr. Marco Aurélio Pinheiro Lima, professor titular do Instituto de Física da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e primeiro diretor do CTBE (2008-2012), responsável pela implantação da infraestrutura física, pela concepção das linhas de pesquisa e pelo modelo de gestão do laboratório; e Maria Glória de Oliveira Pinho, primeira gestora financeira do CTBE (2009-2014).

3.1. O Etanol de 2ª Geração (E2G) de cana como inovação ambiental

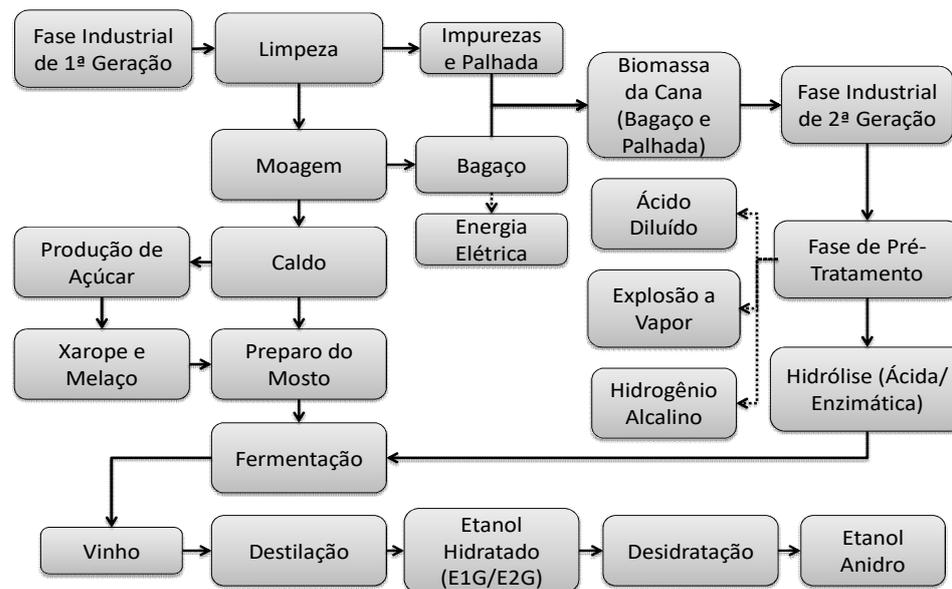
O Brasil demonstra uma trajetória relativamente consolidada na produção interna e mundial do etanol, mercado esse crescente, competitivo e de baixos impactos ambientais. O etanol de cana-de-açúcar brasileiro apresenta baixos custos, se comparado ao etanol de milho dos Estados Unidos (EUA) (US\$ 0,22 litro contra US\$ 0,35 litro, respectivamente), e elevados índices de produtividade (9 mil litros por hectare contra 2 mil litros por hectare do trigo e 4 mil do milho). A produção interna vem crescendo, demonstrando um acréscimo de 35% entre 2011 e 2016, devido à demanda proporcionada pelo aumento de carros *flex fuels*, aumento da porcentagem do etanol anidro na gasolina tipo C de 25% para 27% e aumento do preço final da gasolina por causa da elevação no PIS/COFINS e da alteração no retorno das Contribuições de Intervenções no Domínio Econômico (CIDE) (EPE, 2016).

A tecnologia utilizada para a produção do Etanol de Primeira Geração (E1G) é madura e difundida. Conforme a Figura 2, após a colheita, a cana é limpa, passa pela moagem, na qual é extraído o caldo, que se transforma, em parte, em xarope de glicose por evaporação. Parte desse xarope é misturada ao melaço (mosto), fermentado, destilado e encaminhado para a fase final de destilação. Dentre os impactos ambientais, verificou-se a redução da emissão de dióxido de carbono (CO₂) em 90% durante todo ciclo produtivo, se comparado com o da gasolina. Em relação ao etanol originado de outras culturas, o de cana proporciona: redução da emissão local de particulados; redução da geração de efluentes líquidos; baixo uso de defensivos agrícolas e fertilizantes e maior capacidade de retenção da água da chuva (CCGE, 2008).

O E2G se encontra dentro da cadeia do E1G e da produção de açúcar, e permite aumentar a oferta de etanol sem expansão da área plantada. No Brasil, ele é produzido a partir da biomassa (palha ou bagaço) de cana-de-açúcar, que são resíduos descartados após a extração do caldo, utilizado para produção de açúcar ou E1G, como apresentado na Figura 2. De modo geral, cada tonelada de cana processada gera 280 kg de bagaço. Após a chegada da biomassa na usina, começa a fase de pré-tratamento, que pode ser por ácido diluído, explosão a vapor ou hidrogênio alcalino. A escolha desses processos depende de vários parâmetros econômicos e físico-químicos e interferem na fase seguinte (ALBARELLI, 2013; MOREIRA et al, 2014).

Após o pré-tratamento, obtém-se o produto sólido (bagaço pré-tratado), composto por celulose e lignina, e o líquido (licor pré-tratamento), formado por hemicelulose⁶. Aqui duas são as possibilidades de hidrólise⁷ para a produção do etanol: hidrólise ácida ou enzimática. A hidrólise ácida se caracteriza pela quebra da celulose/hemicelulose por adição de ácido sulfúrico, que precisa ser controlado para evitar reações colaterais. Esse processo envolve uma tecnologia simples, cuja base científica é conhecida e difundida, bem como um prazo curto para seu desenvolvimento e implementação. Embora ofereça baixos riscos financeiros, os desafios inovativos são pouco significativos, pois estão centrados apenas em equipamentos com materiais resistentes à corrosão⁸ (ALBARELLI, 2013; COSTA, 2014).

Figura 2. O Etanol de 2ª Geração (E2G) no Ciclo Produtivo Integrado Etanol-Açúcar



Fonte: Elaboração própria

A hidrólise enzimática, por sua vez, é um processo baseado na quebra da celulose/hemicelulose por enzimas, derivado do pré-tratamento ácido ou de explosão a vapor. Para tanto, necessita-se de manipulação genética de micro-organismos para a produção de enzimas capazes de reduzir etapas e, portanto, cortar custos do processo. Em comparação com a hidrólise ácida, a tecnologia aqui é mais complexa, por incorporar bases científicas da biotecnologia mais modernas e menos difundidas, embora apresente maior prazo de maturação e riscos financeiros mais elevados.⁹ No entanto, as promessas de rentabilidade são significativas: a taxa de conversão de

⁶ De modo simplificado, celulose, lignina, e hemicelulose são todas moléculas (grandes) de açúcar (polímeros) que podem ser "quebradas" em moléculas menores através da reação de hidrólise.

⁷ A hidrólise é qualquer reação química que envolve a quebra de uma molécula por ação da molécula de água.

⁸ Em 2016, as empresas Dedini e Oxiteno têm trabalhado nesta área.

⁹ No momento, as pesquisas caminham para a integração das fases de hidrólise e fermentação em uma única etapa, chamada de hidrólise e fermentação simultâneas (ALBARELLI, 2013; COSTA, 2014).

resíduos celulósicos em glicose foi de 90,85% (ALBARELLI, 2013; COSTA, 2014; MOREIRA et al, 2014).

Em seguida, o produto resultante (mosto) passa pelo processo de fermentação, destilação e culmina no etanol líquido. Observa-se que essas são fases comuns tanto para o E1G como para o E2G, de modo que, do ponto de vista tecnológico, o pré-tratamento e a hidrólise (quebra das enzimas) são os elementos que diferenciam os dois processos. Contudo, o rendimento do processo de fermentação do E2G foi de 85,35% sob altas temperaturas, o que exige mão de obra altamente qualificada para controle do processo (COSTA, 2014; MOREIRA et al, 2014).

Além disso, o E2G apresenta, no cenário atual e futuro, vantagens econômicas e ambientais. Estimativas realizadas a partir de vários cenários mostram que, em longo prazo, é possível realizar uma produção de E2G de 350 milhões de litros por ano, com um investimento anual em torno de R\$300 milhões. Os custos de produção tendem a cair ao longo do tempo, passando de R\$1,5 por litro a curto prazo para R\$0,5 a longo prazo¹⁰. É possível aumentar a produtividade de 31% a 75% com relação ao nível atual, bem como diminuir 50% dos custos referentes ao processo do E2G e 90% dos custos totais. Dessa forma, o E2G pode se aproximar do patamar do barril do petróleo de US\$44 em longo prazo (MINALEZ et al., 2015). Algumas projeções demonstram outros benefícios financeiros: quedas de 10% dos custos de investimento, do capital de giro e do custo anualizado de investimento; acréscimos de 41,49% na receita, de 148,43% do potencial econômico e de 1402,43% do valor presente líquido (VPL) (MILANEZ, et al, 2015; MOREIRA, et al. 2014; ALBARELLI, 2013).

Os impactos ambientais do E2G, em comparação com o E1G, podem ser reduzidos de 85% a 90% por reutilizar os resíduos da cana. A integração do E2G no ciclo do E1G e açúcar proporciona quedas no consumo e na captação de água (13,59% e 53,24%) e aumento no reuso da água (8,85%) durante todo o ciclo. Na fase de pré-tratamento, o efluente líquido resultante pode ser convertido em biogás, substituindo parcialmente o diesel usado nos caminhões e nas máquinas agrícolas, permitindo uma recuperação energética de 63% a 65%. O bagaço pode ser utilizado tanto para a produção do etanol (51%) quanto para a geração de energia (44%), de modo que as usinas integradas podem ser autossuficientes em termos energéticos. Como consequência, observou-se um aumento de 19% na produção do etanol e de 40% a 70% da eletricidade nas usinas (MILANEZ, et al. 2015; MOREIRA, et al. 2014; ALBARELLI, 2013).

Por constituir um processo tecnológico novo, embasado em tecnologias complexas (biotecnologia), permitir o aumento da oferta de etanol sem aumento da área plantada, reutilizando os resíduos da produção de açúcar e do E1G, e reduzindo não só a emissão de poluentes como o uso de recursos naturais e energia, o E2G de cana pode configurar uma inovação ambiental de processo produtivo, em conformidade com a definição de Kemp e Arundel (1998) apresentada na seção 2.1. Mais especificamente, representa uma tecnologia limpa, embora a produção em larga escala esteja em desenvolvimento.

Porém, como essa inovação ambiental se deu (e vem se dando) no Brasil? Ou seja, quais foram (ou têm sido) os seus determinantes?

3.2. Sistema de Inovação Ambiental em E2G de cana no Brasil ¹¹

¹⁰ A empresa Raízen consegue produzir o E2G a um custo produtivo de US\$0,26 por litro, contra US\$0,22 para o E1G (COSTA, 2014).

¹¹ Seção elaborada a partir das entrevistas com os especialistas (LIMA, 2016; PINHO, 2016) e busca no site do CTBE (CTBE, 2016).

No início dos anos 2000 o etanol, no cenário internacional, retomou um papel fundamental, por conta da liderança dos EUA com o etanol de milho, da preocupação com a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e do aumento da demanda pelos veículos *flex*. Como consequência, as pesquisas se direcionaram para o aumento da produção do bioetanol. No Brasil, o desenvolvimento do E2G de cana se deu (e vem se dando) dentro do (CTBE), mais especificamente na ponte das articulações entre o CTBE e outros agentes (governo, instituições de pesquisa e empresas privadas).

• O CTBE

Em 2005, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), ligado ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), liderou um estudo acadêmico (CGEE, 2009), cujo objetivo foi avaliar a possibilidade de expansão da produção do etanol hidratado brasileiro (a partir de cana-de-açúcar) e da sua inserção na matriz energética mundial. Suas conclusões permitiram identificar diversos gargalos no ciclo de vida da cana-de-açúcar/etanol, desde a produção agrícola, tratamento industrial e sustentabilidade. Com a descoberta de enzimas capazes de quebrar a celulose do bagaço de cana, o E2G passou a ser alternativa viável para esses problemas e foco das pesquisas.

Nesse contexto nasceu o CTBE, para unir pesquisas científicas e aplicadas em E2G, previamente existentes e dispersas, em prol de um objetivo comum: produção do E2G de cana em nível industrial. Ele foi criado com um investimento inicial de R\$69 milhões, transferidos por meio de um contrato de gestão com o MCTI e inaugurado em 22 de janeiro de 2010. O CTBE é um dos laboratórios do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) localizado em Campinas/SP e constitui uma Organização Social (OS), ou seja, pessoa jurídica de direito privado sem fins lucrativos, cujas atividades são dirigidas ao ensino, à pesquisa científica, ao desenvolvimento tecnológico, à proteção e preservação do meio ambiente, à cultura e à saúde.

Em conformidade com os gargalos identificados anteriormente, o CTBE foi concebido contendo quatro programas: Agrícola, Industrial, de Sustentabilidade e de Pesquisa Básica. No entanto, dado que o Laboratório teria necessidade de realizar pesquisas com resultados práticos em curto espaço de tempo, foi implementado um quinto programa, o de Avaliação Tecnológica: uma plataforma de simulação capaz de receber os dados obtidos pelos outros programas, avaliá-los e, caso necessário, sugerir mudanças ou correções de rumo nas pesquisas.

I) Programa Agrícola: Mecanização de Baixo Impacto para o Plantio Direto da Cana-de-Açúcar

Como os custos de produção anteriores à chegada da cana-de-açúcar nas usinas representam cerca de 70% do total, houve a necessidade de renovação na metodologia de cultivo da cana-de-açúcar, além da introdução de mecanização adequada. Com esse objetivo em mente, o CTBE iniciou o desenvolvimento de uma Estrutura de Tráfego Controlado (ETC), responsável por todas as operações do ciclo agrônomico da cana, possibilitando drástica redução do nível de compactação do solo e consequente aumento de produtividade. No desenvolvimento da estratégia de Plantio Direto, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), líder na implantação do plantio direto em outros setores agrícolas no Brasil, coordenou parte do Programa em parceria com o CTBE.

II) Programa de Sustentabilidade

Com foco no impacto de novas tecnologias sobre a sustentabilidade da cadeia produtiva cana-de-açúcar/bioetanol, o CTBE tem cinco pilares fundamentais de P&D para garantir melhor usufruto dos recursos e insumos:

- Balanço de energia e de emissão de gases de efeito estufa;
- Mudança no estoque de carbono no solo e emissões de nitrogênio gasoso e metano;
- Impactos diretos e indiretos da mudança do uso da terra;
- Fatores socioeconômicos;
- Impacto na disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos.

III) Programa Industrial: Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos (PPDP)

Para dispor de ambiente de testes escalonáveis até o nível das aplicações industriais, visto a meta de aumentar a produtividade por hectare de cana-de-açúcar, foi necessária a criação do Programa Industrial que consiste em Laboratórios de Processos e uma Planta Piloto para Desenvolvimento de Processos (PPDP). A PPDP foi construída em módulos independentes, o que facilita a observação da evolução em cada etapa do processamento da biomassa. A utilização da Planta Piloto tem por objetivo disponibilizar um ambiente de pesquisa de alta tecnologia controlado e com aplicações em escala semi-industrial. O CTBE também utiliza a Planta Piloto para realização de experimentos de inovação no etanol celulósico, advindo de outros derivativos de alto valor agregado, provenientes da cana.

Essa Planta oferece às instituições de pesquisa e à iniciativa privada um espaço para que os pesquisadores de outros laboratórios possam testar a confiança de suas pesquisas em escala semi-industrial e as equipes de P&D das indústrias possam utilizá-lo como laboratório de menor custo para aplicação em economias de escala.

IV) Programa de Pesquisa Básica

Por ser um laboratório criado para manter o pioneirismo nacional na pesquisa, produção e exportação do etanol, os programas do CTBE encontram empecilhos que não possuem par em situação global. Sendo assim, para poder manter um alto padrão de qualidade em P&D com relação ao Bioetanol, o CTBE criou o Programa de Pesquisa Básica que visa resolver problemas que surgem durante as pesquisas internas dos outros programas. Dessa forma, une-se a racionalidade acadêmica com a escala industrial para solução de problemas com alta qualidade em curto espaço de tempo, promovendo a posição de liderança em pesquisa de Bioetanol ao CTBE.

Dentro desse cenário, surge o Programa de Avaliação Tecnológica: Biorefinaria Virtual de Cana-de-Açúcar (BVC). A Biorefinaria Virtual tem por objetivo ser uma solução computacional que permite integrar todos os Programas do CTBE de forma a realizar análises complexas com resultados práticos. Em outras palavras, o CTBE e seus parceiros e colaboradores contam com uma opção de ambiente virtual, com baixo custo de implementação, para avaliação de experimentos industriais em escalas reais.

Para calibrar as operações do ambiente virtual, a BVC utiliza dados reais de indústrias sucroalcooleiras na formulação e refinamento de seus modelos. Tais modelos são utilizados para avaliar as melhorias propostas pelo CTBE, de modo a contemplar todas as variáveis que estão presentes, direta ou indiretamente, no amplo processo de produção do ciclo cana-de-açúcar/etanol.

- **As interações entre os agentes**

De forma geral e em todos os programas do CTBE, os Institutos de Ensino Superior (IES) podem ceder seus pesquisadores para projetos que são realizados no

centro ou iniciar um projeto de pesquisa em parceria com ele, de modo que pesquisadores do CTBE podem usar as instalações das IES e vice-versa, conforme estabelecido em contrato de parceria. Dessa forma, as IES podem formar uma parceria de cooperação científica com o CTBE. Vale ressaltar que instituições públicas, como a EMBRAPA, podem realizar parceria com o CTBE em qualquer uma das modalidades acima, embora usualmente o façam da mesma forma que parcerias com IES.

Com relação às firmas, direta e indiretamente vinculadas à fase industrial do E2G, o CTBE, em oportunidades distintas ao longo de sua trajetória, promove encontros na forma de *workshops* para obtenção de novas ideias e direcionamento das pesquisas realizadas. Desses *workshops* participam empresas nacionais e transnacionais dos setores sucroalcooleiro, químico, eletroeletrônico, equipamentos agrícolas e de tecnologias ambientais, que enxergam no centro uma oportunidade de utilizar sua estrutura para experimentos com introdução de novas tecnologias. Em contrapartida, o centro recebe apoio tanto na forma de incentivo intelectual quanto na forma de obtenção de equipamentos para os laboratórios durante projetos, dos quais o centro pode usufruir seja no projeto firmado com o(s) parceiro(s), seja após a conclusão do projeto e em novas empreitadas.

Para que essa engrenagem funcione, o CTBE conta com o apoio financeiro público e/ou privado e de entidades do governo. O CTBE, dentro do CNPEM, é gerido pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) através de Contratos de Gestão. Nesses contratos, são firmadas as metas que o CNPEM deve cumprir durante o período de vigência, bem como os orçamentos necessários para a realização dos objetivos por seus laboratórios. Portanto, o orçamento do CTBE é uma fração do orçamento do CNPEM, este proveniente do orçamento do MCTI, firmado através do Contrato de Gestão.

Os projetos que o centro conseguiu assegurar posteriormente a sua fundação também tiveram apoio financeiro governamental, de tal modo que o CTBE apresenta seus resultados ao MCTI para haver liberação de orçamento. Dependendo das características dos projetos desenvolvidos no centro, pode haver a participação direta ou indireta da iniciativa privada, seja na forma de trabalho em conjunto com técnicos do centro, seja no apoio financeiro ao projeto em questão.

O CTBE também conta com projetos que recebem apoio de outros órgãos governamentais, como é o caso do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), que financiam diretamente os projetos, incluindo pessoal, custeio e investimentos. Nesse caso, a iniciativa privada tem participação como parceira do ponto de vista técnico e financeiro do projeto (que necessariamente é de seu interesse), de tal modo que as empresas financiam, no mínimo, 10% do orçamento do projeto, ao passo que o BNDES e/ou a FINEP financiam os 90% restantes. Vale ressaltar que esses financiamentos são feitos a fundo perdido devido à natureza do centro (realiza pesquisas que podem acarretar em insucessos). O BNDES Fundo Tecnológico (BNDES Funtec) financia projetos que procuram promover o desenvolvimento tecnológico e a inovação de interesse estratégico para o país, em conformidade com os programas e políticas públicas do Governo Federal (BNDES, 2016). No ano de 2012, o CTBE tornou-se parceiro estratégico da iniciativa privada no âmbito do Plano de Apoio à Inovação dos Setores Sucroenergéticos e Sucroquímico (PAISS), financiado pelo BNDES e pela FINEP.

Outra fonte de financiamento advém de instituições de fomento à pesquisa, como a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), entre outros, que concedem recursos para os pesquisadores através da submissão de projetos de

interesse do centro. Alguns equipamentos são custeados por esses recursos, pois são demandados nas pesquisas, e ficam para o centro após a finalização dos projetos, podendo ser reutilizados em pesquisas futuras.

O acompanhamento das atividades é feito periodicamente, com avaliações semestrais nas quais são averiguados os resultados atingidos e aprovados os gastos referentes às parcelas dos financiamentos. A fiscalização técnica e financeira, tanto por parte dos financiadores (como BNDES, FINEP, iniciativa privada) quanto dos agentes governamentais, é a chave para o desenvolvimento de projetos com resultados favoráveis, realizados dentro do orçamento. As reuniões de acompanhamento de resultados contam com todos os agentes envolvidos para avaliação dos aspectos técnicos e financeiros dos projetos, e a avaliação positiva é condição necessária tanto para a continuidade do projeto quanto para a liberação de nova parcela do financiamento. Essa metodologia também é empregada pelo MCTI nas avaliações de laboratórios do CNPEM, de modo a averiguar se as metas do contrato de gestão estão sendo cumpridas.

No Quadro 2 abaixo constam os parceiros do CTBE entre 2008 a 2012¹². O agrupamento desses foi realizado conforme a classificação dos agentes que compõem sistemas de inovação maduros em países em desenvolvimento apresentada por Chaminade et al (2009) na seção 2.2: organizações públicas, como MCTI, BNDES, CNPQ; Instituições de Pesquisa, como universidades nacionais e estrangeiras; e firmas de diversos setores nacionais e estrangeiras, como Dow, Dedini e Usinas em si.

Quadro 2. Descrição dos principais agentes envolvidos

Tipo de agente	Descrição
Organizações Públicas	MCTI, FAPESP, CNPQ, BNDES, FINEP, EMBRAPA, Petrobrás, CENPES, CTC, Inmetro, FACEPE, CGEE e INPE
Instituições de Pesquisa Nacionais	Universidade de Caxias do Sul, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade Federal do Paraná, Universidade de Brasília, Escola Politécnica da USP, Instituto Agrônomo de Campinas, Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), FEAGRI/Unicamp, Universidade Federal de Viçosa, Instituto de Economia Agrícola, Esalq/USP, NIPE/Unicamp, UFPE e UFSCar
Instituições de Pesquisa Estrangeiras	Lund University Sweden, University of California, Imperial College London, INTA Argentina, Green Design USA, NREL USA, Utrecht University Holanda e KTH Sweden
Empresas Nacionais	Dedini, Usina da Pedra, Máquinas Agrícolas Jacto, Tecnometal, Bittencourt Assessoria, Implanor Implementos Agrícolas do NE, Braskem e Ultra
Empresas Transnacionais	Dow Chemical, Corn Products, Rhodia, WEG automação, ETH, Oxiteno e Delta CO2

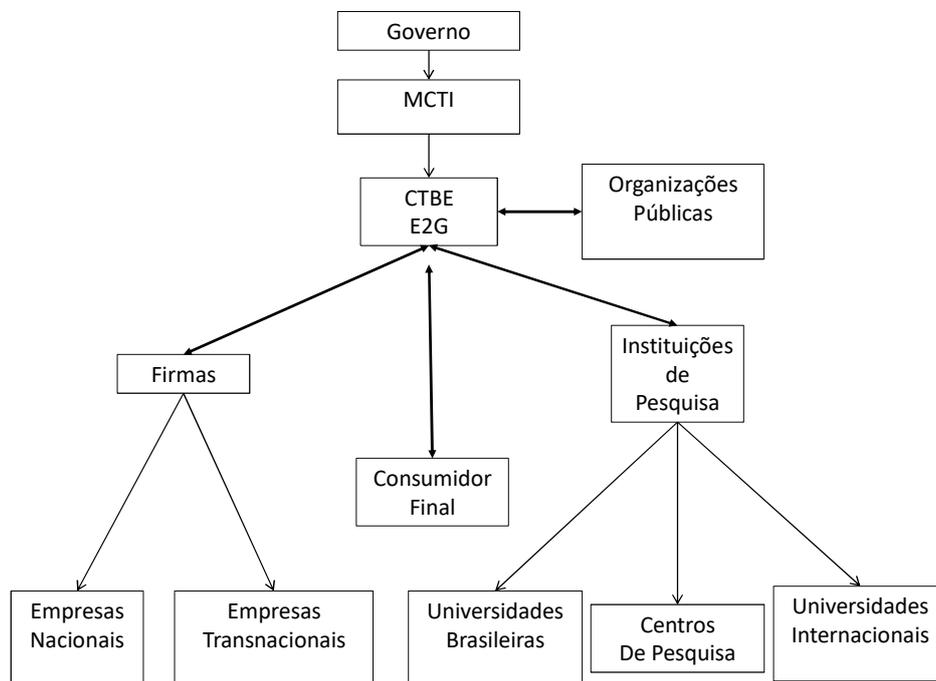
Fonte: Elaboração própria a partir das entrevistas com os especialistas.

O papel da demanda, representada pelo consumidor final, é certo e crescente, tanto no mercado interno quanto no internacional. O produto final (etanol) não é alterado e o aumento da sua oferta tem escoamento pelo uso dos carros *flex*. Embora não haja uma política ambiental energética no Brasil, as legislações nacionais e estrangeiras que exigem a mistura do etanol com a gasolina, bem como acordos internacionais de redução das emissões de CO₂ (Protocolo de Kyoto), reforçam seu mercado. Esses elementos (demanda e legislação ambiental) foram apontados por Oltra e Jean (2009) como alguns determinantes da inovação ambiental.

¹² Esses não são os únicos parceiros do CTBE, pois novas parcerias foram firmadas e outras já não perduram mais.

Portanto, há uma interação coesa e harmônica entre os agentes, formando o que podemos chamar de Sistema de Inovação Ambiental em E2G de cana no Brasil, conforme apresentado pela Figura 3. As setas com duas pontas indicam as relações mútuas entre o CTBE e Instituições de Pesquisa (Universidades Nacionais, Estrangeiras e Centros de Pesquisa), firmas (nacionais e estrangeiras), organizações públicas (Embrapa, BNDES, entre outros) e o consumidor final. Como argumentado por Kemp e Rotmans (2005), esse sistema foi planejado, com um objetivo específico – o E2G -, combinando elementos novos (biotecnologia) com antigos (E2G dentro do ciclo o E1G) e tendo no governo, em específico no MCTI, um papel mais de facilitador do que regulador, como representado pela seta com uma ponta.

Figura 3. Sistema Inovação Ambiental em E2G de cana no Brasil



Fonte: Elaboração própria

Como resultados, destacam-se o número crescente de pesquisadores e o registro e patentes, que são indicadores de atividades inovativas e de seus métodos de proteção conforme IBGE (2016). No início de 2009 o laboratório contava com 6 pesquisadores (5 doutores e 1 mestre), passando para 141 colaboradores em 2011 (44 doutores, 50 bacharéis e mestres, 26 técnicos e 21 estagiários). Somente entre os anos de 2011 e 2013, o CTBE registrou 19 patentes, das quais 4 foram de máquinas agrícolas, 2 de dispositivos, 9 de processos químicos/bioquímicos e 4 de enzimas ou coquetéis enzimáticos, processo esse específico da produção do E2G. Em termos práticos, a produção atual do E2G encontra-se em torno de 140 milhões de litros ao ano, mas produção em maior escala ainda é um desafio para algumas usinas.

4. Conclusão

O objetivo deste trabalho foi discutir a possibilidade de sistemas de inovação ambiental em países em desenvolvimento por meio do estudo de caso do desenvolvimento do E2G de cana no Brasil.

Verificamos que as inovações ambientais são determinadas não só pela pressão da regulação ambiental, mas também pela combinação de outros fatores, como incentivos públicos, condições da demanda e tecnológica das firmas. Mais especificamente, as inovações ambientais podem resultar das interações entre diferentes atores de diferentes origens com um objetivo ambiental específico, tendo no governo um agente facilitador dessas inter-relações e formando um Sistema de Inovação Ambiental. Contudo, não há evidências para países em desenvolvimento.

Foi apontado que esses países não possuem atividades de P&D e apresentam baixos níveis de educação, falta de condições de governança e de transparência, presença de corporações transnacionais entre outros. Contudo, apesar dessas fraquezas, os países em desenvolvimento são heterogêneos e um grupo desses, dos quais faz parte o Brasil, vem apresentando Sistemas de Inovação (não ambiental) estruturados. Tais sistemas maduros são compostos por firmas locais, corporações transnacionais, centros tecnológicos, universidades e governo, cujas relações fortes e numerosas facilitam o fluxo de conhecimento e pesquisa.

O desenvolvimento do E2G no Brasil permite unir alguns aspectos dos Sistemas de Inovação Ambiental com os elementos de Sistemas de Inovação estruturados em países em desenvolvimento. O E2G é caracterizado como uma inovação ambiental de processo, por ser produzido a partir de um resíduo (biomassa) da cana, utilizar biotecnologia e reduzir as emissões de poluentes e uso de água e energia. No Brasil, a partir de um estudo e planejamento para produção em escala industrial do E2G realizado pelo CGEE-MCTI, o CTBE uniu pesquisas dispersas por meio das interações numerosas e coesas entre o laboratório e firmas nacionais, transnacionais, universidades (nacionais e estrangeiras) e organismos públicos. As firmas e instituições de pesquisa, por exemplo, podem utilizar a planta do CTBE que, ao mesmo tempo, recebe apoio físico e/ou financeiro dessas. O êxito do CTBE nessa empreitada pode ser medido pelo número de pesquisadores envolvidos e patentes registradas, contudo ainda há o desafio da produção em larga escala.

5. REFERÊNCIAS

ALBARELLI, J. Q. *Produção de açúcar e etanol de primeira e segunda geração: simulação, integração energética e análise econômica*. 2013. 216 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2013.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES Fundo Tecnológico – BNDES Funtec, 2016. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Programas_e_Fundos/funtec.html>. Acesso em: 01 mar. 2016.

BOGLIACINO, F. et al. *Innovation and development: The Evidence From Innovation Surveys*. Milão, Bocconi University, 2009.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. *Bioetanol de cana de açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável*. BNDES e CGEE, Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

CHAMINADE, C. et al. Design innovation policies for development: towards a systemic experimentation-based approach. In: LUNDEVALL, B. et al (Ed.). *Handbook of innovation systems and developing countries: building domestic capabilities in a global setting*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2009.

COSTA, A. C. *Caso de sucesso: produção de etanol (2ª Geração)*. Laboratório de Engenharia de Processos Fermentativos e Enzimáticos (LEPFE) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2014. 64 slides. Apresentação Power-point. Disponível em: <http://www.crq4.org.br/sms/files/file/caso_sucesso_aline_costa_etanol2.pdf> Acesso em: 02 mar. 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE – Ministério de Minas e Energia, Cadernos de Energia – Perspectivas para o etanol no Brasil, 2008.

GREEN, K. Towards environmental innovation – a policy synthesis. In: WEBER, M.; HEMMESLSKAMP, J. (Ed.). *Towards environmental innovation systems*. Heidelberg, Germany: Springer, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Pesquisa de inovação 2014*. Rio de Janeiro: IBGE, 2016

KEMP, R.; SOETE, L. Inside the “green box”: on the economics of technological change and the environment. In: FREEMAN, C.; SOETE, L. (Ed.). *New explorations in the economics or technological change*. Pinter Publishes, London & New York, 1990.

KEMP, R.; ARUNDEL, A. *Survey indicators for environmental innovation*. Oslo: IDEA report, STEP group, 1998.

KEMP, R.; ROTMANS, J. The management of the co-evolution of technical, environmental and social systems. In: WEBER, M.; HEMMESLSKAMP, J. (Ed.). *Towards environmental innovation systems*. Heidelberg, Germany: Springer, 2005.

LABORATÓRIO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO BIOETANOL – CTBE, Campinas, 2016. Disponível em: <<http://ctbe.cnpem.br/o-ctbe/historia-ctbe/>>. Acesso em: 01 fev. 2016.

LASTRES, H. M. M.; CASSIOLATO, J. E.; ARROIO, A. Sistemas de inovação e desenvolvimento: mitos e realidade da economia do conhecimento global. In: LASTRES, H. M. M.; CASSIOLATO, J. E.; ARROIO, A. (org.) *Conhecimento, sistemas de inovação e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Editora UFRJ; Contraponto, 2005.

LIMA, M. A. P. (2016) *Entrevista sobre o CTBE e suas interações com os agentes no desenvolvimento do E2G*. Entrevistador: Pedro Pinho Senna. Campinas: março de 2016.

LIU, X. National innovation systems in developing countries: the chinese national innovation system in transition. In: LUNDEVALL, B. et al (Ed.). *Handbook of innovation systems and developing countries: building domestic capabilities in a global setting*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2009.

LUNDEVALL, B. et al (Ed.). *Handbook of innovation systems and developing countries: building domestic capabilities in a global setting*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2009.

LUSTOSA, M. C. *Meio ambiente, inovação e competitividade na indústria brasileira: a cadeia produtiva do petróleo*. 2002. 246f. Tese (Doutorado em Economia) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

MILANEZ, A. Y. et al. De promessa a realidade: como o etanol celulósico pode revolucionar a indústria da cana-de-açúcar: uma avaliação do potencial competitivo e sugestões de política pública. *BNDES Setorial*, 41. Rio de Janeiro: BNDES, março de 2015.

MOREIRA, R. F. et al Produção de Bioetanol a partir da hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis : Centro Sul, 2014. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0261-26291-181973.pdf>> . Acesso em: 02 mar. 2016.

NIOSI, J. *Building national and regional innovation systems*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2010.

OECD. *OECD Studies on environmental innovation: better policies to support eco-innovation*, 2011.

OLTRA, V. *Environmental innovation and industrial dynamics: the contributions of evolutionary economics*. 1ª DIME Scientific Conference, Universidade Louis Pasteur, França, 2008.

OLTRA, V.; JEAN, M. S. Sectorial systems of environmental innovation: an application to the French automotive industry. *Technological Forecasting & Social Change*, 76, p. 567-583, 2009.

PATEL, P.; PAVITT, K. Uneven (and divergent) technological accumulation among advanced countries: evidence and a framework of explanation. In: DOSI, G.; TEECE, D.; CHYTRY, J. (Ed.). *Technology, organization, and competitiveness*. Perspectives on industrial and corporate change. Oxford: Oxford University Press, 1998.

PINHO, M. G. O. (2016) *Entrevista sobre o CTBE e suas interações com os agentes no desenvolvimento do E2G*. Entrevistador: Pedro Pinho Senna. Campinas: março de 2016.

PORTER, M. E.; van der LINDE, C. Towards a new conception of the environment – competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, v. 9, n. 4, p. 97-118, 1995.

PRATES, T.; SERRA, M. Sistemas regionais de inovação em tecnologias ambientais: a experiência de North-RhineWestphalia, Alemanha. *Economia & Tecnologia*, ano 2, v. 7, p. 127-138, out./dez. 2006.

SRHOLEC, M. *A Multilevel analysis of innovation in developing countries*. Prague: CERGE-EI, 2011.

WEBER, M.; HEMMELSKAMP, J. *Towards environmental innovation systems*. Heidelberg, Germany: Springer, 2005.

WORLD BANK. *Promoting innovation in developing countries: a conceptual framework*. World Bank Policy Research Working Paper, 2004.