

Mapeamento dos esforços tecnológicos dos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil.

Abstract

Important changes, involving regulatory issues and structural problems, surrounding the Brazilian sugarcane industry and it, together with the challenges posed by climate change, challenging the country in the expanding of sugarcane production. The sugarcane breeding programs play a fundamental role in this process, making important to analyze their technological activities. Thus, this paper attempts to map the technological efforts of these programs, analyze the technological activities carried out and the results obtained in order to adapt the culture at the global climate change. For this, we surveyed primary data, with visits and interviews, secondary data through databases of the Ministry of Agriculture, Union of Sugarcane Industries, among other institutions. We observed that the programs have empowered technologically, increasing the effort in innovation by expanding the research infrastructure, introduction of new technologies in the biotechnology area and implementation of partnerships and technological cooperation with domestic and foreign institutions.

Key-words: genetic breeding; sugarcane; technology input; ethanol industry; research and development

Resumo

Mudanças importantes, envolvendo questões regulatórias e dificuldades estruturais, circundam o setor sucroenergético brasileiro e, unidas aos desafios colocados pelas mudanças climáticas, desafiam o país na expansão da produção de cana-de-açúcar. Os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar desempenham papel fundamental nesse processo, tornando importante a análise de suas atividades tecnológicas. Assim, este artigo busca mapear o esforço tecnológico destes programas, analisar as atividades tecnológicas desenvolvidas e os resultados obtidos com vistas à adaptação da cultura às mudanças climáticas globais. Foi realizado levantamento de dados primários, com visitas e entrevistas, de dados secundários através de bases do Ministério da Agricultura, da União das Indústrias de Cana-de-açúcar, entre outras instituições. Observou-se que os programas têm se capacitado tecnologicamente, aumentando o esforço em inovação através da ampliação da infra-estrutura de pesquisa, introdução de novas tecnologias na área de biotecnologia e realização de parcerias e de cooperação tecnológica com instituições nacionais e estrangeiras.

Palavras-chave: melhoramento genético; cana-de-açúcar; esforço tecnológico; setor sucroenergético; pesquisa e desenvolvimento.

1. Introdução

Mudanças importantes têm circundado o setor sucroenergético brasileiro nos últimos anos. Tais mudanças envolvem questões regulatórias e dificuldades estruturais que, unidas aos desafios colocados pelas mudanças climáticas, desafiam o Brasil a promover um

crescimento adequado da produção de cana-de-açúcar para atender a uma demanda em expansão. A produção de cana-de-açúcar brasileira, em 30 anos, cresceu muito e sua produtividade aumentou representativamente. Esse avanço ocorreu, principalmente, em áreas com condições de solo e clima favoráveis, ambientes onde a necessidade de tratamentos culturais é pequena e não é preciso irrigação. Com isso, os custos brasileiros de produção de cana-de-açúcar sempre estiveram entre os mais baixos do mundo.

O aumento da demanda, no entanto, tem levado a cultura a se expandir em direção às regiões menos propícias climaticamente, em geral, áreas de pastagens degradadas com solo menos férteis e baixa capacidade de retenção de água. Locais onde a seca é prolongada e as temperaturas mais elevadas, e os efeitos da mudança climática têm sido mais intensos. Além disso, o plantio e colheita mecanizados, dificuldades financeiras para renovação de canaviais, entre outros aspectos, contribuíram para importantes quedas de produção em safras recentes, levando o Brasil a importar álcool.

Desta forma, os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar desempenham um papel fundamental no desenvolvimento do setor sucroalcooleiro brasileiro. Tais instituições têm enfrentado muitos desafios para desenvolver variedades que se adequem às necessidades geradas pelas condições colocadas acima. Uma variedade colocada no mercado hoje deve ser mais produtiva, mais resistente à seca, responder com produção adequada em solos menos férteis, adaptar-se ao plantio e a colheita mecanizados, entre outros aspectos. Na busca por responder a tais exigências, os programas de melhoramento têm intensificado seu esforço tecnológico no desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar.

Sendo assim, este artigo tem como objetivo principal mapear as atividades de esforço tecnológico dos principais programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil. De maneira mais específica, analisar os esforços tecnológicos empreendidos e a perspectiva futura dos investimentos nestas atividades e, também, discutir os resultados dos esforços passados, refletidos no número de variedades colocadas no mercado e no incremento de produtividade representado por elas.

Os programas estudados representam as principais instituições que trabalham com melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil: a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético – RIDESA, o Instituto Agrônomo de Campinas – IAC e o Centro de Tecnologia Canavieira – CTC e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. O levantamento demonstrou que tais programas possuem grande capacitação tecnológica e têm ampliado seus esforços tecnológicos para, além do desenvolvimento de variedades, dar o suporte tecnológico que o setor tem exigido.

Segue abaixo a descrição da metodologia utilizada, em seguida uma contextualização setorial. A revisão bibliográfica envolveu elementos sobre as mudanças climáticas globais, inovação tecnológica e as condições de adaptação. Por fim, os principais resultados e as considerações finais.

2. Metodologia

Este trabalho é parte do projeto intitulado “Pesquisa e Desenvolvimento para a Produção de Álcool e as mudanças climáticas globais” em desenvolvimento desde setembro de 2011. Projeto que integra o temático “Geração de Cenários de Produção de Álcool como Apoio para a Formulação de Políticas Públicas Aplicadas à Adaptação do Setor Sucroalcooleiro Nacional às Mudanças Climáticas”, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP.

A metodologia utilizada envolve o levantamento de dados primários através de visitas aos programas de melhoramento, entrevistas com perguntas abertas aos pesquisadores responsáveis pelos programas e a aplicação de questionários com questões quantitativas sobre as atividades de esforço tecnológico. Também engloba o levantamento de dados secundários através de publicações técnicas das próprias instituições e em bases de dados do Ministério da Agricultura, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, da Companhia Nacional de Abastecimento, da União das Indústrias de Cana-de-açúcar, entre outras instituições.

A revisão bibliográfica envolveu a literatura sobre mudanças climáticas, adaptação e desenvolvimento tecnológico, bem como referências relacionadas a aspectos agrônômicos envolvendo solo, clima e características da planta, para possibilitar uma melhor compreensão do processo de melhoramento genético e, por fim, algumas referências relacionadas à análise setorial.

As instituições que estão sendo estudadas representam os principais programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil: a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético – RIDESA, o Instituto Agrônomo de Campinas – IAC e o Centro de Tecnologia Canavieira – CTC. A Ridesa representa um programa tradicional, uma rede integrada por dez universidades federais e responde por 60% das variedades de cana-de-açúcar plantadas atualmente no país. O IAC, o mais antigo programa brasileiro, perdura com avanços importantes apesar de ter perdido representatividade em termos de variedades plantadas. O CTC, antiga cooperativa de produtores de cana-de-açúcar, é hoje o segundo maior programa brasileiro. A Embrapa, embora com um programa de melhoramento em cana-de-açúcar bem incipiente, é uma instituição com grandes avanços em pesquisa agrônômica em outras culturas no país.

3. O setor sucroalcooleiro: características recentes.

A produção brasileira de cana-de-açúcar cresceu expressivamente nas últimas décadas. A partir da safra de 1976/77, os aumentos de produção se acentuaram devido ao esforço governamental para alavancar o setor, o que incluiu incentivos fiscais, taxas de juros subsidiadas e o fortalecimento do Proálcool. Os efeitos positivos dessas medidas estenderam-se pela década de 80, apesar da brusca queda dos subsídios governamentais em função da desestabilização econômica do setor público. Outro salto de produção ocorreu a partir da safra de 2002/03, com o crescimento da demanda pelo álcool em função da introdução da tecnologia *flexfuel* em automóveis. Recentemente, a expansão da produção de cana-de-açúcar tem sido estimulada pelo aumento da renda nacional, o aumento da frota de veículos em circulação, devido ampliação do crédito, e também, graças à pressão ambiental – o uso do álcool é atrativo pela menor emissão de gases poluentes e o balanço energético altamente positivo da cultura no campo.

O aumento da produtividade da cana-de-açúcar, nas últimas décadas, ficou próximo a 1,5% ao ano. Na tabela 1 é possível notar uma grande expansão da área plantada de cana-de-açúcar, especialmente de 1995 para 2009. A produção em toneladas dobrou, a expansão da área plantada foi de 44% enquanto o rendimento (toneladas por hectare) aumentou 20,7% no período. Assim, o aumento da produção de cana-de-açúcar foi determinado muito mais pelo crescimento da área plantada que pelo aumento da produtividade.

Após 2005, as dificuldades setoriais pela falta de investimento público e privado tornaram-se expressivas. Com a demanda crescente e a oferta desestruturada, surgiram grandes

impasses setoriais. O produtor, sem garantias, não investiu em renovação de canaviais e o envelhecimento dos mesmos repercutiu na diminuição da área colhida e da produtividade por hectare, aliado a isso, alterações climáticas inesperadas afetaram a colheita. As safras de 2010/11 e 2011/12 (tabela 2) tiveram grande impacto desse conjunto de fatores. Também os preços elevados do açúcar no mercado internacional no período, direcionaram a cana colhida para a produção de açúcar, gerando menor produção de álcool.

Tabela 1 - Evolução da área de produção e da produtividade da cana-de-açúcar no Brasil, anos selecionados.

Ano-safra	Área (milhões de ha)		Produção (milhões de ton)	Rendimento (ton/ha)
	Área plantada	Área colhida		
1975	1,9	1,9	88,9	46,82
1985	3,9	3,9	246,5	63,22
1995	4,6	4,6	303,6	66,49
2005	5,8	5,8	419,6	72,83
2009	9,7	8,6	689,9	80,24

Fonte: MAPA (2011) e Única.

Tabela 2 – Indicadores de produção de cana-de-açúcar no Brasil, safras selecionadas.

	Safra 2010/11	Safra 2011/12	Variação percentual
Área plantada (mil ha)	8.056,0	8.981,5	11,49
Produtividade (ton/ha)	77,45	68,29	-11,82
Produção (mil ton)	623.905,3	571.471,0	-8,4%
Produção de açúcar (mil ton)	38.168,4	36.882,0	-3,37
Produção de álcool (mil m ³)	27.595,5	22.857,6	-17,17

Fonte: MAPA (2011) e Única

Em linhas gerais, o incremento de produtividade na cultura de cana-de-açúcar pode ocorrer por duas vias: aumento da produção em toneladas por hectare e/ou aumento da concentração de ATR por tonelada. No primeiro caso, sendo a agricultura um setor totalmente susceptível às alterações climáticas, pragas e doenças podem encontrar meios de se desenvolver mais facilmente. A estes elementos também pode-se atribuir a instabilidade da produção média de cana-de-açúcar por hectare nos últimos anos. A isoporização, ligada a ampliação do período de exposição da planta à radiação solar, é exemplo de fenômeno que afeta a produtividade da cultura.

As heterogêneas condições de manejo do canavial constituem outro elemento importante da variabilidade da produção, ocorrendo a não adoção de aspectos básicos de apoio à produção como a identificação dos ambientes de produção, a construção de viveiros e o planejamento da renovação do canavial. A substituição das variedades plantadas por outras tecnologicamente mais avançadas encontra barreiras relacionadas ao custo e a essa falta de planejamento.

O Brasil apresenta mais de 40% da área plantada de cana-de-açúcar concentrada em 3 variedades (tabela 3), aumentando o risco de safra e afetando a produtividade por hectare. Tais variedades, desenvolvidas na década de 80, estão ultrapassadas tecnologicamente, ao mesmo tempo em que são mais susceptíveis a doenças e pragas e não estão adaptadas às necessidades atuais do setor, como a mecanização.

Outro elemento importante, novas áreas de expansão da cultura têm sido preenchidas por variedades utilizadas nas áreas tradicionais de produção. As mesmas variedades estão sendo plantadas em condições de solo e clima totalmente diferenciadas, resultando numa produção média por hectare cerca de 30% menor. A justificativa dos produtores apoia-se na maior disponibilidade de mudas dessas variedades, o que reduz o custo da expansão.

Por outro lado, também contribui certa limitação de oferta, pelos programas de melhoramento, de variedades adequadas às condições edafoclimáticas das novas regiões.

Tabela 3- Principais variedades de cana-de-açúcar no Brasil, safra 2011.

Variedades	Plantio e Cultivo	
	Área (ha)	%
1- RB867515	1.311.017	22,1
2- SP81-3250	723.125	12,2
3- RB92579	372.012	6,3
4- RB855453	321.505	5,4
5- SP79-1011	259.147	4,4
6- RB72454	250.541	4,2
7- SP83-2847	190.848	3,2
8- RB855156	190.112	3,2
9- RB855536	170.438	2,9
10- RB835054	144.294	2,4
Outras	1.993.431	33,6
Total	5.926.470¹	100,0

Fonte: Censo Varietal, Ridesa 2012.

Pelo lado do aumento de produtividade a partir da concentração de ATR, também observa-se que o incremento tem sido modesto (tabela 4) e marcado por oscilações importantes. Entre os elementos explicativos estão: 1. as instabilidades climáticas, que afetaram a concentração e a manutenção dos níveis de sacarose na planta; 2. limitações que são inerentes ao processo de melhoramento da cana.

Observa-se que os programas de melhoramentos estão se reestruturando no sentido de aumentar a eficiência do melhoramento em gerar variedades adaptadas às condições locais de cada região. O conceito de variedade eclética, que poderia ser plantada de norte a sul do país está enfraquecido. O objetivo principal dos programas de melhoramento da cana-de-açúcar é prover o setor com novas cultivares que ampliem a produtividade de energia (açúcar, álcool e fibra). As cultivares desenvolvidas a partir de seleções regionais atendem às condições edafo-climáticas da região, promovendo ganhos significativos para nichos específicos de produção, gerando ganhos importantes para regiões antes relevadas à segundo plano pelo desenvolvimento tecnológico. (LANDELL e BRESSIANI, 2010)

Tabela 4- Produção de ATR por tonelada de cana.

Safra	Kg de ATR/ton de cana
1948/49	138,21
1958/59	115,08
1968/69	118,12
1978/79	113,27
1988/89	131,15
1998/99	137,82
2008/09	142,01

Fonte: MAPA (2011)

¹ Esse total representa 70% da área total de produção brasileira.

Algumas das limitações do processo de melhoramento da cana, indicadas na bibliografia: i) por se tratar de uma variedade híbrida, a identificação das marcas genéticas de interesse é muito laboriosa e demorada – em torno de 15 anos para a obtenção e liberação de uma variedade comercial, sendo que a sua sobrevivência no campo, produzindo, é de, aproximadamente, também 15 anos; ii) dificuldades para obtenção e liberação de variedades produtivas e adaptadas a ambientes brasileiros diversos; iii) barreiras biológicas: a reprodução sexuada, no caso das plantas, a floração e o equilíbrio celular que garantem a sinalização correta entre as partes do organismo e seu funcionamento como um todo. Contudo, a diversidade genética disponível nos programas de melhoramento pode ser explorada com abordagens genômicas e de biotecnologia, de modo a auxiliar e eventualmente acelerar a identificação precoce de variedades promissoras. (SOUZA e SLUYS, 2010)

Para SOUZA e SLUYS (2010), é preciso estimular a criação de mecanismos de interação entre o setor sucroalcooleiro por meio dos programas de melhoramento da cana-de-açúcar e a pesquisa de ponta na área de biologia de sistemas, integrando-se dados genômicos, moleculares, bioquímicos, fisiológicos de crescimento e de desenvolvimento de plantas em resposta ao ambiente.

Diante do apresentado, pode-se verificar que a adaptação da cana-de-açúcar às mudanças climáticas está estritamente ligada ao desenvolvimento de inovações tecnológicas com vistas à redução da sensibilidade da planta às variações climáticas através do desenvolvimento de variedades mais resistentes ao calor e à seca e, também, inovações que dêem suporte ao desenvolvimento e implementação de medidas de gestão cultural através do uso de tecnologias como irrigação e equipamentos de agricultura de precisão.

4. A cana-de-açúcar e as mudanças do clima

O aquecimento global decorre das atividades humanas que aumentam a concentração na atmosfera dos gases de efeito estufa (GEE). Essa concentração mais elevada produz um aquecimento gradual da superfície mudando a dinâmica dos oceanos e da atmosfera. Estima-se que tais mudanças causarão prejuízos de vários tipos. Os ecossistemas estão adaptados ao clima atual, assim como as atividades humanas, e a mudança de clima prevista é muito mais rápida do que a capacidade de adaptação da natureza ou da humanidade. As reações possíveis, além evidentemente da inação, são a mitigação e a adaptação. A mitigação compreende as ações de redução das emissões líquidas antrópicas de gases de efeito estufa. A adaptação trata das medidas para diminuir os prejuízos resultantes da mudança do clima. A combinação preferida entre inação, mitigação e adaptação pode ser resumida na escolha de um limite tolerável para a mudança do clima. (Meira Filho e Macedo, 2010)

O aumento de temperatura pode ser benéfico, até certo ponto, para algumas culturas nas regiões sul e sudeste, contudo, o comportamento fisiológico das plantas é prejudicado por altas temperaturas. A fotossíntese, que pode ser beneficiada com a maior quantidade de gás carbônico disponível na atmosfera, tende a decrescer gradualmente, na maioria dos vegetais, a partir de temperaturas menores que 22°C e maiores que 40°C. (ASSAD e PINTO, 2008)

Os cenários climáticos que foram construídos para o Brasil (ASSAD e PINTO, 2008) tiveram como base as projeções de temperatura feitas pelo quarto relatório do IPCC (IPCC- AR4, 2007). O cenário A2, mais pessimista, estimou um aumento de temperatura entre 2°C e 5,4°C até 2100, e o B2, mais otimista, previu um aumento de temperatura entre

1,4°C e 3,8°C até 2100. Esse aumento da temperatura deverá promover um aumento na deficiência hídrica, provocando um aumento de áreas com alto risco climático para a maior parte das culturas. Entre os produtos analisados, a cana-de-açúcar e a mandioca teriam o desenvolvimento mais positivo, com ampliação significativa das áreas produtivas.

ASSAD e PINTO (2008) destacam que os aspectos necessários para a adaptabilidade das principais culturas agrícolas no Brasil são: tolerância ao calor para todo o país, tolerância à seca para as regiões Sul e Nordeste, e manejo de solos para aumentar a capacidade de conservação de água. A biodiversidade dos cerrados e da Amazônia pode conter os genes que permitirão fazer a adaptação das culturas atuais a estresses ambientais. Os resultados dos cenários utilizados para todas as culturas, com exceção da cana-de-açúcar e mandioca, confirmam os obtidos anteriormente, apresentando redução das áreas que são atualmente de baixo risco climático e seu deslocamento para regiões mais altas e, conseqüentemente, mais frias.

No caso da cana-de-açúcar, pelo fato do ciclo da cultura ter duração de um ano a 18 meses, o seu desenvolvimento é diretamente influenciado pelas variações das condições meteorológicas registradas ao longo desse tempo. O melhor desempenho das variedades atuais de cana-de-açúcar é observado quando ocorre um período quente e úmido, com intensa radiação solar, durante a fase de crescimento, seguido de um período seco, nas fases de maturação e colheita. Isso corresponde, na prática, a regiões com deficiência hídrica anual entre 10 mm e 180 mm. A irrigação é necessária para assegurar a rebrota dos canaviais, caso a deficiência hídrica anual fique entre 180 mm e 400 mm. Acima desses valores, a irrigação deverá ser intensiva. (ZULLO JR et al, 2010)

Com relação ao efeito da temperatura do ar sobre o desenvolvimento da cultura, tem-se a cana-de-açúcar apresentando taxas máximas de crescimento e acúmulo de biomassa para valores entre 22°C e 30°C, sendo nulo acima de 38°C e restrito devido ao risco de geada superior a 20%, para valores abaixo de 19°C. A diversidade de condições climáticas existentes no Brasil favorece a obtenção de duas colheitas anuais: de maio a dezembro, na região centro sul, e de setembro a abril, nas regiões Norte e Nordeste. Isso é uma grande vantagem competitiva do país, em termos econômicos e de logística. (ZULLO JR et al, 2010)

Contudo, segundo ASSAD e PINTO (2008), o melhoramento genético convencional tem um limite para adaptar as variedades. As alterações são capazes de fazer frente ao problema até um aumento de 2°C na temperatura. Acima disso as plantas começam a ter dificuldade em fazer fotossíntese, o que pede a presença de outras medidas. Uma alternativa a essa limitação podem ser os chamados “transgênicos de segunda geração”, que além de serem tolerantes a herbicidas ou resistentes a insetos como os transgênicos hoje existentes, seriam mais adaptados aos estresses ambientais. Essa proposta visa buscar na natureza plantas naturalmente mais tolerantes a altas temperaturas e à deficiência hídrica e se apropriar de sua genética para produzir cultivares agrícolas mais resistentes.

“A substituição de culturas ou espécies mais tolerantes à seca e ao calor pode ser uma forma de adaptação da agricultura às mudanças climáticas. A agricultura, no entanto, possui significativa capacidade de adaptação a novas situações climáticas desde que considerados os limites de tolerância biológica, os desafios tecnológicos existentes, os recursos naturais disponíveis e a antecedência necessária para que se apliquem as soluções adequadas.” (ZULLO JR et al, 2010: 197)

5. Inovação Tecnológica e a adaptação às mudanças climáticas

Diante do prognóstico acima, há desafios tecnológicos importantes ao setor para que seja possível a adaptação da cultura às mudanças climáticas. A continuidade da expansão produtiva da cana-de-açúcar no Brasil dependerá, cada vez mais, do desenvolvimento de tecnologias da área agrônoma e afins. É certo que o desenvolvimento tecnológico representa um elemento importante na adaptação da sociedade às mudanças climáticas, mas na agricultura, dada a sua total dependência climática, a tecnologia ocupa um papel ainda mais crucial.

Segundo SMITHERS and BLAY-PALMER (2001), as fontes climáticas mais importantes para a agricultura são umidade, calor e luz solar. Um conjunto de inovações tecnológicas surgiu na busca por melhor acomodar os produtores às variações espaciais destes atributos do clima. Simplificadamente, são identificados dois tipos básicos de opções tecnológicas: mecânicas e biológicas. As mecânicas são mais limitadas e estão relacionadas às tecnologias de irrigação, como os sistemas de gotejamento, que têm facilitado a agricultura intensiva e um amplo conjunto de atividades que as condições locais antes não permitiam. Tecnologias voltadas ao plantio direto, que possuem benefícios relacionados à manutenção da umidade do solo, associando tecnologias de plantio e colheita, e que facilitaram o amplo uso de sistemas diretos reduzidos. Também o desenvolvimento de sistemas integrados de drenagem capacitaram os produtores a lidar com o excesso de umidade nos períodos de crescimento da cultura e, especialmente, no período de colheita.

Por outro lado, estão as contribuições da pesquisa no campo das ciências biológicas, com a intenção de modificar as exigências climáticas das plantas cultivadas, promoção da adaptação dos sistemas de cultivo para uma ampla gama de regiões climáticas e condições adequadas para o período de crescimento. As inovações importantes na tecnologia de melhoramento de plantas têm-se centrado sobre a extensão do alcance espacial de muitas culturas, alterando suas exigências climáticas totais, que se refletem nas condições médias que prevalecem nessas regiões. Um desafio significativamente diferente é o desenvolvimento de espécies amplamente adaptadas que sejam tolerantes a variações interanuais. Esta distinção é importante, pois são esses desvios das chamadas condições normais, que podem muito bem definir a experiência da mudança climática (Smit, Burton, Klein, & Street, 1999 apud SMITHERS and BLAY-PALMER, 2001).

Outra forma de inovação refere-se às abordagens integradas de modelagem numérica que têm desfrutado de sua maior utilização nos esforços para quantificar os impactos das mudanças climáticas específicas sobre as atividades agrícolas e regiões. Tais análises normalmente envolvem a ligação dos modelos de processos biológicos com modelos econômicos de exploração e modelos de insumo-produto regionais para produzir estimativas dos efeitos das mudanças climáticas específicas (geralmente mudanças nas condições adequadas) sobre a rentabilidade da exploração agrícola, a produção de alimentos regionais e nacionais e o desempenho econômico internacional. Sua relevância para a inovação tecnológica é baseada na introdução de adaptações tecnológicas selecionadas, conhecidas ou antecipadas, dentro da estrutura de modelagem e análise posterior dos potenciais impactos de diferentes cenários de adaptação através de análise de sensibilidade.

No entanto, o clima representa apenas um estímulo para a pesquisa em tecnologia agrícola. De fato, o processo de inovação, como a própria agricultura, está sujeito a uma variedade de influências, tanto interna quanto externa, e está inserido em circunstâncias legais, institucionais e econômicas que mediam as prioridades de pesquisa e restringem caminhos para a ação. SMITHERS and BLAY-PALMER (2001) ressaltam a importância crítica de compreender não apenas as possibilidades tecnológicas disponíveis para adaptação às

mudanças climáticas na agricultura, mas também as circunstâncias culturais, econômicas e institucionais que determinam em larga medida o acesso dos agricultores às inovações.

Assim, a questão básica “O que pode ser feito?” deve ser definida junto com a pergunta “O que irá ser feito?” em pesquisa e desenvolvimento de tecnologia. E, além da questão da inovação, a realidade de adaptação está *on-the-ground*, através da extensão rural e da adoção de estratégias específicas pelo agricultor. Assim, além do desafio de desenvolver estratégias eficazes para a adaptação reside o desafio adicional de transferência de tecnologia. Este elemento crítico do planejamento da adaptação é incorporado através da referência para a tomada de decisão ao nível da propriedade agrícola, o processo de adoção de uma inovação, o papel do conhecimento do agricultor em 'adaptar' tecnologias às condições locais, e a necessidade de *feedback* dos próprios conhecimentos como insumos para o planejamento e maior inovação dos produtores. Enquanto separado do "processo" de inovação, a aceitação e implementação de novas práticas ao nível da exploração é um elemento fundamental de adaptação às mudanças climáticas relacionadas com a tecnologia na agricultura. (SMITHERS and BLAY-PALMER, 2001)

BERKHOUT ET AL (2006) colocam que as questões de percepção, interpretação, resolução de problemas e tomada de decisões são fundamentais para determinar se e como a adaptação ocorre entre os agentes sociais. O processo de adaptação envolve mudanças nas rotinas organizacionais, que serão desafiadas e ajustadas em processos de aprendizado. Implica em compreender como as organizações aprendem a partir da experiência direta e como eles desenvolvem estruturas conceituais para a interpretação desta experiência.

As limitações para o desenvolvimento e a difusão de inovações relacionadas a adaptação não param na questão da implementação. Para RODIMA-TAYLOR ET AL (2012), as barreiras e limitações podem vir de várias frentes: 1. informações inadequadas sobre o clima; 2. compreensão parcial dos impactos do clima e da incerteza sobre os benefícios da inércia; 3. adaptação institucional e lock-in; 4. desconexão entre a ciência do clima e da política que conduz a uma falta de pesquisa inspirada no uso; 5. acesso ao crédito insuficiente; e 6. sistemas de mercado fracos.

Sendo assim, nota-se que além da capacidade tecnológica e de inovação para o desenvolvimento das tecnologias necessárias para a adaptação da agricultura às mudanças climáticas, a difusão e implementação dessas tecnologias também são aspectos importantes.

6. Análise dos esforços tecnológicos dos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar

Visitas foram feitas, entrevistas realizadas e questionários² aplicados a pesquisadores e melhoristas do Centro de Cana do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, do Centro de Tecnologia Canavieira – CTC e dos programas da RIDESA. Os principais resultados desse processo são apresentados a seguir.

O Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana é originário do **Programa Cana do IAC**. A administração do Centro APTA Cana é sediada em Ribeirão Preto, onde também se concentra a maior parte da equipe técnica. A relação entre os pesquisadores é horizontal e as atividades nas áreas de melhoramento, fitopatologia,

² Alguns questionários ainda não retornaram e contatos estão sendo feitos com os coordenadores das unidades faltantes na busca por finalizar, o mais rápido possível, essa fase da pesquisa e, em seguida, concluir as tabulações para a inclusão dos dados quantitativos.

entomologia, pedologia, fertilidade, adubação, climatologia, matologia, etc, são coordenados de forma consensual e participativa.

O Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) foi o precursor da pesquisa agrícola no Brasil. Nas décadas de 40 e 50, foram avaliados os primeiros genótipos desenvolvidos em Campos e Piracicaba, que resultaram nas primeiras variedades criadas no país: CB41-76, CB45-3, CB40-69, juntamente com as variedades IAC48-65, IAC50-134, IAC51-205 e IAC52-150. A partir desta época, outros estudos também foram desenvolvidos como: adubação, calagem, época de plantio, espaçamento, aplicação de vinhaça etc. Processo que foi acompanhado pelo desenvolvimento da agroindústria canavieira no Centro-Sul do Brasil. Na década de 60, o Instituto Agrônomo de Campinas contribuiu significativamente na formação dos programas de melhoramento genético do Planalsucar, atual RIDESA e Copersucar, hoje CTC. Com a criação desses dois programas, a pesquisa canavieira foi dinamizada em todo o Brasil. Na década de 70, foi firmado um convênio entre a Copersucar e o IAC que possibilitou a introdução de 678 genótipos de vários países. A ampliação dessa colaboração permitiu que o IAC utilizasse a Estação Experimental de Cruzamento de Camamu (BA), onde se concentra o maior número de genótipos de cana-de-açúcar de todo o mundo e excelentes condições climáticas para hibridação (FIGUEIREDO, 2010).

Na década de 80, aproveitando o posicionamento geográfico das Estações Experimentais, deu início ao projeto de criação de variedades regionais. No final da década passada, foi criado o Programa de Cana-de-açúcar-IAC com a incorporação de todos os pesquisadores e especialistas em cana-de-açúcar sediados nas seis Estações Experimentais onde as pesquisas eram conduzidas. A interface institucional com o setor sucroalcooleiro foi ampliada e surgiu o Grupo Fitotécnico de Cana-de-açúcar em 1992, o qual congrega fitotecnistas de usinas e cooperativas, pesquisadores e outros profissionais de empresas de insumos, matérias-primas, máquinas e equipamentos, projetos e outros fatores de produção ligados à cultura de cana. Esse grupo aglutina lideranças técnicas do setor e funciona como um prospector de demandas determinantes no aprimoramento de linhas de pesquisas científicas do IAC.

O Centro Avançado da Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana, que foi originário do Programa Cana do IAC, foi implantado em 2005. É numa organização em forma de rede que engloba sete Estações Experimentais do IAC (atualmente denominados Pólos de Desenvolvimento), empresas conveniadas, cooperativas de fornecedores de cana, Universidades (UNESP, UNICAMP, USP), institutos de pesquisa do Estado de São Paulo e EMBRAPA.

Na área de Melhoramento, estabeleceu-se a estratégia de seleção regional e assim, são introduzidas populações com ampla variabilidade para proporcionar ocasião à adaptação de indivíduos superiores nas principais regiões canavieiras do Estado de São Paulo. Além de trabalhos com biologia molecular, tem-se como apoio o trabalho de qualificação de ambientes de produção que gera informação para aplicação de manejo varietal, e portanto, para adoção de tecnologias geradas nessa área de melhoramento. Nas demais áreas realizam-se diversos projetos relacionados à: ambientes de produção, climatologia, defesa fitossanitária, estudos econômicos, estudo do sistema radicular, matologia, nutrição de plantas, variabilidade espacial através da geoestatística, entre outros.

Após sérias dificuldades envolvendo falta de recursos financeiros, dificuldades estruturais por falta de equipamentos e de espaço físico adequado. O programa foi reestruturado, contando com instituições de fomento como FINEP, FAPESP e CNPq para ampliação de laboratórios e os estudos em biotecnologia, tentando identificar sequências gênicas

relacionadas a seca, projetos feitos em Goianésia-GO com apoio de Usinas, CNPQ e da FAPESP. Também foram feitas parcerias com grupos de pesquisa da Unicamp, Unesp, Esalq e Biologia-Usp para atuar nas áreas de biotecnologia e fisiologia.

Apesar de ainda conviver com recursos insuficientes, o IAC está retomando sua amplitude e tem promovido experimentos importantes em diversas regiões do país. Na região Centro-Oeste, tem se preocupado com o estresse hídrico, a irrigação de salvamento e a resistência a altas temperaturas. Ao mesmo tempo, possui experimentos às margens do rio São Francisco, onde a precipitação é mais acentuada e também exige o desenvolvimento de variedades e formas adequadas de manejo para a adaptação da cultura a tais condições.

Segundo o diretor do Centro de Cana, foi desenvolvido um novo modelo de produção chamado matriz de ambientes, responsável por um incremento importante de produtividade da cultura em anos recentes. A empresa que está mais adiantada no processo de implantação dessa matriz obteve, em três anos, incremento de 18,1% em sua produtividade.

A RIDESA – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro – é formada por Universidades Federais e foi criada a partir da incorporação das atividades do extinto Planalsucar. Com o apoio de parte significativa do Setor Sucroalcooleiro por meio de convênio, a rede começou a desempenhar suas funções em 1991. Em 2007, tinha como base para o desenvolvimento da pesquisa 31 estações experimentais. Atualmente, é composta por dez Universidades Federais de Ensino Superior (IFES) na qual atua, aproximadamente, 246 profissionais. Conta ainda com 72 bases de pesquisas, englobando estações de cruzamento, estações experimentais e centros de pesquisas e subestações de seleção, que são conduzidos em parceria com o setor sucroalcooleiro. A rede possui cerca de 300 empresas conveniadas.

A RIDESA dispõe de laboratórios e pessoal habilitado para a obtenção de material para plantio com menor incidência de doenças através da cultura de meristemas, e conta com projetos que buscam a obtenção de variedades melhoradas pela transgenia. Estudos sobre simbioses com bactérias, obtenção de variedades transgênicas com maior tolerância ao estresse hídrico, regulação do florescimento, tolerância a pragas e doenças via transformação genética estão sendo desenvolvidos.

Na obtenção de variedades RB, a RIDESA tem como ponto de partida o banco de germoplasma da Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro, situada em Murici - Alagoas, com gestão da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas que liberou 78 variedades RB. Atualmente, o banco de germoplasma da Serra do Ouro é composto de 2.607 genótipos, provenientes de programas nacionais e internacionais. A Estação de Floração e Cruzamento de Devaneio tem como objetivo complementar as pesquisas da RIDESA para obtenção de variedades e é composto de 814 genótipos provenientes de programas nacionais e internacionais. (RIDESA, 2010)

A RIDESA, em março de 2011, apresentou 13 novas variedades produzidas nas dez universidades federais que formam a rede. Destas, cinco são de propriedade da Universidade Federal de Alagoas – RB931003, RB931011, RB951541, RB98710 e RB99395. As duas primeiras, mais rústicas, são tolerantes a estresses hídricos, e as últimas, são precoces e ricas em açúcar. Em 20 anos de história, a rede desenvolveu 59 variedades de cana-de-açúcar, que somadas às 19 produzidas pelo Planalsucar, correspondem a cerca de 60% da área de cana plantada no país. (RIDESA, 2010)

O sucesso da Ridesa, segundo os entrevistados, é atribuído ao conhecimento acumulado pelas numerosas estações experimentais do Planalsucar e à distribuição das 10

universidades integrantes da rede que, espalhadas pelo país, conseguem capturar diferenças importantes de solo e clima, selecionando variedades chamadas de ecléticas, ou seja, que se adaptam a diversas regiões do país com bons níveis de produtividade. As Universidades que compõem a Ridesa trabalham de maneira integrada na fase de seleção de variedades, contudo, no desenvolvimento, os Programas descentralizam as atividades de acordo com as necessidades locais ou objetivos específicos de cada região. Diante disso, este projeto de pesquisa está em processo de levantamento de informações individualizadas sobre as atividades de melhoramento das 10 unidades da rede, através de aplicação de questionário estruturado.

O **CTC – Centro de Tecnologia Canavieira**, desde 1969, tem atuado no desenvolvimento de tecnologias que permitiram a evolução da produção e do processamento da cana-de-açúcar no Brasil. Em Piracicaba – SP, fica a sua sede e seus principais laboratórios, onde conta com cerca de 300 pessoas envolvidas em suas atividades. Na Bahia, a estação de cruzamentos possui um amplo banco de germoplasma de cana-de-açúcar, com mais de 5 mil clones de variedades comerciais e espécies selvagens, é o maior e mais completo banco do mundo em sua categoria.

As novas variedades de cana, após a etapa de cruzamentos, são selecionadas e desenvolvidas em Polos Regionais espalhados pelas diversas regiões canavieiras do país. O Centro também desenvolve programas de pesquisa relacionados a etanol celulósico, biotecnologia, agronomia, benchmarking, mecânica agrícola e industrial, produção de açúcar, de etanol e de energia. Em 1991, fez parte de um consórcio internacional para o desenvolvimento de biotecnologia na cana-de-açúcar (ISCB). Nos últimos cinco anos, investiu no conhecimento acumulado em suas bases de dados, contratou uma equipe de pesquisadores brasileiros com experimentação na área e seus laboratórios foram atualizados com a aquisição de equipamentos de última geração para pesquisa em marcadores moleculares.

O CTC promoveu uma forte descentralização de seu programa com a criação de 13 polos regionais de melhoramento definidos pelos Ambientes de Produção Edafoclimáticos que selecionam e disseminam clones promissores. Na área de fitopatologia foram desenvolvidos diagnósticos por meio de pesquisa molecular para a caracterização das principais doenças da cana-de-açúcar causadas por fungos, bactérias fitopatogênicas e vírus. Em 2007, iniciou o desenvolvimento do processo para obtenção do etanol a partir da biomassa da cana-de-açúcar com um projeto integrado com os processos de geração de etanol existentes nas usinas. O processo desenvolvido tem a patente requerida e utiliza a biomassa da cana-de-açúcar de forma flexível, para geração de etanol e de energia elétrica em função das prioridades das usinas. Desde 2009, conta com uma Unidade de Desenvolvimento de Processo (PDU) para simulação das operações e aperfeiçoamento do processo.

Historicamente, o CTC colocou à disposição do mercado 61 novas variedades até 2004, com a denominação comercial de SP. Depois, sob a nova forma de atuação, disponibilizou às suas associadas 20 novas variedades de cana-de-açúcar. Como os benefícios das novas variedades disponibilizadas são absorvidos pelo setor à medida que elas substituem as variedades menos produtivas, para acelerar o processo convencional de propagação vegetal que exige vários anos, o Centro desenvolveu uma Biofábrica para a produção de mudas de meristema, através de material genético sadio, que é rapidamente multiplicado em um ambiente controlado. Isso permite uma taxa de multiplicação 10 vezes maior que a taxa convencional e, além de facilitar o processo de expansão dos canaviais comerciais e a rápida ocupação das novas fronteiras, acelera a clonagem das canas mais promissoras. Em

2009, foi inaugurada uma nova biofábrica com capacidade de produção de 1 milhão de plantas por mês.

Em 2007, o Centro construiu uma estufa de 5.000 m² para avaliação simultânea de 6.000 plantas transgênicas. Participou do programa Genoma Cana da FAPESP e se associou com empresas privadas multinacionais (tais como Basf, Dow e Bayer) e com universidades (como UFRJ e UFPE) com experiência em genética vegetal para desenvolver variedades que acumulem mais açúcar, que tolerem o estresse hídrico e que sejam resistentes a pragas, entre outros fatores.

Atualmente, o CTC está em processo de reestruturação do seu programa de melhoramento genético e inovou com um novo formato organizacional. O Centro está desenvolvendo variedades dentro do que denomina Melhoramento Acelerado, um nova proposta de desenvolvimento varietal que visa colocar novas variedades no mercado num período de 8 anos sendo que, convencionalmente, esse tempo gira em torno de 15 anos. Com essa mudança, também estima reduzir o custo do desenvolvimento da variedade em 50%.

Fortemente ligado a esta proposta, está o processo de intensa regionalização do desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar, condicionando o desenvolvimento da variedade, desde a fase inicial (*seedlings*), às condições edafoclimáticas de determinada região. O primeiro conjunto de variedades dentro dessa nova concepção, a série 9000, foi lançado em dezembro/2012 com três variedades totalmente direcionadas para a região Centro-Oeste do Brasil. Reforçou seu programa de biotecnologia através de apoio de instituições de fomento como a FINEP, onde buscou recursos para modernização de laboratórios. O CTC planeja lançar a primeira variedade transgênica de cana-de-açúcar em 2018.

A **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA** – foi criada em 1972 com o objetivo de dar suporte ao desenvolvimento agrícola do país. Ela está diretamente ligada ao Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, é composta de 92 bases físicas: 9 sedes dos institutos regionais, 70 estações experimentais, 11 imóveis e 2 centros nacionais e administra todo o sistema de pesquisa agropecuária no âmbito federal.

A Embrapa atua por intermédio de Unidades de Pesquisa e de Serviços e de Unidades Administrativas. Possui 9.660 empregados e teve um orçamento, em 2011, de R\$ 1 bilhão e 829 mil. Está sob a sua coordenação o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária – SNPA, constituído por instituições públicas federais, estaduais, universidades, empresas privadas e fundações.

A Embrapa estabeleceu, a partir de 2004, uma extensa agenda de pesquisa em cana-de-açúcar. A iniciativa abrange fixação biológica de Nitrogênio, biotecnologia aplicada à transformação genética, zoneamento agroecológico da cultura e manejo da cana de açúcar sob condições irrigadas, entre outras. As pesquisas com transgenia vêm sendo desenvolvidas desde 2008 na Embrapa Agroenergia (Brasília/DF) com apoio dos laboratórios da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia (Brasília/DF) cuja proposta é desenvolver cultivares comerciais de cana-de-açúcar com maior tolerância a seca, potencializando o setor sucroalcooleiro nas áreas tradicionais e de expansão da cultura.

A EMBRAPA também está ligada ao desenvolvimento e aprimoramento de *softwares* e programas que atuam como ferramentas de suporte, como o zoneamento de risco climático que aponta as regiões com características edafoclimáticas mais propícias ao desenvolvimento de uma cultura, auxiliando o produtor na gestão produtiva e também na antecipação de resposta às mudanças previstas do clima.

Em 2011, a Embrapa Agroenergia (Brasília/DF) anunciou testes com as primeiras plantas transgênicas confirmadas de cana-de-açúcar tolerante à seca com o gene DREB2A. As plantas selecionadas em laboratório serão multiplicadas e avaliadas em casa de vegetação. Após estes processos, as que apresentarem melhor desempenho, tanto agrônomico quanto das características pretendidas, terão potencial de avaliação a campo mediante aprovação de processo junto ao Comitê Técnico Nacional de Biossegurança (CTNBio).

Também em 2011, Embrapa e Ridesa assinaram acordo de parceria para o fortalecimento do desenvolvimento tecnológico do setor, em especial, as atividades de ciência e tecnologia agrícola e industrial, voltadas para a produção de açúcar, etanol e derivados da cana-de-açúcar. Essa cooperação fortalecerá a ação de pesquisa em várias áreas agrícolas que limitam a produção, entre elas, a identificação de genes que controlam a tolerância a estresses hídricos, temperaturas elevadas, pragas (como a broca girante) e enfermidades, como a ferrugem laranja da cana-de-açúcar.

Pesquisadores da Embrapa afirmaram que a instituição tem despendido esforços na retomada da pesquisa básica, salientaram a necessidade de estudos na área de fisiologia, fitopatologia, entre outras, buscando avançar no mapeamento e compreensão do complexo genoma da cana. Alguns projetos nessa linha estão sendo desenvolvidos em parceria com o CTBE, com o intuito de conhecer quais são, exatamente, as necessidades da planta para propor condições de manejo adequadas e, também, desenvolver máquinas adequadas a estas características. Outra linha de pesquisa salientada refere-se ao estudo da atuação dos estômatos na respiração das gramíneas, que perderiam menos água em ambientes ricos em gás carbônico e se tornariam mais resistentes ao estresse hídrico.

No final de 2012, uma ação importante foi a realização do convênio entre a Embrapa e a Unicamp para a constituição da Unidade Mista de Pesquisa em Genômica Aplicada a Mudanças Climáticas (Umip GenClima), voltada à geração de tecnologias genéticas e biotecnológicas para o desenvolvimento de plantas melhor adaptadas às mudanças climáticas, entre elas a cana-de-açúcar.

Muitas outras oportunidades tecnológicas têm surgido no setor, mas ainda estão cercadas de incertezas, por exemplo: a produção de etanol a partir do milho e do sorgo sacarino, na mesma estrutura de produção da usina ou via pequenas alterações de processo, visando a diluição do custo fixo elevado que representa a usina ociosa na entressafra da cana; a cana-fibra energia que promete uma produtividade elevada (acima de 200 toneladas/hectare) e aptidão para crescimento em condições de solo e clima desfavoráveis, visando a produção de etanol de segunda geração.

Os esforços tecnológicos, passados e os recentes, empreendidos pelas instituições de pesquisa analisadas demonstram que o Brasil possui capacidade para desenvolver tecnologias, entre elas novas variedades de cana, que possibilitem a adaptação da cultura às mudanças climáticas. As respostas dessas instituições às muitas mudanças ocorridas no setor foram muito positivas, entretanto, faltam políticas de estímulo a adoção e difusão dessas tecnologias setorialmente. A difusão é um gargalo importante, notou-se que as novas variedades geradas demoram um tempo além do ideal para se disseminarem, aumentando a concentração das plantações em poucas variedades e, assim, tornando o setor canavieiro brasileiro muito mais susceptível a eventos climáticos, pragas e doenças.

7. Considerações Finais

O Brasil, há décadas, agrega conhecimento tecnológico no setor sucroalcooleiro e, apesar de apresentarem algumas limitações, os centros e institutos de pesquisa que atuam no melhoramento genético da cana-de-açúcar têm ampliado seus esforços para, além do desenvolvimento de variedades, oferecer tecnologias que podem apoiar a adaptação do setor sucroalcooleiro às mudanças climáticas.

Este trabalho observou que os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar brasileiros vem empreendendo esforços tecnológicos significativos, contribuindo para a inovação e o desenvolvimento tecnológico do setor em diversas áreas: mecânica, biológica e organizacional, além de oferecer suporte ao produtor para a implementação das novas tecnologias. Tais instituições possuem *expertise* e capacitação para alavancar o setor, respondendo ao aumento da demanda por etanol e auxiliando na adaptação às mudanças climáticas globais.

Os programas têm realizado ampliação da infra-estrutura de pesquisa através de investimento em modernização de laboratórios, contratação de recursos humanos qualificados e introdução de novas tecnologias na área de biotecnologia, a aquisição de softwares e outras ferramentas para estudos na área. Para tais investimentos, eles têm buscado financiamento em instituições de fomento como FINEP, FAPESP e CNPq, e realizado parcerias de cooperação tecnológica com instituições nacionais e estrangeiras, das quais pode-se destacar: parceria entre Ridesa e Embrapa; Embrapa e Unicamp; CTC com Basf e Bayer, entre outras.

Os resultados desses esforços, então, se refletirão, em breve, em variedades de cana-de-açúcar mais produtivas e resistentes a pragas, e mais adaptadas aos diversos tipos de solos e climas das novas regiões, auxiliando no aumento de produtividade setorial e na adaptação as alterações climáticas. Um levantamento das variedades de cana e suas características principais está sendo realizado e poderá refletir melhor os resultados dos esforços tecnológicos realizados em breve.

Referências bibliográficas principais:

ASSAD, E. E PINTO, H. S. (coords.) Aquecimento Global e a Nova Geografia da Produção Agrícola no Brasil. Esta publicação faz parte do estudo “Aquecimento Global e Cenários Futuros da Agricultura Brasileira”. Apoiado pela Embaixada Britânica. São Paulo - Agosto de 2008. <http://www.agritempo.gov.br/climaeagricultura/download.html>.

BERKHOUT, F.; HERTIN, J.; GANN, D. M. Learning To Adapt: Organizational Adaptation To Climate Change Impacts. *Climatic Change* (2006) 78: 135–156.

CHALLINOR, A. Towards the development of adaptation options using climate and crop yield forecasting at seasonal to multi-decadal timescales. *Environmental Science & Policy*, 12 (2009), p. 453-465.

DINARDO-MIRANDA, L.; MACHADO DE VASCONCELOS, A. C.; LANDELL, M. G. A. (editores) Cana-de-Açúcar. 1ª edição. Campinas: Instituto Agrônomo, 2010.

FREEMAN, C., SOETE, F. Developing science, technology and innovation indicators: what we can learn from the past, **Working Paper Series**, United Nations University – UNU-MERIT, January 2007.

FURTADO, A., SCANDIFFIO, M. AND CORTEZ, L. (2011), “The Brazilian sugarcane innovation system”, in *Energy Policy*, Volume 39, Issue 1, pp. 156-166.

GAZAFFI, R.; OLIVEIRA, K. M.; SOUZA, A. P. E GARCIA, A. A. F. Melhoramento Genético e mapeamento da cana-de-açúcar. In CORTEZ, L. A. B. (coord.) Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010, p. 954.

HASEGAWA, M. A criação, circulação e transformação do conhecimento em redes de inovação: o programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar do IAC. Dissertação de Mestrado. IG – Unicamp: Campinas, SP., 2001.

HASEGAWA, M. Avaliação das capacitações dos spinoffs gerados por programas de P&D: o programa cana do IAC. Tese de Doutorado. IG – Unicamp: Campinas, SP., 2005.

IPCC-AR4. Intergovernmental Panel on Climate Change – Fourth Assessment Report. Climate Change – Synthesis Report. 2007.
http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html

MARGULIS, S. e DUBEUX, C. B. S. (eds.) Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e Oportunidades. Coordenação geral Jacques Marcovitch.– São Paulo: IBEP Gráfica, 2010.82 p.

MEIRA FILHO, L. G.; MACEDO, I. C. Contribuição do Etanol para a Mudança do Clima. In LEÃO DE SOUZA; L. E MACEDO, I. C. (organizadores e coordenadores) Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética. UNICA, Projeto Agora. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010, 314 p.

RIDESA – Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético. Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar / Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro. – Curitiba, 2010. 136 p.

RODIMA-TAYLOR, D.; OLWIG, M. F.; CHHETRII, N. Adaptation as innovation, innovation as adaptation: an institutional approach to climate change. Applied Geography 33(2012) 107-111.

MENDELSON, R. Efficient Adaptation to Climate Change. Climatic Change 45 (2000) 583-600.

SMITHERS, J. And BLAY-PALMER, A. Technology innovation as a strategy for climate adaptation in agriculture. Applied Geography 21 (2001) 175-197.

SOUZA, G. M. e SLUYS, M. V. Genômica e biotecnologia da cana-de-açúcar: estado da arte, desafios e ações. In CORTEZ, L. A. B. (coord.) Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010, p. 954.

STERN Review (2006), The Economics of Climate Change, Executive Summary, UK.

ZULLO JR., J.; PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; MARIN, F. R. e PELLEGRINO, G. Q. As mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. In CORTEZ, L. A. B. (coord.) Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010, p. 954.