

Silvia Angélica Domingues de Carvalho

Universidade Estadual de Campinas
(UNICAMP, Brasil)
silviadcarvalho@gmail.com

Andre Tosi Furtado

Universidade Estadual de Campinas
(UNICAMP, Brasil)
furtado@ige.unicamp.br

O MELHORAMENTO GENÉTICO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL E O DESAFIO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

THE BREEDING OF SUGARCANE IN BRAZIL AND THE CHALLENGE OF GLOBAL CLIMATE CHANGE

RESUMO

Diante dos desafios colocados pelas mudanças climáticas, o Brasil precisa promover o crescimento sustentado da produção de cana-de-açúcar para atender à crescente demanda. A expansão da produção depende do desenvolvimento de variedades adaptadas ao solo e ao clima das novas áreas de expansão. O setor sucroalcooleiro nacional possui instituições historicamente responsáveis pelos avanços no desenvolvimento tecnológico e de inovação no setor. Então, identificar os principais desafios tecnológicos que essas instituições, em seus programas de melhoramento, têm encontrado é vital para o Brasil manter a liderança na produção de cana-de-açúcar. Nesta pesquisa, verificou-se que, apesar dos recursos tecnológicos existentes, os desafios colocados pelas novas condições climáticas e as mudanças na regulamentação setorial impõem limitações que devem ser superadas: o tempo de colocação de uma variedade no mercado; as dificuldades de infraestrutura interna; as dificuldades na transmissão de conhecimentos aos produtores; a falta de apoio do governo; a complexidade genética de cana-planta; entre outros.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; Mudanças climáticas; Melhoramento genético; Desenvolvimento tecnológico.

ABSTRACT

Faced the challenges posed by climate change, Brazil needs to promote sustained growth of the sugarcane production to meet the growing demand. The expansion of production depends on the development of sugarcane varieties adapted to the soil and climate of the new areas of expansion. The national sugarcane sector has institutions historically responsible for the advances in technological development and innovation in the sector. Therefore, the identification of the main technological challenges that these institutions have found in their improvement programs is vital so that Brazil is able to maintain the leadership in sugarcane production. It was verified that, despite the existing technological capabilities, the challenges posed by new climatic conditions and changes in industry regulation impose limitations that must be overcome: the time of placement of a variety on the market; difficulties of internal infrastructure; difficulties in transmission of knowledge to producers; lack of government support; genetic complexity of plant cane sugar, among others.

Keywords: Sugarcane; Climate changes; Improvement programs; Technology development.

Universidade Federal do Espírito Santo

Endereço

Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras
29.075-910, Vitória-ES
gestaoeconexoes@gmail.com
gestaoeconexoes@ccje.ufes.br
http://www.periodicos.ufes.br/ppgadm

Coordenação

Programa de Pós-Graduação em Administração
(PPGADM/CCJE/UFES)

Artigo

Recebido em: 17/04/2013
Aceito em: 24/06/2013
Publicado em: 23/09/2013

1. INTRODUÇÃO

A agricultura, dada sua dependência das condições do clima, é a atividade econômica que mais sofre os efeitos das mudanças climáticas. Os maiores riscos envolvidos na atividade estão relacionados às ações inesperadas da natureza, como geadas, chuvas intensas, seca prolongada, entre outros eventos possíveis. Dessa forma, a produção de alimentos pode ser seriamente afetada pelo aquecimento global se ocorrer inação ou ações por demais retardadas ou inadequadas de mitigação e adaptação.

Em meio aos desafios das mudanças climáticas, o Brasil se depara também com o desafio de promover um crescimento adequado da produção de cana-de-açúcar para atender às demandas interna e externa em expansão. Inicialmente, o crescimento da área brasileira de produção da cultura de cana-de-açúcar ocorreu em direção às regiões mais propícias climaticamente à sua adaptação. Hoje, a continuidade dessa expansão produtiva depende fortemente do esforço tecnológico da área agrônoma para desenvolver variedades que se adaptem ao solo e às condições climáticas dessas novas regiões, as quais possuem condições diferentes daquelas onde a cultura originalmente se desenvolveu. São, em geral, áreas de pastagens degradadas, com solo menos férteis e com baixa capacidade de retenção de água. Um agravante é que, nessas áreas, os efeitos da mudança climática têm sido observados de maneira mais intensa: prolongamento da estação seca e períodos chuvosos intensos em momentos não adequados ao desenvolvimento da cultura.

O setor sucroalcooleiro brasileiro possui instituições com grande representatividade no sistema de inovação setorial, tais como o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), entre outras. Algumas destas foram responsáveis pelos principais avanços no desenvolvimento de variedades e no desenvolvimento tecnológico e de inovação do setor e, atualmente, continuam representando grande parte da capacidade tecnológica do País em desenvolver e adaptar variedades às mudanças climáticas. Variedades estas que também devem ser mais produtivas, consumir menos insumos, ser mais resistentes a pragas, mais apropriadas ao ciclo sazonal e suportar a mecanização. Ou seja, o desafio é realmente grande.

Assim sendo, a adaptação da cultura às atuais necessidades do País e às mudanças climáticas deve perpassar pela identificação dos principais desafios tecnológicos que os referidos institutos têm encontrado. E, diante disso, este trabalho

objetiva apresentar um mapeamento da atuação dos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil e, também, avaliar como a questão das mudanças climáticas globais está sendo considerada no desenvolvimento de variedades dessa cultura.

O artigo apresenta, primeiramente, uma breve revisão de literatura sobre a questão da mudança climática e seu impacto sobre a cultura da cana-de-açúcar. Posteriormente, discute alguns aspectos do melhoramento genético de cana-de-açúcar e, em seguida, faz um breve histórico sobre os programas de melhoramento brasileiros. Na seção cinco é apresentada a metodologia do trabalho e, na sequência, os resultados, caracterizando os programas de melhoramento genético e colocando alguns dos desafios que eles têm enfrentado. Na última parte, o artigo apresenta as considerações finais.

2. 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 efeitos estufa (GEE): dióxido de carbono (queima de combustíveis fósseis, fabricação de cimento e desflorestamento); metano (decomposição anaeróbica de matéria orgânica); óxido nitroso (fertilizantes nitrogenados e indústria química); e certos gases industriais à base de halogênios. 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 (MEIRA FILHO; MACEDO, 2010).

Para Meira Filho e Macedo (2010), a estabilização da temperatura exige a estabilização da concentração atmosférica dos GEE, o que, por sua vez, exige a estabilização das emissões líquidas antrópicas (produzidas pelo homem). 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.

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. Acima de 40°C, os estômatos (estrutura na superfície das folhas onde ocorre a troca de gases com a atmosfera) se fecham, interrompendo a fotossíntese. Por causa disso, ondas de calor que geram temperaturas do ar acima de 34°C durante três ou quatro dias consecutivos acabam sendo altamente danosas às culturas agrícolas. Se esses índices térmicos ocorrem na fase de florescimento das plantas, as flores morrem (ASSAD; PINTO, 2008).

Os relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) têm apontado que o aquecimento global pode afetar drasticamente a produção agrícola mundial e que a população poderá sofrer com a falta de alimentos, pois o aumento da temperatura poderá impossibilitar o plantio de algumas culturas em um futuro não muito distante. Diante desse quadro, nunca foi tão importante para a agricultura nacional lançar mão de ferramentas para minimizar esses riscos, como o Zoneamento de Risco Climático, que oferece apoio técnico ao produtor, orientado-o sobre o quê, onde e quando plantar (ZULLO JÚNIOR et al., 2010).

O uso de fontes de energia renovável e com baixo teor de carbono representa uma das estratégias para a mitigação da emissão de gases de efeito estufa (GEE) e para o combate ao aquecimento global. O etanol da cana-de-açúcar, que apresenta balanço energético e de emissões significativamente favorável, é uma alternativa disponível comercialmente e com grande potencial de rápida expansão em muitos países, inclusive com novas aplicações. Sob a ótica do ciclo de vida, o etanol de cana-de-açúcar tem capacidade de reduzir cerca de 90% as emissões de GEE quando comparado com a gasolina no Brasil (MEIRA FILHO; MACEDO, 2010).

Os cenários climáticos que foram construídos para o Brasil (ASSAD; 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.

Os nove produtos analisados foram: algodão, arroz, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol, mandioca, milho e soja, os quais representam 86,17% do total da área plantada no País. O estudo demonstrou que, entre esses produtos, a cana-de-açúcar e a mandioca teriam o desenvolvimento mais positivo, com ampliação significativa das áreas

produtivas. Também destacou 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 da 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 (ASSAD; PINTO, 2008).

A cana-de-açúcar, entretanto, apresentou resultados distintos. Pelo fato de o 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 JÚNIOR 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 JÚNIOR et al., 2010).

Com base nesses parâmetros, a cultura de cana-de-açúcar poderá ter a sua área dobrada nas próximas décadas, se aproximando de 17 milhões de hectares em 2020, no cenário de baixa emissão de gases de efeito estufa, e 16 milhões de hectares, para alta emissão. Áreas do Sul do Brasil, hoje com restrições ao cultivo da cana, podem se transformar em regiões de potencial produtivo dentro de 10 a 20 anos. Locais do Centro-Oeste, que hoje apresentam um alto potencial produtivo, devem permanecer como áreas de baixo risco, porém, serão cada vez mais dependentes de irrigação complementar no período mais seco. Com essa expansão, o valor da produção poderá chegar a R\$ 29

bilhões em 2020 no B2. Com o passar das décadas, e o aumento contínuo da temperatura, a cultura já não ficará mais tão confortável e precisará de mais irrigação. A área total deve então cair para 15 milhões de hectares até 2070, ainda no cenário B2, o que deve diminuir o rendimento para R\$ 24 bilhões. Já no A2, a cana atinge, num primeiro momento, uma área de 16 milhões de hectares, decrescendo para 13 milhões até 2070. Nesse cenário, o valor da produção pode subir para R\$ 27 bilhões em 2020, regredindo para R\$ 20 bilhões em 2070 (ASSAD; PINTO, 2008).

Diante desse prognóstico, há desafios tecnológicos importantes ao setor para a adaptação da cultura de cana-de-açúcar às mudanças climáticas. A continuidade da expansão produtiva da cana no Brasil já depende fortemente do esforço tecnológico das áreas relacionadas à agronomia para desenvolver variedades que se adaptem ao solo e às condições climáticas das novas regiões e novas ferramentas de apoio ao manejo mais adequado do solo. Na safra de 2010/2011, a produção foi inferior ao previsto já em função de condições climáticas inesperadas que afetaram os canaviais nas áreas tradicionais, provocando, por exemplo, o florescimento da planta, além do manejo inadequado, que agravou a situação.

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 JÚNIOR et al., 2010, p. 197).

Diante do apontado, então, o melhoramento genético da planta entra como fator-chave no processo de adaptação. Os programas de melhoramento, dessa forma, devem considerar os efeitos da mudança climática no desenvolvimento de novas variedades, que, além de mais performantes, devem suportar temperaturas mais elevadas e ser mais resistentes ao estresse hídrico.

3. O MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR

A cana-de-açúcar pertence à família *Poaceae* e ao gênero *Saccharum*, que abrange várias espécies. Porém, as canas atualmente cultivadas, na sua maioria, são híbridas. É uma planta perene e própria de climas tropicais e subtropicais. Nesses híbridos, procura-se aliar a rusticidade e resistência a moléstias às boas qualidades de riqueza em açúcar das variedades nobres de *S. Officinarum*. O centro de origem dessas espécies são as ilhas do Arquipélago da Polinésia, a Nova Guiné e a Índia. Os centros onde mais se encontram

diversidade de algumas espécies são Nova Guiné, para *S. Officinarum* e *S. Robustum*; China, para *S. Sinense*; e norte da Índia, para *S. Barberi* (FIGUEIREDO, 2010).

No Brasil, foram introduzidas as primeiras mudas de cana em 1502 trazidas da ilha da Madeira (CORRÊA, 1926 apud FIGUEIREDO, 2010). A cana-de-açúcar, encontrando características climáticas favoráveis e solos férteis, expandiu-se rapidamente pelo Nordeste do País (Bahia, Piauí, Alagoas, Paraíba) de tal maneira que 17 anos depois já existiam 23 engenhos em Pernambuco. Na década de 1580, o Brasil já havia conquistado o monopólio mundial de produção de açúcar e assegurado a Portugal a elevada lucratividade com esse mercado (FIGUEIREDO, 2010).

A importância do melhoramento genético, a partir de 1880, pode ser creditada ao advento de inúmeras doenças. Os cruzamentos realizados proporcionaram uma significativa alteração no ideótipo varietal. Desde o advento de hibridações manipuladas, o perfil varietal se distinguiu, oferecendo à indústria uma nova concepção de matéria-prima. Os programas de melhoramento genético, atentos às novas demandas da canavicultura, lançaram-se no exercício de construir os cenários de médio e longo prazo equivalentes ao seu ciclo de produção tecnológica. As cultivares desenvolvidas a partir de seleções regionais atendem às condições edafoclimáticas da região, promovendo ganhos significativos para nichos específicos de produção, para regiões antes relevadas a segundo plano pelo desenvolvimento tecnológico (LANDELL; BRESSIANI, 2010).

As primeiras tentativas de se obter variedades de canas comerciais foram realizadas em 1901, em Pernambuco; em 1918, no Rio de Janeiro; e em 1930, em Piracicaba, mas foram frustrantes. O sucesso do melhoramento genético da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo teve início em 1934, com a realização dos primeiros cruzamentos realizados por José Manoel Aguirre Junior, em Miracatu, litoral sul, depois, em Ubatuba, onde foi instalado o banco de germoplasma. Os trabalhos iniciais deram origem à variedade IAC36-25, ótima opção de cana forrageira, mas o ciclo das variedades brasileiras só se configurou propriamente a partir do fim da primeira metade do século XX, quando os programas de melhoramento genético da Copersucar e do Planalsucar começaram a liberar para cultivo as primeiras variedades de siglas SP e RB (FIGUEIREDO, 2010).

Os avanços alcançados pelos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil foram significativos, representaram um incremento de produtividade de cerca de 30% em 30 anos. Contudo, comparada a outras culturas, como a soja, a cana-de-açúcar apresentou um incremento modesto. Isso porque, no caso da cana, o melhoramento genético enfrenta obstáculos particulares.

Souza e Sluys (2010) afirmam que há limitações inerentes ao processo de melhoramento da cana relacionadas a fatores como: a) trata-se de uma variedade híbrida, onde a identificação das marcas genéticas de interesse é muito laboriosa e demorada, de modo que são necessários em torno de 15 anos para a obtenção e liberação de uma variedade comercial, sendo que a sobrevida desta variedade no campo é de aproximadamente 15 anos; b) dificuldades para obtenção e liberação de variedades produtivas e adaptadas a ambientes brasileiros diversos; e c) barreiras biológicas, como a reprodução sexuada, no caso das plantas, a floração e o equilíbrio celular, que garantem a sinalização correta entre as partes do organismo e o seu funcionamento como um todo.

Segundo os autores, as técnicas de transgenia podem ser uma alternativa viável em curto prazo. 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. Mas, eles ressaltam a necessidade de estimular a criação de mecanismos de interação entre o setor sucroalcooleiro por meio dos programas de melhoramento da cana-de-açúcar e de 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. Um melhor entendimento do crescimento da planta e do uso otimizado dos nutrientes (adubos) são necessários para desenvolver uma agricultura eficiente, ambientalmente adequada e sustentável.

Portanto, marcadores eficientes e o conhecimento do potencial genético associado aos cultivares são essenciais. A cana-de-açúcar apresenta um genoma complexo, que varia de cultivar para cultivar, por se tratar de um genoma híbrido e poliplóide. Em função dessas características, o acesso dirigido à diversidade alélica em bancos de germoplasma por meio do uso da genética tradicional se torna extremamente laborioso (SOUZA; SLUYS, 2010).

O sucesso de um programa de melhoramento depende de vários fatores, entre eles, se destacam a escolha adequada dos genitores, objetivando maximizar a chance de obter ganhos com a seleção; a instalação de experimentos com boa precisão; e a escolha correta dos caracteres e épocas de avaliação. Algumas características consideradas para a seleção são: teor de sólidos solúveis (BRIX); teor de sacarose; diâmetro e número de colmos; teor de fibras; resistência ao acamamento; e florescimento, precocidade, resistência a pragas e doenças (GAZAFFI et al., 2010).

Do ponto de vista das mudanças climáticas, o melhoramento genético tem um limite certo. 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”. Em vez de serem apenas tolerantes a herbicidas ou resistentes a insetos, como os transgênicos hoje existentes, eles seriam mais adaptados aos estresses ambientais. A 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 (ASSAD; PINTO, 2008).

Enfim, a adaptação da cana-de-açúcar depende da redução da sensibilidade da planta às mudanças climáticas, através do desenvolvimento de variedades que apresentam maior resistência ao calor e a seca, além de medidas de gestão cultural, como o manejo adequado do solo. Os centros brasileiros de melhoramento genético – os tradicionais (Centro de Tecnologia Canavieira, Instituto Agronômico de Campinas e RIDESA), responsáveis pelos maiores avanços na produtividade da cana-de-açúcar, ou os novos (Syngenta, Canavialis-Monsanto, EMBRAPA) – possuem papel central sobre a capacidade de adaptação da cultura.

4. OS PROGRAMAS DE MELHORAMENTO GENÉTICO DA CANA-DE-AÇÚCAR: BREVE HISTÓRICO¹

Historicamente, o surgimento dos principais institutos de pesquisa sobre cana-de-açúcar foi iniciado em 1887. Nesse ano, D. Pedro II criou, no interior da província de SP, o Instituto Agronômico de Campinas (IAC), o primeiro estabelecimento de pesquisas e desenvolvimento agrícola do País, com o objetivo de fomentar a agricultura em bases modernas. A produção do conhecimento científico priorizava as características físico-químicas do ambiente, sendo a análise química o principal recurso e, depois, o estudo da adaptação das espécies.

Em crise pelos danos da doença do mosaico, a classe canavieira apelava para a necessidade de substituição dos canaviais por variedades resistentes. Diante disso, a experimentação canavieira no estado foi reorganizada, com o Plano de Defesa da Cana-de-açúcar. Em 1930, foi oficializada a criação da Estação Experimental de Cana. Nesse período, foram realizados os primeiros experimentos para definir o comportamento de aclimação das variedades de procedência estrangeira, originárias de centros pioneiros na técnica de hibridação. Muitas inovações foram aplicadas na substituição das variedades

¹ Este item constitui-se em um resumo de Figueiredo (2010).

nobres cultivadas, contribuindo para o restabelecimento das lavouras paulistas arrasadas pela doença.

Em 1940, foi criada a seção de cana-de-açúcar do IAC, e iniciaram-se as pesquisas sobre o melhoramento genético da cana no litoral do Estado de São Paulo. Nessa linha, novas tecnologias foram disponibilizadas nas décadas seguintes, com o desenvolvimento de variedades com a sigla IAC. Outros projetos, como estudo dos solos, fertilidade, adubação e métodos de cultivo e produção, foram também desenvolvidos pelo IAC, gerando informações seguras e importantes para que as lavouras de cana aumentassem em terras paulistas. Em função disso, no início da década de 1950, o estado de São Paulo tornou-se o maior produtor de cana e de açúcar do País.

Enquanto a modernidade se multiplicava em países concorrentes do Brasil, como Austrália, África do Sul, Formosa e Filipinas, que se adiantavam implantando solidamente suas agroindústrias, a indústria canavieira no Brasil estava sendo relegada ao segundo plano, em virtude das constantes alterações na cotação do açúcar no mercado internacional e da atrofia da modernização industrial. Essas circunstâncias demandaram, na década de 1960, mudanças na direção do setor visando à modernização.

Uma das iniciativas foi a criação de um programa de melhoramento da cana-de-açúcar financiado pela agroindústria canavieira do Brasil, a COPERSUCAR, com o objetivo de gerar inovações significativas para as áreas agrícolas e para todo o sistema de produção. Simultaneamente, na área federal, o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), criado em 1933, estabeleceu o Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (Planalsucar) e o Programa de Racionalização da Agroindústria Açucareira.

A implementação do Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar – PLANALSUCAR, iniciado em 1966, teve como objetivo a elevação dos rendimentos da cultura canavieira. Na segunda metade da década de 60, para a agroindústria canavieira continuar a crescer, ela teria que aumentar suas exportações e, para isso, teria que torná-las mais competitivas no que se refere a custos e rendimentos (SZMRECSÁNYI, 1979).

Em 1969, foram criados o Laboratório Agroindustrial de Piracicaba e a Estação Experimental de Cana-de-Açúcar de Araras, ambos no Estado de São Paulo. Entre outros objetivos, a Estação de Araras deveria produzir novas variedades de cana-de-açúcar e o estudo de práticas culturais adequadas à lavoura canavieira. Simultaneamente, era aprovado um plano piloto de pesquisas com novas variedades obtidas em cruzamentos efetuados na Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Alagoas. A PLANALSUCAR foi institucionalizada em 1971 e, em 1972, passou a fazer parte do Plano Básico de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Governo Federal (SZMRECSÁNYI, 1979).

Na década de 70, o setor produtor de cana ganhou novo impulso científico com o PROALCOOL, que estimulou também o desenvolvimento das tecnologias para a produção de álcool anidro. No IAC uma nova fase começou no início da década de 1980, com o recuo do Proálcool. Houve reflexos negativos em todo o setor sucroalcooleiro, inclusive nos programas de melhoramento da Copersucar e do Planalsucar. A antiga seção de Cana do IAC foi transformada no Programa de Cana-de-açúcar do IAC e incorporada à Divisão de Estações Experimentais, inicialmente em Campinas, Ribeirão Preto e Jaú, depois, multiplicando-se por outras Estações Experimentais.

O ciclo das cultivares da Copersucar teve início na segunda metade da década de 1980, após o aparecimento da ferrugem da cana, em 1986. O PLANALSUCAR, extinto em 1990, teve seu patrimônio foi incorporado às universidades federais, em 1991, criando a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento Sucroalcooleiro (RIDESA). Em 1995, o aparecimento da síndrome do amarelinho foliar acometeu a principal cultivar da Copersucar, SP71-6163, e promoveu a sua substituição rápida, dando ocasião ao cultivo das cultivares do Programa RIDESA, que passaram a dominar as áreas de plantio comercial, com destaque para a cultivar RB72454. Em 2003, foi criado o programa de melhoramento genético da CanaVialis - atualmente, propriedade da multinacional Monsanto -, grupo privado com foco na viabilidade econômica sustentada pela política de *royalties* (LANDELL; BRESSIANI, 2010).

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) também tem investido na cultura de cana-de-açúcar. Há alguns anos, iniciou pesquisas em diversas linhas de desenvolvimento da cultura e também em transgenia. Seu programa é o mais recente do País. A multinacional Syngenta e a Monsanto, através da compra da Canvialis, também estão ampliando suas atividades de pesquisa em cana-de-açúcar no Brasil, e prometem um grande desenvolvimento de seus programas de melhoramento nos próximos anos.

5. METODOLOGIA

Este artigo apresenta os resultados preliminares do projeto "Pesquisa e Desenvolvimento em Produção de Álcool e Mudanças Climáticas Globais", que está integrado ao temático "Geração de Cenários de Produção de Álcool como Apoio para a Formulação de Políticas Públicas de Adaptação do Setor Sucroalcooleiro Nacional às Mudanças Climáticas", que faz parte do Programa Mudanças Climáticas da FAPESP e, portanto, é financiado por ela.

Inicialmente, este trabalho contemplou uma revisão de literatura teórica que envolveu referências relacionadas ao desenvolvimento tecnológico atual; à literatura agrônômica sobre a cana-de-açúcar e melhoramento genético de plantas e, também, à discussão sobre mudanças climáticas globais. Essa discussão apóia-se na literatura que trata dos resultados do Intergovernmental Panel on Climatic Change (IPCC, 2007), promovido pela United Nations Environment Programme (UNEP) e o World Meteorological Organization (WMO), onde também se apóia o Programa Mudanças Climáticas da FAPESP.

Concomitantemente, foi feito um estudo do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar e a identificação dos programas de melhoramento genético de variedades da cultura. No Brasil, os principais programas são a RIDESA, CTC e IAC, com 99% das variedades plantadas de cana-de-açúcar nos últimos anos. A Embrapa destacou-se, pois, embora incipiente no melhoramento de cana, possui um papel crucial no melhoramento de outras culturas (como soja e milho) e está se despontando nas pesquisas com cana-de-açúcar bem como atuando de maneira importante em pesquisas voltadas às mudanças climáticas globais.

Nesse momento da pesquisa, também foram utilizadas informações secundárias de *sites* oficiais do governo como do Ministério da Agricultura, da Companhia Nacional de Abastecimento, de entidades de classe como a União da Indústria de Cana-de-açúcar (única) e a União dos Produtores de Bioenergia (Udop), e os *sites* das instituições que agregam os programas de melhoramento selecionados para a pesquisa.

Identificadas as instituições cujos programas seriam analisados, foi construído um questionário com perguntas qualitativas com o objetivo de identificar as prioridades atuais destes programas no desenvolvimento de variedades, a estrutura física e as tecnologias em uso, bem como levantar os problemas e obstáculos enfrentados atualmente. E, com um destaque importante, fazer uma primeira avaliação das condições destes programas desenvolverem variedades voltadas para a adaptação da cana às mudanças climáticas globais.

A seleção dos entrevistados privilegiou os coordenadores dos programas de melhoramento genético que, no caso da RIDESA e IAC, também são melhoristas. No caso do CTC, devido ao perfil privado ao qual a instituição está se configurando, o contato inicial para a primeira entrevista foi feito na área comercial, com o gerente de desenvolvimento de produtos, e uma segunda entrevista foi realizada com a gerente da área de biotecnologia. Na Embrapa, dada a ramificação das unidades e ao fato de várias delas atuarem em pesquisas relacionadas à cana-de-açúcar, foram entrevistados dois

pesquisadores da unidade de Campinas que trabalharam recentemente em projetos relacionados à cultura.

Assim, os resultados apresentados abaixo refletem informações da mídia impressa, de artigos científicos, dos catálogos de variedades e das *homepages* dos programas de melhoramento visitados. Até o momento, o Centro de Cana do IAC, os programas da Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR, Unidade de Araras, e da Universidade Federal do Paraná – UFPR, que fazem parte da RIDESA foram visitados. Uma entrevista *via skype* foi realizada com o coordenador da Universidade Federal de Viçosa – UFV, também integrante da RIDESA. O CTC também foi visitado, e entrevistas foram realizadas com os gerentes das áreas de desenvolvimento de produtos e de biotecnologia, bem como foram entrevistados os dois pesquisadores da EMBRAPA (Campinas) que possuem atuação em projetos relacionados a cana-de-açúcar.

6. PROGRAMAS DE MELHORAMENTO GENÉTICO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL: ESPECIFICIDADES E CARACTERIZAÇÃO ATUAL

6.1. Instituto Agrônomo de Campinas (IAC)

O Centro Avançado da Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana é originário do Programa Cana do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), que tinha a característica de ser descentralizado, sem sede própria, com seus pesquisadores lotados nas Estações Experimentais de Piracicaba, Ribeirão Preto, e Jaú, recentemente transformados em Polos de Desenvolvimento Regionais.

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, entomologia, pedologia, fertilidade, adubação, climatologia, matologia etc. são coordenados de forma consensual e participativa, numa visão bastante moderna, semelhante ao programa Genoma, ora adotado pela FAPESP. Nesse modelo, a programação é definida em conjunto e a disciplina de trabalho faz com que seus pesquisadores estejam sempre em contato, mesmo não trabalhando no mesmo local sede (HASEGAWA, 2001; 2005).

O IAC foi o precursor da pesquisa agrícola no Brasil. A princípio, o melhoramento genético priorizava o estudo de genótipos introduzidos de outros países, como Índia (sigla Co), Java (sigla POJ) e Estados Unidos (sigla CP). No final da década de 1930, os resultados experimentais indicavam a variedade Co290 como de superior

potencial agroindustrial quando comparada às POJs e CPs. Nas décadas de 1940 e 1950, foram avaliados os primeiros genótipos desenvolvidos em Campos e Piracicaba, que resultaram nas primeiras variedades criadas no Brasil: CB41-76, CB45-3, CB40-69, juntamente com as variedades IAC48-65, IAC50-134, IAC51-205 e IAC52-150. A partir dessa época, outros estudos também foram desenvolvidos, como adubação, calagem, época de plantio, espaçamento, aplicação de vinhaça etc. (DINARDO-MIRANDA et al., 2010).

Esse processo foi acompanhado pelo desenvolvimento da agroindústria canavieira no Centro-Sul do Brasil. Na década de 1960, dois pesquisadores do Instituto Agrônomo de Campinas contribuíram na formação dos programas de melhoramento genético do Planalsucar, atual RIDESA e Copersucar, hoje, CTC. Na década de 1970, 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 (DINARDO-MIRANDA et al., 2010).

Na década de 1980, aproveitando o posicionamento geográfico das Estações Experimentais de Piracicaba, Jaú, Ribeirão Preto, Mococa, Pindorama e Assis, o IAC deu início ao projeto de criação de variedades regionais. No final da década de 1990, a Seção de Cana-de-açúcar foi eliminada e foi criado o Programa de Cana-de-açúcar-IAC (PROCANA), que incorporou todos os pesquisadores e especialistas em cana-de-açúcar sediados nas seis Estações Experimentais onde as pesquisas eram conduzidas. Em consequência dessa nova postura de atuação descentralizada, ampliou-se rapidamente a interface institucional com o setor sucroalcooleiro. Em 1992, surgiu o Grupo Fitotécnico de Cana-de-açúcar, em Ribeirão Preto, 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, além de aglutinar as principais lideranças técnicas do setor, funciona como um prospectador de demandas determinantes no aprimoramento de linhas de pesquisas científicas.

Novos Projetos foram agregados ao PROCANA, tais como o Ambicana e o Rhizocana, os quais têm como primícias o estudo da relação cana-ambiente e cana-raíz-ambiente, respectivamente. O Centro Avançado da Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de Cana-de-açúcar, originário do Programa Cana do IAC, teve sua implantação oficial em março de 2005. É uma organização em forma de rede que engloba sete Estações

Experimentais do IAC (atualmente, denominados Polos de Desenvolvimento), empresas conveniadas, associações de produtores e cooperativas de fornecedores de cana, universidades (UNESP, UNICAMP, USP), institutos de pesquisa do Estado de São Paulo e a EMBRAPA. Todos dispersos em diversas linhas de atividades e locais, mas trabalhando juntos em várias etapas do programa. Para uma melhor gestão da pesquisa, o programa foi dividido em vários projetos de conhecimento em melhoramento genético, bioclimatologia, ciências do solo, economia, estatística, engenharia agrícola, fertilidade e nutrição de plantas, fitotecnia e fitossanidade. Essa organização representa uma das maiores redes de desenvolvimento e caracterização de novas variedades de cana-de-açúcar do mundo.

Na área de Melhoramento, estabeleceu-se a estratégia de seleção regional e, assim, foram introduzidas populações com ampla variabilidade para proporcionar ocasião à adaptação de indivíduos superiores nas principais regiões canavieiras do Estado de São Paulo. Atualmente, além de trabalhos com biologia molecular, tem-se como apoio importante o trabalho de qualificação de ambientes de produção que gera uma informação essencial para aplicação de conceitos de manejo varietal e, portanto, para adoção de tecnologias geradas nessa área de melhoramento.

O IAC, atualmente, desenvolve experimentos no Cerrado brasileiro, com variedades resistentes ao estresse hídrico, altas temperaturas e solos menos férteis. Aliado a isso, aplica uma matriz de ambientes que orienta os produtores a cruzarem informações de solos e clima com o tempo de corte da variedade e, via pequenos ajustes de época de plantio e colheita, de modo a atingir maior produtividade das variedades.

O programa do IAC, através da aprovação de um projeto de modernização e ampliação da infraestrutura de pesquisa pela FAPESP, conseguiu melhorar as instalações e ampliar, relativamente, as pesquisas. Contudo, ainda enfrenta problemas relacionados a falta de pessoal e necessidade de novos equipamentos para uma maior expansão que, por exemplo, seja capaz de responder à demanda imposta pelas mudanças climáticas.

Os cenários climáticos, então, não têm sido tratados diretamente no desenvolvimento das variedades, mas acabam sendo considerados quando o programa busca resolver os problemas de produtores localizados em áreas com piores condições edafoclimáticas, podendo auxiliar numa adaptação da cultura futuramente.

6.2. Centro de Tecnologia Canavieira (CTC)

Desde 1969, o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) tem se destacado no desenvolvimento de tecnologias que permitiram a evolução da produção e do processamento da cana-de-açúcar no Brasil. Em Piracicaba, São Paulo, estão sua sede, seus principais laboratórios e 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. 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 CTC também desenvolve outros 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 da formação 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.

Inicialmente, com foco no estado de São Paulo, 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. Uma das vantagens do programa de melhoramento do CTC reside no seu banco de germoplasma, base para a realização de novos cruzamentos. Esse banco de matrizes de cana-de-açúcar, com mais de cinco mil tipos distintos, é o maior e mais completo do mundo em sua categoria.

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 (ferrugem marrom, ferrugem alaranjada e carvão), bactérias fitopatogênicas (escaldadura e raquitismo) e vírus (doença de Fiji, amarelinho e mosaico).

Em 2007, o CTC iniciou o desenvolvimento do processo para obtenção do etanol a partir da biomassa da cana-de-açúcar (bagaço e palha). 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, a Unidade de Desenvolvimento de Processo (PDU) realiza a simulação das operações e o aperfeiçoamento do processo, prevendo como continuidade de implantação a instalação de uma Planta de Demonstração.

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, com as denominações de CTC1 até CTC20.

Como os benefícios das novas variedades disponibilizadas são absorvidos pelo setor à medida que substituem as variedades menos produtivas, para acelerar o processo convencional de propagação vegetal, que exige vários anos, o CTC realiza a produção de mudas de meristema, através de material genético sadio, rapidamente multiplicado em um ambiente controlado. Isso permite uma taxa de multiplicação 10 vezes maior que a taxa convencional. Além de facilitar o processo de expansão dos canaviais comerciais e a rápida ocupação das novas fronteiras, essa biofábrica apoia o programa de melhoramento varietal acelerando a clonagem das canas mais promissoras. Em 2009, foi inaugurada uma nova biofábrica, com capacidade de produção de 1 milhão de plantas por mês.

O CTC oferece serviços de orientação ao produtor no planejamento e manejo do seu berçário de mudas, acompanhando e monitorando o desenvolvimento de todas as atividades necessárias, e disponibiliza um sistema pela internet para controlar todas as etapas da sua execução. Também presta serviços para a análise de solos e do ambiente climático da região, indicando quais as melhores variedades para aquelas condições agrícolas.

Em 1994, o Centro realizou a primeira transformação genética em cana-de-açúcar no País, gerando uma variedade resistente a herbicidas. Em 2007, 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 a empresas privadas multinacionais (como Basf, Dow e Bayer) e a universidades (como UFRJ e UFPE) com experiência em genética vegetal, para desenvolver variedades que acumulem mais açúcar, que tolerem o estresse hídrico, que sejam resistentes a pragas, entre outros fatores.

Em dezembro de 2012, o CTC anunciou uma reestruturação em seu programa de melhoramento. O melhoramento acelerado, que conta com um elevado grau de regionalização das variedades. O novo programa objetiva reduzir pela metade o tempo de desenvolvimento de uma variedade de 15 para 8 anos, e também os seus custos, estimando uma redução de R\$150 milhões para R\$75 milhões. Dentro dessa nova proposta, lançou a série 9000 de variedades específicas para o Cerrado, mais resistentes ao estresse hídrico, adequadas aos solos menos férteis e adaptadas à mecanização.

Assim, no programa de melhoramento genético do CTC, a questão mudança climática também não é tratada diretamente no desenvolvimento das variedades, mas

tem sido considerada, indiretamente, devido à forte preocupação do programa com as regiões que apresentam piores condições edafoclimáticas. Para o longo prazo, não há linhas de pesquisas especificamente direcionadas a adaptação da cultura para as alterações do clima, mas o programa tem investido no desenvolvimento de variedades transgênicas com características que devem contribuir para essa adaptação.

6.3. Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA)

A RIDESA é formada por universidades federais e foi criada com a finalidade de incorporar as atividades do extinto Planalsucar, para dar continuidade ao desenvolvimento de pesquisas visando à melhoria da produtividade do setor. Foi instituída por meio de um convênio firmado entre sete universidades federais (UFPR, UFSCar, UFV, UFRRJ, UFS, UFAL e UFRPE) localizadas nas áreas de atuação das coordenadorias do ex-PLANALSUCAR.

Com o apoio de parte significativa do setor sucroalcooleiro, por meio de convênio, a RIDESA começou a desempenhar suas funções em 1991. Em 2007, tinha como base para o desenvolvimento da pesquisa 31 estações experimentais, localizadas nos Estados onde a cultura da cana-de-açúcar apresentava maior expressão. Atualmente, é composta por dez Universidades Federais de Ensino Superior (Institutos Federais de Ensino Superior - IFES), nas quais atuam 246 profissionais. (RIDESA, 2010)

A rede conta ainda com 72 bases de pesquisas, englobando estações de cruzamento, estações experimentais, centros de pesquisas e subestações de seleção, estas conduzidas em parceria com o setor sucroalcooleiro. A RIDESA possui 300 empresas conveniadas, representando em torno de 95% das empresas atuantes no setor sucroalcooleiro (RIDESA, 2010).

No que se refere ao desenvolvimento de técnicas de biotecnologia, 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 nas IFES que buscam a obtenção de variedades melhoradas pela transgenia. Estudos sobre simbioses com bactérias estão sendo desenvolvidos para que as novas variedades transgênicas apresentem menor exigência em adubos minerais, principalmente os nitrogenados, assim como a obtenção de variedades transgênicas com maior tolerância ao estresse hídrico. Estudos com regulação do florescimento e variedades tolerantes a pragas e doenças via transformação genética também 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 (34 km de distância geográfica do litoral e área total de 32 hectares). Com gestão da Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, até o momento, foram liberadas 78 variedades RB. Atualmente, o banco de germoplasma da Serra do Ouro é composto por 2.607 genótipos, provenientes de programas nacionais e internacionais (RIDESA, 2010).

A Estação de Floração e Cruzamento de Devaneio tem como objetivo complementar as pesquisas da RIDESA para obtenção de variedades RB. Essa base de pesquisa teve sua origem em 2007 e, no mesmo ano, foi feita a introdução de genótipos para a formação do banco de germoplasma, complementar ao de Serra do Ouro. O banco de germoplasma da Estação de Floração e Cruzamento de Devaneio é composto por 814 genótipos, provenientes de programas nacionais e internacionais (RIDESA, 2010).

Os cruzamentos para a obtenção dos novos clones são realizados em uma área da Universidade Federal de Alagoas. As sementes obtidas são germinadas nas Universidades e, por fim, são levadas para as usinas. Além de obtenção de novas variedades, o grupo realiza orientação técnica junto às empresas conveniadas.

A RIDESA, em março de 2011, apresentou 13 novas variedades RB produzidas nas dez universidades federais que formam a rede. Das 13 espécies que foram liberadas, cinco são de propriedade da Universidade Federal de Alagoas, sendo que duas delas, mais rústicas, são tolerantes a estresses hídricos (RIDESA, 2010). A RIDESA, em 20 anos, desenvolveu 59 variedades de cana-de-açúcar, que, somadas às 19 produzidas pelo Planalsucar, correspondem a aproximadamente 58% da área de cana plantada no País.

O desenvolvimento das variedades de cana-de-açúcar, na RIDESA, tem focado as necessidades consideradas mais urgentes, como o plantio e a colheita mecanizados, o controle de pragas e a redução de custos com aumento da produtividade. A questão climática é vista como um elemento que fará parte da evolução natural do processo de seleção, sem a necessidade de fortalecimento das pesquisas nessa área. Dificuldades financeiras para contratação de pessoal e modernização dos equipamentos nos laboratórios também destacam-se como barreiras ao desenvolvimento das pesquisas nessa linha.

Atualmente, os programas das IFES nordestinas que compõem a RIDESA têm realizado um esforço grande no desenvolvimento de variedades resistentes à seca e às altas temperaturas. Os efeitos do clima na região do Nordeste têm sido intensos e causado impactos significativos na produção de cana-de-açúcar. O foco nessas variedades

representa a necessidade urgente de novas variedades de cana-de-açúcar que sejam mais produtivas por hectare, pois a expansão em área, nesse caso, também está limitada pela escassez de água. Assim, esse esforço poderá contribuir para promover a adaptação da cultura em outras regiões do país, no futuro.

6.4. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) foi criada em 1972 com o objetivo de dar suporte ao desenvolvimento agrícola do País. A EMBRAPA está diretamente ligada ao Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). No final de 1973, uma portaria do Executivo encerrou a existência do Departamento Nacional de Pesquisa e Experimentação (DNPEA) que coordenava todos os órgãos de pesquisa existentes até então. Com isso, a EMBRAPA herdou a estrutura do DNPEA, composta de 92 bases físicas: 9 sedes dos institutos regionais, 70 estações experimentais, 11 imóveis e 2 centros nacionais. A partir daí, a EMBRAPA começou a sua fase operativa, passando a administrar 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. Ela está presente em quase todos os Estados da Federação e, conseqüentemente, nos mais diferentes biomas brasileiros. Possui 9.660 empregados e teve um orçamento, em 2011, de R\$ 1 bilhão e 829 mil. Coordena o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA), constituído por instituições públicas federais, estaduais, universidades, empresas privadas e fundações, que, de forma cooperada, executam pesquisas nas diferentes áreas geográficas e campos do conhecimento científico.

Em maio de 2011, anunciou a obtenção de plantas transgênicas de cana-de-açúcar. A EMBRAPA Agroenergia (Brasília/DF) obteve as primeiras plantas transgênicas de cana-de-açúcar tolerantes à seca com o gene DREB2A. As plantas selecionadas em laboratório foram multiplicadas *in vitro* e encontram-se em processo de avaliação. A proposta de desenvolver cultivares comerciais de cana-de-açúcar com maior tolerância à seca visa potencializar o setor sucroalcooleiro nas áreas tradicionais e de expansão da cultura. De forma geral, as áreas de expansão têm como características solos com baixa fertilidade, altas temperaturas e baixa precipitação pluviométrica.

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. A instituição reconhece a

necessidade de aprofundar e desenvolver pesquisas de base para atualização do conhecimento sobre a cultura da cana-de-açúcar e para dar suporte à adaptação aos novos desafios que têm sido colocados.

Mais atenta à questão climática, a EMBRAPA Agroenergia busca, com a pesquisa, minimizar os impactos causados por tal fenômeno. Nos últimos dois anos, realizou parceria com a RIDESA para o desenvolvimento tecnológico do setor sucroalcooleiro, em particular, nas áreas de ciência e tecnologia agrícola e industrial, e com a Unicamp para a constituição da Unidade Mista de Pesquisa em Genômica Aplicada a Mudanças Climáticas (Umip GenClima), voltada para a geração de tecnologias genéticas e biotecnológicas para o desenvolvimento de plantas melhor adaptadas às mudanças climáticas, entre elas, a cana-de-açúcar.

A Embrapa configura-se como um elo importante da pesquisa genética de cana-de-açúcar por reconhecer a questão climática como um perigo iminente e estar atuando em linhas de pesquisas especificamente voltadas ao assunto. Assim, pode ser considerada uma instituição crucial para a promoção da adaptação da cana-de-açúcar às alterações climáticas no futuro.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no apresentado, é possível verificar que os principais programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar no Brasil possuem capacitação tecnológica para responder aos desafios colocados ao setor, tanto no que se relaciona às novas exigências legislativas (como a mecanização do plantio e da colheita) quanto às dificuldades impostas pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas. Contudo, os programas possuem limitações importantes que os tornam refém do imediato, sem condições para desenvolver uma linha de pesquisa de longo prazo, focada exclusivamente na adaptação da cultura às mudanças do clima.

No caso da RIDESA, o desenvolvimento das variedades de cana-de-açúcar tem focado em necessidades consideradas mais urgentes, como o plantio e a colheita mecanizados, o controle de pragas e a redução de custos com aumento da produtividade. A questão climática é vista como um elemento que fará parte da evolução natural do processo de seleção, sem a necessidade de fortalecimento das pesquisas direcionadas, exclusivamente, para o desenvolvimento de variedades adequadas aos cenários climáticos em discussão. Dificuldades financeiras para contratação de pessoal e

modernização dos equipamentos nos laboratórios também foram apontadas como barreiras ao desenvolvimento das pesquisas.

O IAC tem trabalhado a questão climática de forma indireta, buscando atender às necessidades de produtores na região Centro-Oeste com pesquisas de solo e desenvolvimento de ferramentas que tornam a gestão do canavial mais eficiente. O programa, através da aprovação de um projeto de modernização e ampliação da infraestrutura de pesquisa pela FAPESP, conseguiu melhorar as instalações e ampliar, relativamente, o programa, mas ainda enfrenta problemas de falta de pessoal e necessidade de novos equipamentos para fortalecer as pesquisas na linha de mudanças climáticas.

O CTC tem investido no melhoramento convencional e na biotecnologia, focando em variedades voltadas para as regiões do Cerrado no primeiro caso, e em variedades resistentes à seca, no segundo. Com estas iniciativas, embora também de maneira indireta, está trilhando um caminho importante para auxiliar na adaptação da cana-de-açúcar às mudanças climáticas globais. A série 9000 de variedades para o Cerrado promete suprir parte das necessidades que a região possui e também uma carência do setor no acesso a variedades mais rústicas. O CTC tem buscado nas instituições de fomento convencionais, como a FINEP, recursos para a ampliação e a modernização de seus laboratórios. E, atualmente, tem investido na biotecnologia tanto quanto no melhoramento convencional, podendo lançar a primeira variedade transgênica daqui a quatro anos.

A EMBRAPA, possivelmente, é a instituição que mais tem realizado pesquisas diretamente relacionadas às mudanças climáticas. A instituição tem promovido parcerias importantes com universidades na busca por ampliar os esforços de pesquisa na área, atuando para promover o desenvolvimento de variedades, convencionais e/ou transgênicas, capazes de responder às mudanças do clima. Não possui a mesma expertise em cana-de-açúcar que os outros programas possuem, mas as parcerias realizadas, certamente, sanam suas dificuldades na área.

A partir do mapeamento realizado, foi possível perceber que há condições tecnológicas e capacitação nos programas de melhoramento para promover a adaptação da cana-de-açúcar às mudanças climáticas, contudo, limitações importantes a este processo foram observadas:

- a) longo tempo de colocação da variedade no mercado: entre 12 e 15 anos. A urgência de colocação de variedades no mercado, além da questão climática, perpassa também pelo alto nível de concentração dos canaviais em um número

pequeno de variedades (três delas representam 40% da área plantada atualmente), aumentando a vulnerabilidade do setor ao clima e às pragas. A nova proposta de melhoramento acelerado do CTC será um grande passo nesse sentido;

- b) dificuldades estruturais, como a falta de recursos para contratação de pessoal qualificado e compra de equipamentos mais modernos, o que foi observado principalmente nos casos da RIDESA e do IAC;
- c) grande dificuldade dos programas em quebrar barreiras de conservadorismo dos produtores na utilização de novas ferramentas de gestão do canavial e na substituição de variedades defasadas pelas novas tecnologias disponíveis, seja pelo custo financeiro, seja pelo risco da mudança, em função do não convencimento do produtor dos benefícios superiores gerados. Isso se reflete na necessidade de acelerar a taxa de substituição das variedades antigas pelas novas, promovendo-as através da demonstração de sua superioridade em termos de produtividade;
- d) dificuldade em transmissão de informação, o que envolve a necessidade de transmitir a discussão sobre as mudanças climáticas ao setor e aos produtores, principalmente numa linguagem universal. Os entrevistados não demonstraram conhecimento sobre os cenários climáticos apresentados pelo IPCC (2007) ou daqueles construídos para o Brasil. Atualmente, essa discussão ainda está por demais restrita ao meio acadêmico²;
- e) necessidade de investimento direto do setor público, estadual ou federal no desenvolvimento tecnológico do setor. Os programas, principalmente da RIDESA e do IAC, com limitados recursos financeiros, dão total atenção às necessidades imediatas dos produtores associados, financiadores do programa, e não conseguem direcionar recursos para o desenvolvimento de variedades adaptadas às mudanças climáticas;
- f) dificuldades impostas pela própria planta da cana-de-açúcar, por possuir uma estrutura biológica complexa, o que ressalta a importância da pesquisa básica de suporte aos programas de melhoramento genético. Programas como o Genoma-Cana e o Bioen são cruciais nesse sentido. Apesar dos avanços atingidos, ainda há muito trabalho para que seja concluído o mapeamento genético dessa cultura.

² Chaliner (2009, p. 457) demonstra a importância da troca de informações entre os interessados para que as ações de adaptação sejam mais relevantes e certas e sua aplicação tenha maior sucesso.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP, financiadora desse projeto, e aos pesquisadores e melhoristas do IAC, do CTC, da EMBRAPA e da RIDESA (UFSCAR-ARARAS, UFP e UFV), que têm colaborado e nos atendido prontamente. Agradecemos, ainda, aos avaliadores, pelos comentários e sugestões que contribuíram para melhorar este artigo.

REFERÊNCIAS

- ASSAD, E.; PINTO, H. S. Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil In: DECONTO, J. G. (Coord.). **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. São Paulo: Embrapa: Unicamp, 2008. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/climaeagricultura/download.html>>. Acesso em: 30 out. 2011.
- CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.
- CHALLINOR, A. Towards the development of adaptation options using climate and crop yield forecasting at seasonal to multi-decadal timescales. **Environmental Science & Policy**, n. 12, p. 453-465, 2009.
- DINARDO-MIRANDA, L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. A. (Org.). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010.
- FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônômico de Campinas no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. A. (Org.). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010. p. 31-44.
- GAZAFFI, R. et al. 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. 333-344.
- HASEGAWA, M. **A criação, circulação e transformação do conhecimento em redes de inovação: o programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar do IAC**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Unicamp, Campinas, 2001.
- HASEGAWA, M. **Avaliação das capacitações dos spinoffs gerados por programas de P&D: o programa cana do IAC**. 2005. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Unicamp: Campinas, 2005.
- IPCC. **Climate change: synthesis report 2007**. Geneva, 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html>. Acesso em: 28 nov. 2011.
- LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, J. A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. A. (Org.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2010. p.101-156.
- MARGULIS, S.; DUBEUX, C. B. S. (Org.). **Economia da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades**. São Paulo: IBEP, 2010.
- MEIRA FILHO, L. G.; MACEDO, I. C. Contribuição do etanol para a mudança do clima. In: SOUZA; L. Leão de; MACEDO, I. C. (Org.). **Etanol e bioeletricidade: a cana-de-açúcar no futuro**

da matriz energética. São Paulo: Luc Projetos de Comunicação, 2010. p. 77-97. UNICA, Projeto Agora.

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.

SOUZA, G. M.; 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. 325-332.

SZMRECSÁNYI, T. **O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil (1930-1975)**. São Paulo: Hucitec, 1979. Cap. 3, p. 153-330.

ZULLO JÚNIOR et al. 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. 195-202.

Silvia Angélica Domingues de Carvalho

Graduação em Economia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1999), mestrado em Política Científica e Tecnológica pela Universidade Estadual de Campinas (2002) e doutorado em Política Científica e Tecnológica pela Universidade Estadual de Campinas (2008). Pesquisadora colaboradora do Departamento de Política Científica e Tecnológica da Universidade Estadual de Campinas (DPCT/UNICAMP), onde faz pós-doutorado.

André Tosi Furtado

Doutorado em Ciências Econômicas pela Université de Paris I (Pantheon-Sorbonne, 1983). Professor Titular do Programa de Pós-Graduação em Política Científica e Tecnológica da Universidade Estadual de Campinas (DPCT/UNICAMP).