

Manejo varietal na produção da cana-de-açúcar

Guilherme Rossi Machado Júnior | Arnaldo José Raizer | José Antonio Bressiani |
Ricardo Augusto de Oliveira | Fábio Cesar da Silva | Marcos Guimarães de Andrade Landell
| Fernando José Freire | Mauro Violante

Introdução

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes como fonte de alimento e energia, seu cultivo ocorre em regiões tropicais e subtropicais, envolvendo mais de 100 países, com significativa importância social e econômica. É uma planta de metabolismo fotossintético C4, com elevada taxa fotossintética, sendo a cultura mais eficiente na conversão de energia radiante em energia química (Tew; Cobill, 2008).

Como produtos provenientes dessa matéria-prima, podem ser citados: açúcar, etanol, melão, eletricidade, aguardente, bagaço, levedura, torta de filtro, vinhaça, composto fertilizante, gás carbônico, ácido cítrico, lisina, briquetes, aglomerados MDF, biogás e biometano oriundos da vinhaça, etanol, bioquímicos e nanocelulose oriundos do bagaço e da palhada residual, entre outros.

O cultivo da cana-de-açúcar tem 500 anos de história no Brasil. Portugal aproveitou esse enorme território e transformou-o em uma colônia agroindustrial do açúcar. Com grande retorno econômico nos dois primeiros séculos da colonização, o açúcar brasileiro deu mais divisas ao reino do que o ouro, numa época em que este mercado figurava como o mais importante das trocas marítimas internacionais (Instituto do Açúcar e do Alcool, 1972). A cana-de-açúcar é de grande importância para o Brasil, que é o maior produtor mundial dessa matéria-prima, e dos produtos açúcar, etanol e eletricidade. O País é também o maior exportador de açúcar e

etanol. O setor canavieiro brasileiro, baseado na biomassa da cana-de-açúcar, tem papel fundamental para o País (Bioetanol..., 2008; Empresa de Pesquisa Energética, 2012).

É bastante antiga a busca por formas varietais que apresentem maior teor de sacarose, destacando-se nessa contribuição a espécie *Saccharum officinarum*, que, até o início do século XX, era responsável por grande parte da matéria-prima mundial. No Brasil, cultivares como a Creoula, Bourbon, Caledonia e Cheri-bon, entre outras, foram cultivadas até o início do século XX (Figueiredo, 2008).

Os primeiros três séculos de cultivo da cana-de-açúcar no Brasil ficaram conhecidos como “Ciclo da Creola” (Creoula, Crioula ou Mirim) pelo grande predomínio dessa variedade. Posteriormente ela foi substituída pela Caiana, que era mais rica em açúcar e mais produtiva (Miocque; Machado Júnior, 1977). Outras variedades foram introduzidas, como a Roxa, Salangor, Lou-sier e Cavangirie, que foram eliminadas por uma epidemia de “mosaico” na década de 1920. Esse episódio permitiu a introdução de variedades orientais (POJ), com destaque especial para POJ 36, POJ 213, POJ 2878 e POJ 2714, bem como para as importadas de Coimbatore (Índia), destacando-se a Co 281, Co 290, Co 331, Co 413, Co 419 e Co 421. A ocorrência de uma nova epidemia, dessa vez de carvão, tornou o cultivo dessas variedades praticamente inviável.

Em razão dessas inúmeras doenças, assumiu grande importância o melhoramento genético,

a partir de 1880. Para esse fim, utilizou-se dos cruzamentos interespecíficos, envolvendo espécies como *Saccharum officinarum*, *S. spontaneum*, *S. robustum*, *S. barberi* e *S. sinense*. Esse caminho proporcionou uma significativa alteração no perfil varietal (Brandes, 1956; Daniels; Roach, 1987).

Os programas de melhoramento gradualmente se empenharam na busca de novas plantas, antes sem capacidade de perfilhamento, que passaram a apresentar, a partir de então, não apenas essa característica, como também grande habilidade de brotação após seu corte. Colmos que apresentavam diâmetros grandes e baixíssimo teor de fibra passaram a ter diâmetros menores, com valores médios a altos de fibra. Com as hibridações manipuladas, o perfil varietal se distinguiu significativamente, oferecendo à indústria uma nova concepção de matéria-prima, principalmente para uma cultura que passou a ser intensamente mecanizada e cultivada em diversos e mais restritivos ambientes de produção.

O objetivo principal dos programas de melhoramento de cana-de-açúcar é prover novas cultivares que ampliem a produtividade de energia (açúcar, álcool, bagaço e resíduos vegetais). Novos clones são desenvolvidos a partir de hibridações direcionadas, seleções regionais e testes de sanidade, atendendo a objetivos econômicos e às condições edafoclimáticas da região, promovendo ganhos significativos, como novas cultivares para nichos específicos de produção. No Brasil, essa estratégia tem sido uma corrente prevalecente nos últimos anos, permitindo a expansão agrícola da cana-de-açúcar e gerando ganhos importantes para regiões antes relevadas a segundo plano pelo desenvolvimento tecnológico.

Destaca-se o grande potencial da cana-de-açúcar como fonte de matéria-prima principal (açúcares presentes nas fibras, do bagaço e resíduos vegetais) para a indústria de renováveis de se-

gunda e terceira geração (etanol, bioquímicos e nanocelulose). De importância energética estratégica, e crescente utilização também, tem-se o emprego do bagaço e, mais recentemente, dos resíduos vegetais para a produção de energia elétrica (Souza et al., 2013).

Histórico

A cana-de-açúcar é originária do sudeste da Ásia, especificamente, há uma hipótese de que seja da região de Assam e Bengala, que tem, entre outras justificativas, a do apoio linguístico e etnográfico. Bengala em épocas remotas era conhecida por Gaura, cuja capital era Gur, palavra que significa “cidade do açúcar” (Lippman, 1942). Aranha e Yahn (1987) esclarecem que a cana-de-açúcar era muito difundida na Índia Ocidental, devendo, portanto, originar-se de alguma espécie nativa daquela região. Já por volta dos anos 327 a.C., era uma cultura importante naquele país, tendo sido introduzida no Egito por volta de 641 de nossa era e em 755 na Espanha. Por sua vez, relata-se que era uma planta cultivada por horticultores neolíticos em Nova Guiné, sendo posteriormente difundida para a Índia (Fauconnier, 1991).

A origem proposta para *S. officinarum* a partir de acessos de *S. robustum* — selecionados para colmos mais grossos, com maior teor de sacarose e baixo teor de fibra, após domesticação em Nova Guiné — é aceita pela maioria dos melhoristas de cana-de-açúcar (Daniels; Roach, 1987).

Partindo da Nova Guiné, os acessos de *S. officinarum* se espalharam pela Indonésia, China, Índia, Micronésia e Polinésia, durante os tempos pré-históricos. Um oficial de Alexandre, o Grande, foi o primeiro a mencionar a presença da cana-de-açúcar na Índia em 325 a.C. Sua distribuição da Polinésia para o Havaí aconteceu entre 500 e 1.000 d.C. e da Indonésia para o sul da Arábia e leste da África provavelmente antes

de 500 d.C. Os melhoristas holandeses em Java chamaram os *S. officinarum* de canas nobres (Fauconnier; Bassereau, 1975).

Os ancestrais de *S. sinense* cultivados na China e na Índia foram utilizados para a produção de melaço e açúcar, enquanto, no norte da Índia, eram cultivados *S. barberi*, com colmos mais finos e duros. Essas duas espécies cultivadas de cana-de-açúcar constituíram-se, provavelmente, a partir de híbridos naturais entre *S. officinarum* e *S. spontaneum* e surgiram há cerca de 1.000 anos a.C. A espécie *S. barberi*, na sequência, esparramou-se da Índia para o meio leste do Mediterrâneo e para o novo mundo na segunda viagem de Colombo em 1493. A variedade Crioula, híbrido natural entre *S. officinarum* e *S. barberi*, procedente da Índia, foi cultivada em colônias da França, da Espanha e de Portugal. Foi esta a primeira cultivar provavelmente introduzida no Brasil, proveniente da Ilha da Madeira. Atualmente, a cultivar Crioula e demais cultivares de *S. sinense* e *S. barberi* existem apenas nos bancos de germoplasma (Stevenson, 1965; Berding; Roach, 1987; Machado Junior et al., 1987; Walker, 1987; Heinz et al., 1994; Landell; Bressiani, 2008).

A cana Crioula foi rapidamente substituída pelo cultivo da nobre Otaheite (Bourbon), trazida para o Taiti da Jamaica por Bligh em 1793 (Machado Junior et al., 1987). Do Taiti a cana nobre esparramou-se para o Caribe e para as Américas. As canas nobres coletadas nas ilhas do Pacífico eram as únicas fontes de cultivares para o plantio comercial e foram responsáveis por manter a indústria mundial de açúcar por mais de 100 anos. Antes do início das instalações dos programas de melhoramento, as mais importantes cultivares nobres eram a Otaheite (ou Bourbon ou Lahaina) do Taiti, Cheribon (Louisiana Purple) de Java e Caledônia de Vanuatu, da Melanésia. Entretanto, todos esses exemplares apresentavam problemas fitossanitários: Bour-

bon era extremamente suscetível à podridão de raiz, mosaico e gomose; Cheribon era suscetível ao mal de “Sereh”, mosaico e podridão de raiz; e Caledônia era suscetível ao mosaico (Stevenson, 1965). Todas essas cultivares foram rapidamente substituídas com o estabelecimento dos programas de melhoramento. Hoje, clones de *S. officinarum* são mantidos em bancos de germoplasma e cultivados como ornamentais (Irvine, 1999).

A cana-de-açúcar foi descrita inicialmente por Linneu em 1753 (Earle, 1928). Posteriormente foi estudada em detalhes por vários pesquisadores, entre eles, Barber (1916) e Artschwager (1925). O trabalho botânico descritivo mais completo foi realizado por Dillewijn (1952). Botanicamente é uma planta alógama que pertence à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, subclasse Commelinidae, ordem Cyperales, família Poaceae (gramíneas), tribo Andropogoneae, sub tribo Saccharininae, gênero *Saccharum* (Cronquist, 1981). Segundo Fauconnier e Bassereau (1975), a classificação em espécies botânicas mais aceita é a de Jeswiet, que foi proposta em 1925 (Jeswiet, 1929) e que compreende as seguintes espécies: *Saccharum officinarum* L., *Saccharum spontaneum* L., *Saccharum sinense* Roxb., *Saccharum barberi* Jesw., *Saccharum robustum* Jesw. e *Saccharum edule*.

Entre as principais culturas agrícolas globais (Tabela 3.1), a cana-de-açúcar tem, sem dúvida, o genoma mais complexo, acarretando desafios especiais para a pesquisa vegetal. Além do genoma complexo, a cana-de-açúcar também é propagada vegetativamente, têm ciclo longo, baixa fertilidade e relutância em florescimento em muitos genótipos. Isso traz restrições ao emprego de algumas ferramentas de biotecnologia e dos métodos mais empregados no melhoramento genético de culturas em geral. A identificação, a descrição e a utilização das espécies agrupadas como cana-de-açúcar têm

Tabela 3.1. Produção, área e consumo calórico das principais culturas alimentícias no mundo.

Cultivo	Produção (milhões de toneladas)	Consumo (Kcal por dia por habitantes)	Área cultivada (milhões de hectares)	(%)
Cana-de-açúcar	1.661	152,0	23,8	1,5
Milho	819	139,0	158,6	10,2
Trigo	685	530,0	225,6	14,4
Arroz	685	533,0	158,3	10,0
Batata	330	59,0	18,7	1,2
Mandioca	234	43,0	18,9	1,2
Beterraba açucareira	227	76,0	4,3	0,3
Soja	223	105,0	99,5	6,4
Óleo de palma	210	50,0	14,9	1,0
Tomate	153	9,2	4,4	0,3
Cevada	152	6,5	54,0	3,5
Batata-doce	102	22,0	8,2	0,5
Banana	97	19,0	4,9	0,3
Melancia	98	13,0	3,4	0,2
Total global	5.676	2.798,0	1.562,0	51,1

Fonte: Adaptado de Moore e Botha (2014) e FAO (2022).

sido complicadas por hibridizações, tanto naturais quanto antrópicas, entre si e com espécies aparentadas. Muitos membros dos grupos de cruzamentos têm estruturas genômicas diferentes que produzem formas intermediárias, e algumas dessas formas intermediárias têm estrutura genômica totalmente nova por causa dos diferentes tipos de transmissão cromossômica. A ampla hibridização resultou em uma mistura de euploides e aneuploides, dificultando os estudos de herança genética no melhoramento. Há ainda, nessa complexidade genética, contribuições das pressões de seleção aplicadas pela natureza e pelo homem para conduzir diferentes estruturas populacionais. Cultivares de cana-de-açúcar são híbridos de diferentes espécies do gênero *Saccharum* e podem incluir germoplasma de nove gêneros relacionados, *Imperata*, *Eriochrysis*, *Eccolipus*, *Spodiopogon*,

Miscanthidium, *Erianthus/Ripidium*, *Miscanthus*, *Sclerostachya* e *Narenga*, que estão incluídos na sub tribo Saccharinae (Daniels; Roach, 1987).

A espécie mais cultivada era a *Saccharum officinarum* L. No entanto, as cultivares dessa espécie eram pouco resistentes a doenças fitopatogênicas, principalmente o “mosaico”, e apresentavam muitas dificuldades de adaptação. Mundialmente, o melhoramento genético da espécie iniciou-se no final do século XIX, com os primeiros relatos registrados a partir de trabalhos realizados em Java e em Barbados. Em Java, Soltwedel realizou em 1885 a germinação de sementes de *S. spontaneum* e em 1887 realizou o cruzamento destas com a *S. officinarum*. Ao mesmo tempo, em Barbados, Harrison e Bovell Nucleus Animalium obtiveram plântulas por meio de sementes de canas coletadas no campo. Dessas pesquisas iniciais, resultaram os

híbridos interespecíficos (Gomes; Lima, 1964), oriundos dos programas de melhoramento genético, mais resistentes e adaptados às diversas condições climáticas, permitindo a expansão da cana-de-açúcar pelo mundo (Matsuoka et al., 1999; Machado Junior, 2002).

Dentre as zonas para as quais a cana-de-açúcar se expandiu no Ocidente, foi nas Américas onde mais se desenvolveu, ocupando extensas áreas e constituindo, desde os tempos coloniais, a principal atividade econômica de diversas regiões. Segundo Moore e Botha (2014), sua importância global é destacada como fonte principal de produção de biomassa, como alimentação e geração de bioenergia, mesmo assim ocupando pequena parcela da área agrícola do planeta (Tabela 3.1).

Historicamente, os primórdios do cultivo da cana-de-açúcar no Brasil iniciaram-se com a descoberta e colonização do País, embora não se conheça com exatidão o local da costa brasileira onde teria sido cultivada pela primeira vez, nem a data da sua primeira importação (Junqueira et al., 1964). Segundo Costa (1958), Piggafetta, que participou da expedição de Fernão de Magalhães em 1519, relatou a presença de “canas doces” no Rio de Janeiro, que teria sido certamente introduzida em alguma expedição anterior. Corrêa (1926) menciona a sua introdução desde o ano de 1502, sem, entretanto, descrever o local e a fonte da informação. Por sua vez, Calmon (1935) relata que havia plantações de cana, bem como fabricação de açúcar, desde a segunda década do descobrimento do Brasil, entre 1510 e 1520, em Pernambuco, registrando, inclusive, a primeira exportação do produto para Portugal, que ter-se-ia realizado em 1521 por Pero Cápico.

Nos estados nordestinos, praticamente toda a área plantada com cana-de-açúcar foi remanescente da Floresta Atlântica, principalmente da floresta subperenifolia (Jacomine et al., 1973). A grande extensão do território brasileiro, bem como o cultivo de mais de 8 milhões de hectares

(Acompanhamento..., 2021), distribuídos por todos os estados, possibilitam que a cana-de-açúcar se desenvolva nos mais variados tipos de solo e clima.

Conforme Yates (1978), na prática, a cultura da cana-de-açúcar demonstrou ser bastante adaptável, sendo cultivada em solos de textura muito variável, desde os arenosos até os muito argilosos e, também, em solos com altos teores de matéria orgânica, como é o caso dos solos hidromórficos no Rio de Janeiro. Essa adaptabilidade a diferentes condições de solo e clima permite que a colheita da cana-de-açúcar seja realizada praticamente durante todo o ano, possibilitando uma ininterrupta produção de açúcar e álcool, o que favorece a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil em relação ao abastecimento do mercado internacional.

Importância da cultura no Brasil

A cultura da cana-de-açúcar foi uma das primeiras atividades de importância econômica do Brasil, compõe o mais antigo setor agroindustrial do País e ocupa uma posição de destaque na economia nacional. Sua produção é destinada, principalmente, à indústria do açúcar e do álcool e, dentre os mais diversos produtos agrícolas destinados à industrialização, a cana-de-açúcar destaca-se pela tradição, pela relevância socioeconômica, por sua potencialidade como energia renovável e pela distribuição geográfica por todo o País.

Associada ao processo de formação e consolidação do Brasil, a agroindústria da cana-de-açúcar foi expandindo-se gradativamente e, ao longo da história econômica do País, passou por diversas fases em que períodos de prosperidade e de crise se alteraram, quase sempre determinados pela conjuntura econômica mundial (Andrade, 1994).

As duas crises internacionais do petróleo ocorridas em 1973 e 1979, bem como as medidas

adotadas pelo governo brasileiro na superação dessas crises, principalmente na implantação do Programa Nacional do Alcool (Proálcool), refletiram significativamente na agroindústria da cana-de-açúcar. Em período muito promissor, a safra canavieira de 2007/2008 levou o Brasil a um novo recorde de produção de açúcar e álcool, com intenso ritmo de crescimento verificado na área cultivada no período de 2000/2001 a 2006/2007, com média de 8,4% ao ano, performance atingida por poucos setores da economia brasileira e inigualada no setor agroindustrial (Brasil, 2009). Nastari (2007) apontava como meta de crescimento sustentável, a médio prazo, 7,3% ao ano, que seria capaz de permitir ao setor produtor atingir uma produção com capacidade de atender à demanda projetada até 2013/2014, de aproximadamente 100 milhões de toneladas de açúcares totais recuperáveis (ATR) ou 700 milhões de toneladas de cana. Porém, os dados da última safra, 2020/2021,

apontaram uma produção total nacional de 655 milhões de toneladas, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), no 4º levantamento cana-de-açúcar, de maio de 2021 (Acompanhamento..., 2021).

O grande crescimento no cultivo de cana-de-açúcar no Brasil tem provocado afirmações de que a expansão da cultura e a produção de biocombustíveis, principalmente de etanol, causaria impactos negativos na produção e no aumento de preço dos alimentos e aumentaria o desmatamento da Amazônia com a utilização de novas áreas (Silva et al., 2013). Entretanto, tais informações devem ser confrontadas com os levantamentos de ocupação do território brasileiro, que mostram que a área total plantada com cana-de-açúcar ocupa apenas cerca de 2% da área agrícola do País. Ainda assim, 99,7% dessa área está a pelo menos 2.000 km de distância da Floresta Amazônica (Figura 3.1). A expansão da cana-de-açúcar nos últimos 25 anos

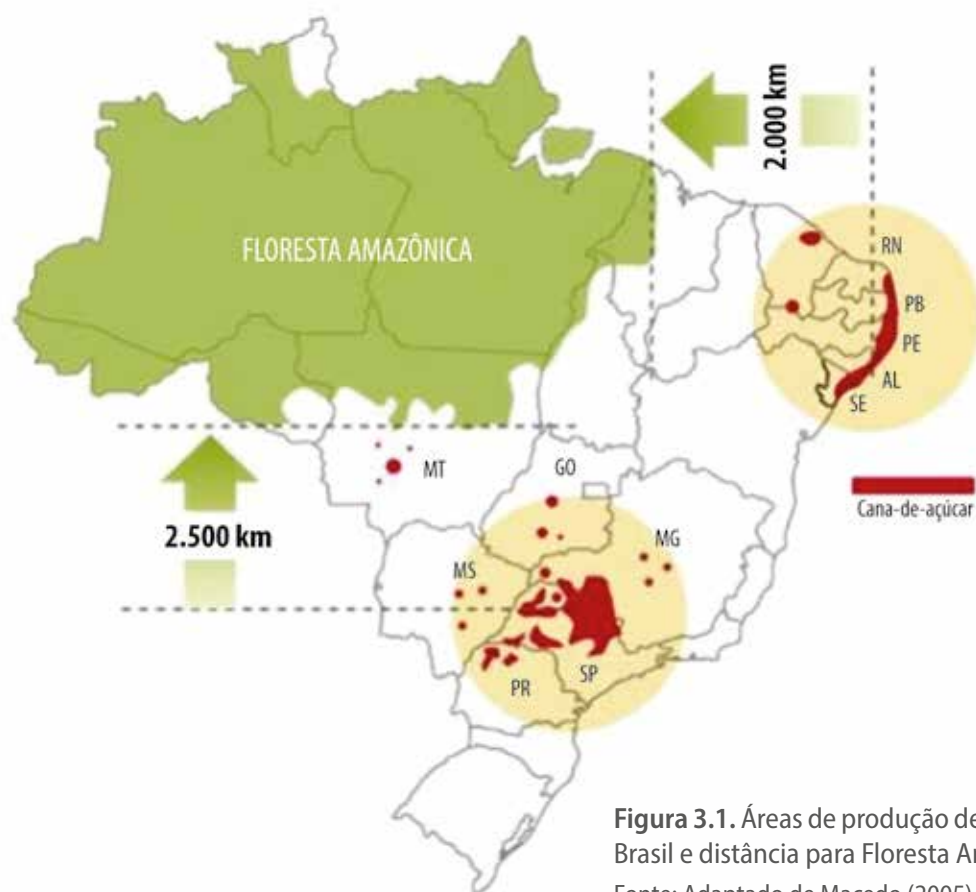


Figura 3.1. Áreas de produção de cana-de-açúcar no Brasil e distância para Floresta Amazônica.

Fonte: Adaptado de Macedo (2005) e IBGE (2022).

aconteceu principalmente no Centro-Sul do Brasil, em áreas muito distantes dos biomas atuais da Floresta Amazônica, Mata Atlântica e Pantanal (Figura 3.1).

Entre 1992 e 2009, no Centro-Sul, a expansão deu-se quase que totalmente (94%) em áreas que haviam sido utilizadas com cana-de-açúcar, com poucas aberturas de fronteiras agrícolas. Em São Paulo, responsável por 58% da produção do País, o crescimento ocorreu principalmente pela substituição de áreas de pastagens degradadas (Macedo, 2005; Silva et al., 2015).

Nos últimos anos, a cana-de-açúcar se expandiu nas regiões oeste e noroeste do estado de São Paulo, e nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais, principalmente no Triângulo Mineiro. Poderão ser consideradas ainda como novas fronteiras agrícolas o Vale do São Francisco e o oeste do estado da Bahia, além dos estados do Tocantins, Maranhão e do Piauí (Goes; Marra, 2008). No Brasil, Silva et al. (2013) destacaram e exemplificaram a existência de 340 milhões de hectares de terra agricultáveis e hoje ocupa-se apenas 63 milhões de hectares com lavouras, dos quais cerca de 9 milhões são dedicados a produzir cana-de-açúcar. Dessa forma, nenhum país tem potencial para agregar milhões de hectares de solo e qualidades climáticas como o Brasil, produzindo açúcar, energia e biocombustíveis, sem ameaçar áreas protegidas dos ecossistemas amazônicos, do pantanal, e sem interferir nas áreas usadas atualmente para produzir culturas alimentares. O Brasil, como outros países da América Latina e da África, tem condições de aumentar significativamente a produção de biocombustíveis, respeitando todas as condições socioeconômicas e ambientais.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) coordena estudos sobre aptidão e crescimento das áreas agrícolas, utilizando-se de modelos agrometeorológicos e biofísicos,

bem como dos resultados do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc). São considerados critérios ambientais usados como base para melhorar o setor de seguros e resseguros agrícola (Santos; Martins, 2016), podendo simular os potenciais produtivos da cana-de-açúcar e o sistema de certificação para produtores de biocombustíveis, fundamentais para conquistar mercados internacionais e oferecer suporte às políticas públicas.

Melhoramento genético no Brasil

Em 1590, o Brasil possuía 66 engenhos de açúcar, a maioria deles no Nordeste. A principal variedade largamente utilizada era a Crioula, resultado de uma hibridação natural entre *Saccharum officinarum* e *Saccharum barberi* (Bremer, 1932), situação que perdurou por mais de 200 anos, quando então foi substituída pela cultivar Caiana (*S. officinarum*), também conhecida como cana nobre. No século XIX e início do século XX, a Caiana e outras formas de *S. officinarum* (Bourbon, Imperial, Crystalina, Kavengirie, Rajada, Mapou Rouge, Rosa, Preta, Riscada, Bois Rouge, Sem Pelo, etc.) predominaram nos canaviais brasileiros (Landell; Alvarez, 1993). Com o aparecimento da gomose e do mal de “Sereh” no início do século XX e em razão da alta suscetibilidade das canas nobres a essas doenças, surgiram no mundo os primeiros programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar (Landell; Bressiani, 2008).

Nessa época, a introdução de germoplasmas originários de outros centros mundiais consistia na maneira mais rápida e econômica de obter acréscimos na produção agrícola, via melhoramento genético de plantas. A introdução de cultivares de outros centros de origem e seleção utilizada, a princípio, de maneira aleatória e não criteriosa, passou a ser usada como método de melhoramento, quatro séculos após o início do

cultivo da cana-de-açúcar no Brasil. Nessa ocasião (1922–1928), grande parte das cultivares nobres foi dizimada pelo vírus do mosaico (Landell; Bressiani, 2008).

Em São Paulo, o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) realizou os primeiros estudos com a cultura, em 1894–1895, por intermédio de seu fundador, Franz Dafert, que conduziu ensaios de competição com 42 cultivares nobres introduzidas ou selecionadas por agricultores (Landell; Alvarez, 1993). Posteriormente, esse pesquisador ocupou-se em estudar a adaptação dos genótipos introduzidos da Ásia para caracterização deles para as condições paulistas. Saiu daí as informações das cultivares estrangeiras Co290 e Co419, assim como de cultivares produzidas em Campos: CB45-3, CB40-69, CB41-76 e CB47-355 (Landell; Bressiani, 2008).

No Brasil, dentre os primeiros centros de pesquisa com cana-de-açúcar, podem-se citar: a) Estação de Escada, em Pernambuco, em 1913; b) Estação de Campos, no Rio de Janeiro, em 1916; c) Estação Geral de Experimentação de Barreiros, Pernambuco, em 1920; e d) Escola Superior de Agricultura de São Bento em Tapera, Pernambuco, em data incerta. Em Campos, Artur Torres Filho criou as primeiras cultivares híbridas: CB3100 e CB3600, que vieram a competir com as canas nobres Bois Rouge e Sem Pelo, então em cultivo comercial. Em Barreiros, Pernambuco, Oscar Campos Góes coordenou o desenvolvimento de cultivares EB4, EB10, entre outras. Em Tapera, PE, também foram produzidas cultivares SBP por Apolônio Salles (Machado Junior, 1987). As estações de Escada e Campos foram fundadas por Nicholas Van Gorkum.

Na década de 1920, a epidemia do mosaico motivou uma ação conjunta de produtores de açúcar e do governo paulista. Assim, foi criada a Estação Experimental de Piracicaba, em 1928, que se ocupou a princípio em introduzir cultivares híbridas procedentes de programas de melhoramento já

existentes em Java e em Coimbatore na Índia. A bem da verdade, muitas dessas cultivares já existiam na Fazenda Guatapará, próxima à cidade do mesmo nome em São Paulo. Um intenso serviço de multiplicação se seguiu, permitindo que, em pouco tempo, as variedades nobres fossem substituídas pelas canas javanesas: POJ213, POJ2727 e POJ2878, entre outras (Landell; Alvarez, 1993). A partir da década de 1930, também foram importantes cultivares vindas de Coimbatore, na Índia, como as Co290, Co413, Co419, Co421 e Co331 (Landell; Bressiani, 2008).

Ao acompanhar aquilo que já ocorrera em Java, Barbados e Havaí, respectivamente em 1887, 1889 e 1905, seguiu-se a criação efetiva de programas de melhoramento de cana-de-açúcar no Brasil, os quais passaram a obter sementes e estabeleceram protocolos de seleção das diversas fases até a obtenção de cultivares (Segalla et al., 1964). Foram esses os programas das cultivares de sigla IAC (Instituto Agrônomo) e CB (Campos, Brasil), iniciados, de fato, na década de 1930. A primeira campanha de hibridação realizada pelo IAC foi feita em 1933–1934 em um local chamado Prainha, em Miracatu, litoral sul de São Paulo. O pesquisador responsável foi José Manoel Aguirre Júnior, que redigiu seu plano de trabalho em forma de *Boletim Técnico 34/IAC*, no qual consta uma extensa revisão bibliográfica e as linhas gerais do projeto (Aguirre Junior, 1936). As primeiras cultivares desse programa, IAC36-25 e IAC47-31, foram lançadas na década de 1950 sob a coordenação dos pesquisadores R. Alvarez e A. L. Segalla (Segalla et al., 1964), que haviam se unido ao esforço de Aguirre Júnior. Seguiu-se o lançamento das cultivares IAC48-65, IAC51-205, IAC52-150, IAC58-480 e IAC64-257, bastante importantes por ocasião do Proálcool, em razão da significativa expansão de área em direção aos solos de mais baixa fertilidade.

Simultaneamente, em Campos, no Rio de Janeiro, sob o comando de Frederico Veiga, foram

produzidas as primeiras cultivares híbridas que tiveram expressão comercial no Brasil a partir de 1955. Entre elas, destacaram-se CB45-3, CB40-69, CB41-76, CB47-355 e CB49-260. A doença produzida pelo fungo *Ustilago scitaminea*, conhecida como carvão, apareceu na década de 1940, alarmando os produtores brasileiros que enviamos esforços no sentido de acelerar os trabalhos de melhoramento conduzidos em Campos, RJ, e Campinas, SP. Também estimulou a criação do Instituto Agrônomo do Nordeste em 1946. (Figueiredo, 2008).

Nas décadas de 1950 e 1960, as cultivares em plantio eram basicamente das siglas Co (Co419, Co421, Co740 e Co775), CB (CB45-3, CB41-76) e IAC (IAC48-65, IAC51-205, IAC52-150).

No meio da década de 1970, iniciou-se o plantio em extensas áreas da cultivar argentina NA56-79, que viria a ser a mais cultivada por mais de 10 anos (atingiu 1 milhão de hectares), mudando o perfil qualitativo das cultivares de cana-de-açúcar no Brasil. Sem dúvida nenhuma, o elevado teor de sacarose associado a uma boa estabilidade agrícola da NA56-79 quebrou paradigmas e provocou a reflexão dos produtores, que, a partir de 1983, passaram a remunerar a matéria-prima pela qualidade. Este fato “empurrou” os programas de melhoramento em direção a essa demanda e produziu, nesses 25 anos, ganhos superiores a 40% no teor de sacarose (Landell; Bressiani, 2008).

Em 1969 e 1970, surgiram dois grandes programas de melhoramento no Brasil que mudariam a concepção da canavicultura brasileira. Foram eles o Centro de Tecnologia Copersucar (CTC), em 1969, com sigla SP para as cultivares, assessorado pelo pesquisador Albert Mangelsdorf (Mangelsdorf, 1953), e logo depois o Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar (Planalsucar), em 1970, com sigla RB para as cultivares, assessorado pelo pesquisador R. Urata (Urata, 1969). Os dois pesquisadores per-

tenciam ao Havaí, EUA. Juntos, esses programas representaram um vultoso investimento público-privado em desenvolvimento tecnológico, gerando um grandioso salto para a agroindústria canavieira. Posteriormente, em 1992, o Planalsucar foi transferido para as universidades federais, Companhia Nacional de Abastecimento (Ridesa) e a Copersucar, em 2004, abriu o centro à participação de mais usinas e associações de produtores, passando a se denominar Centro de Tecnologia Canavieira, com sigla CTC para as cultivares (Landell; Bressiani, 2008).

O ciclo das cultivares da Copersucar teve início na segunda metade da década de 1980, com variedades como a SP70-1143, SP70-1284, SP71-1406 e SP71-6163, logo após o aparecimento da ferrugem da cana-de-açúcar, em 1986.

Em 1995, o aparecimento da síndrome do amarelamento foliar acometeu a principal cultivar da Copersucar, SP71-6163, e promoveu a sua rápida substituição, dando oportunidade na utilização das cultivares do Programa Ridesa (ex-Planalsucar). As variedades RB passaram a dominar as áreas de plantio comercial, com destaque para a cultivar RB72454, que — pelas suas características, como produtividades agroindustriais e ampla adaptabilidade — foi, durante diversos anos, a mais plantada no Brasil, entre os anos de 1995 e 2005, ocupando mais de 20% da área cultivada (Barbosa, 2014; Braga Junior et al., 2017). A partir de 2005, outra variedade também da Ridesa, a RB867515, tem se destacado como a variedade mais cultivada no País (Landell; Bressiani, 2008) e, segundo Braga Junior et al. (2021), manteve essa posição na safra 2019/2020.

Em 2003, foi criado programa de melhoramento genético da CanaVialis, grupo privado (inicialmente Votorantim e depois Monsanto, em 2008), que permaneceu ativo até 2015, com foco na viabilidade econômica sustentada pela política de royalties, criada no País em 1997.

Também, buscando esta sustentabilidade econômica, a Copersucar, no ano de 2004, transformou o CTC num centro de pesquisa independente, que atualmente produz as variedades de sigla CTC (Revista Variedades CTC, 2011; Centro de Tecnologia Canavieira, 2013).

Em 2012, foi criado o programa de melhoramento genético da Granbio, grupo privado voltado para a produção de etanol e bioquímicos de segunda geração, com foco no desenvolvimento de cultivares de cana energia dos tipos 1 e 2, com a sigla Vertex.

Graças ao alto potencial produtivo dos programas de melhoramento existentes no Brasil, é grande o número de cultivares de cana-de-açúcar em cultivo, o que permite a disponibilidade de cultivares adaptadas às condições específicas de solo, clima, época de colheita e manejo agrônomo. Conforme dados da Tabela 3.2, em 21 anos, um total de 171 novas cultivares de cana-de-açúcar foram liberadas pelos programas de melhoramento do IAC, CTC, RB, CV e Vertex (Brasil, 2022).

A diversidade de cultivares oferecida aos produtores permite restrição natural e estratégica

Tabela 3.2. Cultivares de cana-de-açúcar lançados no período 2001 a 2021 no Brasil.

Período	IAC	Ridesa	Copersucar/CTC	CanaVialis/Syngenta	BioVertis/Vignis
2001 a 2010		2001: RB845197, RB845210, RB855036, RB865230, RB928064			
	2002: IAC86-2480	2003: RB858927, RB92579, RB93509, RB931530	2003: SP89-1115, SP90-1638, SP90-3414, SP91-1049	–	–
		2005: RB932520, RB943365, RB943538			
	2004: IAC91-2195, IAC91-2218, IAC91-5155, IACSP93-6006	2006: RB925211, RB925268, RB925345, RB935744	2005 e 2006: CTC1, CTC2, CTC3, CTC4, CTC5, CTC6, CTC7, CTC8, CTC9	–	–
	2005: IACSP93-3046, IACSP94-2094, IACSP94-2101, IACSP94-4004	–	2007 e 2008: CTC10, CTC11, CTC12, CTC13, CTC14, CTC15, CTC16, CTC17, CTC18	2009: CVS Grow, CVS Pegaso	–
	2010: IACSP93-2060, IACSP95-3028, IACSP95-5000, IACSP95-5094	–	2009: CTC19, CTC20 2010: CTC21, CTC22	–	–

Continua...

Tabela 3.2. Continuação.

Período	IAC	Ridesa	Copersucar/CTC	CanaVialis/Syngenta	BioVertis/Vignis
2011 a 2015	2012: IACSP96-2042, IACSP963060	2010: RB937570, RB946903, RB956911, RB966928, RB965902, RB965917, RB931003, RB931011, RB951541, RB98710, RB99395, RB962962, RB002504	2011: CTC23, CTC24	2013: CV6654, CV7231, CV0470	–
		2015: RB036066, RB036088, RB036091, RB961552, RB991536, RB992506, RB002754, RB975201, RB975242, RB975952, RB985476, RB987935, RB988082, RB969017, RB034045			
	2014: IACSP967569, IACSP974039	–	2012: CTC9001, CTC9002, CTC9003 2013 a 2015: CTCE7, CTC25, CTC9004M, CTC9005HP	2014: CV0618, CV4355, CV6945, CV6984. CV7107, CV7809, CV8091 2015: CV7870, CV2546	2014: VG11145, VG1126, 2015: Vignis 3, Vignis 4, Vignis 5, Vignis 6, Vignis 7
2016 a 2021	–	–	–	–	2016: Vertex 1, Vertex 2

Continua...

quanto à área plantada por uma única cultivar, possibilitando uma redução da exposição aos riscos econômicos oriundos de possíveis epidemias. Como citou-se o que ocorreu na Austrália, entre 1999 e 2001, com a cultivar Q124 que ocupava 88% da região central de Queensland

e que, com o advento de uma nova raça da ferrugem conhecida como alaranjada (*Puccinia kuehnii*), manifestou uma grande susceptibilidade a esse patógeno, o que ocasionou perdas de aproximadamente 40% da produtividade agrícola nessa região.

Tabela 3.2. Continuação.

Período	IAC	Ridesa	Copersucar/CTC	CanaVialis/Syngenta	BioVertis/Vignis
2016 a 2021	2017: IACSP013127, IACSP015503	2021: RB006970, RB036152, RB056351, RB056380, RB961003, RB01494, RB011549, RB0442, RB07818, RB08791, RB943047, RB021754, RB041443, RB975033, RB975375, RB005014, RB015177, RB015935, RB987917, RB108519, RB064292	2017: CTC20BT	–	2017: Vertix 3, Vertix 4, Vertix 5, Vertix 6, Vertix 7, Vertix 8, Vertix 9, Vignis 8, Vignis 9
	2019: IACCTC058069, IACCTC078008, IACCTC078044	–	–	–	2018: Vignis 11, Vignis 12, Vignis 13
			2019: CTC9001BT	2019: SYN09 146, SYN09 114	
	2020: IACSP046007	–	2020: CTC26, CTC9006, CTC9007, CTC961007, CTC022994, CTC9003BT, CTC7515BT	–	2020: Vertix 10, Vertix 11
Total	23	65	44	16	23

Fonte: Brasil (2022).

A sustentabilidade da produção agrícola da cana-de-açúcar no Brasil está fundamentada na capacidade das plantas em responder a pragas, doenças, variações climáticas, edáficas e questões nutricionais. Isso tem sido possível pela introdução contínua de variedades resistentes e adaptadas a diferentes condições climáticas e edáficas. Para tal, o melhoramento genético é a principal área do conhecimento agrícola e é fun-

damental para reduzir custos, trazer eficiência e aumentar produtividade (Souza Junior, 1995).

Assim, mais de 500 variedades de cana-de-açúcar aparecem em cadastros de áreas de cultivo no Brasil, considerando todas aquelas catalogadas em alguma unidade de produção no Brasil, e observa-se na Tabela 3.2 que 90 foram liberadas nos últimos 10 anos (Brasil, 2022). Mesmo que a área cultivada seja predominante para não mais do que 20 cultivares, a substituição e o aumento da

diversificação de variedades não só permitiram aumentos consideráveis de produtividade, como também conferiram segurança quanto à maior resistência a pragas e doenças que eram dizimadoras no passado (Moore, 1987; Macedo, 2005).

Os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar conduzidos em diversos países, de forma geral, têm atualizado genética e tecnologias, sendo responsáveis por adaptações às novas demandas da agricultura e da indústria, aplicando estratégias de hibridação e seleção diferenciadas, associadas ao crescente uso de ferramentas de biotecnologia, como marcadores moleculares e transgenia. São eles que — atentos às novas demandas da canavieira e, mais recentemente

ao mercado de energias renováveis — lançam-se no exercício de construir os cenários de médio e longo prazo, equivalente ao seu ciclo de produção tecnológica (Landell; Bressiani, 2008).

Caracterização botânica e varietal

Botânica da parte aérea

A parte aérea da cana-de-açúcar é basicamente formada pelo colmo e folhas que compõem a parte vegetativa (Figura 3.2) e as inflorescências que representam a parte reprodutiva. O colmo é geralmente cilíndrico, colorido e formado por

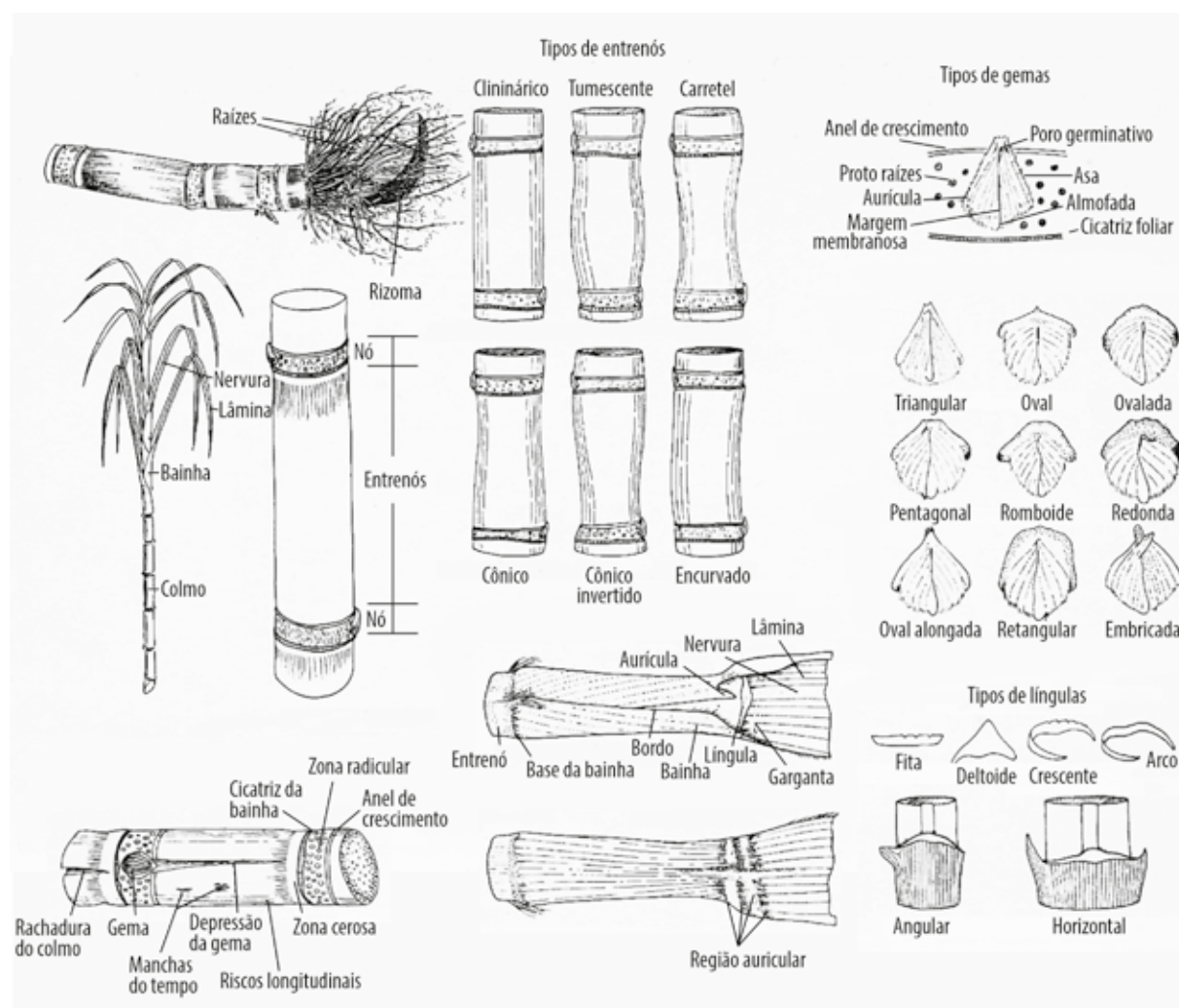


Figura 3.2. Parte aérea de cana-de-açúcar apresentando órgãos vegetativos, como colmos (nós e entrenós), folhas e bainhas.

Fonte: Adaptado de Segalla (1964).

duas partes, nó e entrenó, também chamado de internódio ou gomo. Seu diâmetro varia com a variedade e nutrição da cana. No nó, encontram-se a cicatriz foliar, a gema e a zona radicular, e o anel de crescimento.

A cicatriz foliar é a base de inserção da bainha da folha no colmo e pode ser saliente, reentrante, horizontal, inclinada e glabra. Ademais, pode estar situada no mesmo plano do nó; e possuir pelos.

As gemas que ficam localizadas na zona radicular são dispostas alternadamente no colmo, uma em cada nó. Possuem as mais variadas formas e tamanhos, podendo ou não apresentar asas e pelos. Sua classificação em tamanho relaciona-se com o anel de crescimento. São ditas pequenas quando não o atingem, médias quando chegam até ele e grandes quando ultrapassam o anel de crescimento. É na gema que se localiza o poro germinativo ou ponto germinal de onde emerge o broto. Dependendo da variedade, esse poro pode ser apical, subapical ou dorsal.

A zona radicular se encontra entre a cicatriz foliar (abaixo) e o anel de crescimento (acima), podendo ter cores variando do amarelo/verde ao roxo. O número de pontos (broto-raízes) é variável com a variedade e podem apresentar-se dispostos em linhas ou irregularmente.

No entrenó estão situados o anel de crescimento, a zona cerosa e o sulco ou depressão da gema. Os entrenós podem ser cilíndricos, em forma de barril ou tumescentes, com depressões no meio, encurvados, mais largos na base que no ápice ou o inverso. Adicionalmente, os entrenós podem apresentar listas verticais de cores diferentes e estar ou não revestidos com cera. O anel de crescimento e a zona cerosa apresentam espessura variável.

As características das gemas, juntamente com a cor e diâmetro do colmo, bem como o formato e a disposição dos entrenós, constituem carac-

terísticas importantes na diferenciação de variedades (Figura 3.3).



Foto: Zanone Fraissat

Figura 3.3. Características de colmos de diferentes variedades de cana-de-açúcar.

Em plantas adultas, cessado o perfilhamento, tem-se a formação de touceiras, cujos colmos são dispostos de forma densa, média ou frouxa (Figura 3.4).

As folhas são órgãos responsáveis fundamentalmente pela fotossíntese, respiração e transpiração. Estão localizadas no colmo, alternadamente, uma para cada entrenó e se dividem em duas partes: bainha e folha propriamente dita. A bainha é que sustenta e fixa a folha no colmo. Seus bordos se sobrepõem na parte inferior, permanecendo um pouco abertos na parte superior. Nela se distinguem duas partes: a bainha propriamente dita e a zona de união com a folha (Figura 3.5).

A bainha propriamente dita é geralmente de cor verde, porém menos intenso que as folhas. Dependendo da variedade, pode apresentar, na face externa, coloração arroxeada, avermelhada ou manchas escuras. A face interna é branca amarelada com estrias longitudinais. A bainha, dependendo da presença ou não de cera, pode ser glauca e não glauca.

A zona de união com a folha encontra-se na parte superior da bainha e compreende a garganta, o colo, a lígula e as aurículas (Figura 3.5). A garganta, ou colar, é uma zona descolorida na face interna da axila da folha, onde se liga com a

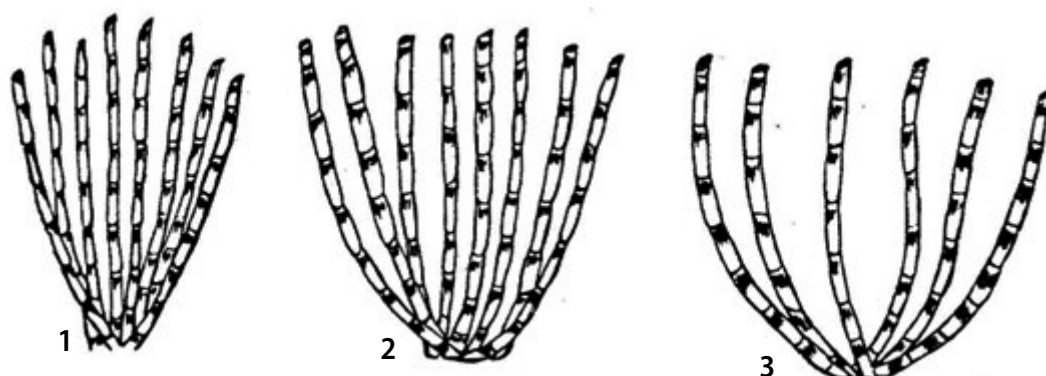


Figura 3.4. Formação de touceiras de cana-de-açúcar, com disposição de colmos de forma densa (1), média (2) e frouxa (3).

Fonte: Casagrande (1991).

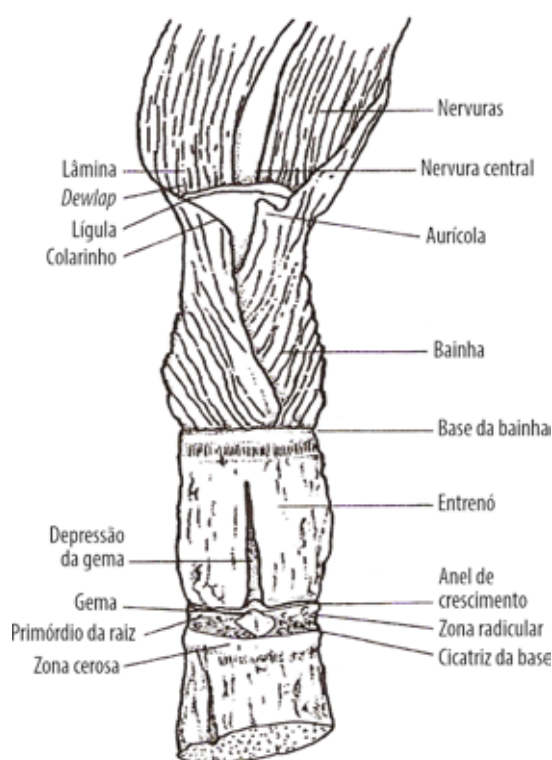


Figura 3.5. Representação esquemática da folha e sua inserção no colmo.

Fonte: Adaptado de Bacchi (1983).

bainha. O colo, ou região auricular, localiza-se na fase externa da zona de união com a folha que pode ou não alcançar a nervura central. A lígula é uma membrana circular curta que envolve o colmo na base da folha. As aurículas são lóbulos triangulares localizados nas extremidades superiores da bainha.

A folha propriamente dita apresenta comprimento e largura variáveis de acordo com os gêneros, o desenvolvimento da planta e sua localização no colmo. Seu afastamento do colmo forma o que se chama de ângulo de nobreza. Sua disposição é variável, podendo ser de arquitetura erectófila, intermediária ou mesófila e planófila (Figura 3.6).

A folha compreende duas partes, a lâmina e a nervura central, que a divide longitudinalmente em duas porções. As margens ou bordos normalmente são serrilhados e sua união constitui o ápice da folha.

Segundo Fauconnier e Bassereau (1975), a cana-de-açúcar, em seu estágio de máximo desenvolvimento, apresenta uma área foliar que corresponde a aproximadamente sete vezes a área de solo ocupada. Essa característica possibilita que a cultura se relacione intensamente com o

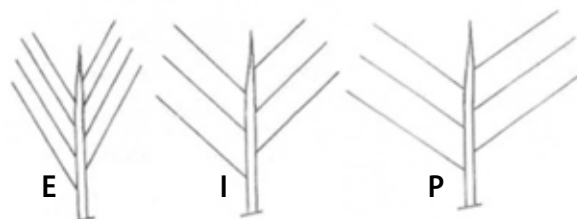


Figura 3.6. Arquitetura foliar do capitel de cana-de-açúcar, mostrando plantas erectófilas (E), intermediárias ou mesófilas (I) e planófilas (P).

Fonte: Adaptado de Câmara (1993).

ambiente, principalmente no que diz respeito à capacidade fotossintética.

Para padronizar estudos de crescimento e nutrição de plantas, por exemplo, identificar folhas índices ou diagnósticas, as folhas podem ser ordenadas de cima para baixo, cabendo-lhes uma numeração que as identifique.

Algumas características relacionadas com componentes vegetativos da cana-de-açúcar são efetivamente correlacionadas com a capacidade fotossintética e de produção. Por exemplo, o índice de área foliar (IAF) se relaciona com a produtividade, potencializando seu efeito, bem antes de alcançar o patamar de sua máxima expressão (Figura 3.7).

Assim, outras características que são desejáveis no perfilhamento, nas folhas e nos colmos podem significativamente influenciar o IAF e, consequentemente, a produtividade da cana-de-açúcar (Tabela 3.3).

A parte reprodutiva da cana-de-açúcar é basicamente formada pelas inflorescências e órgãos reprodutivos (Figura 3.8).

A inflorescência da cana-de-açúcar é uma panícula aberta denominada de flecha. Pode ser curta, comprida, larga, estreita em forma de pirâmide ou cilíndrica. O eixo principal da inflorescência, denominado raquis, é cilíndrico, diminuindo gradualmente seu diâmetro da base para o ápice. É um prolongamento do último entrenó do colmo. Nas ramificações do raquis, localizam-se as “espiguetas”, dispostas aos pares, sendo uma sésil e outra pedicelada. Cada “espiguetas” contém uma flor.

A flor da cana-de-açúcar é hermafrodita. O ovário tem forma ovalada, apresentando em sua extremidade dois pistilos terminados por estigmas plumosos. No ovário há um só óvulo, ligado à parede do ovário por uma placenta larga. O órgão masculino é constituído por três

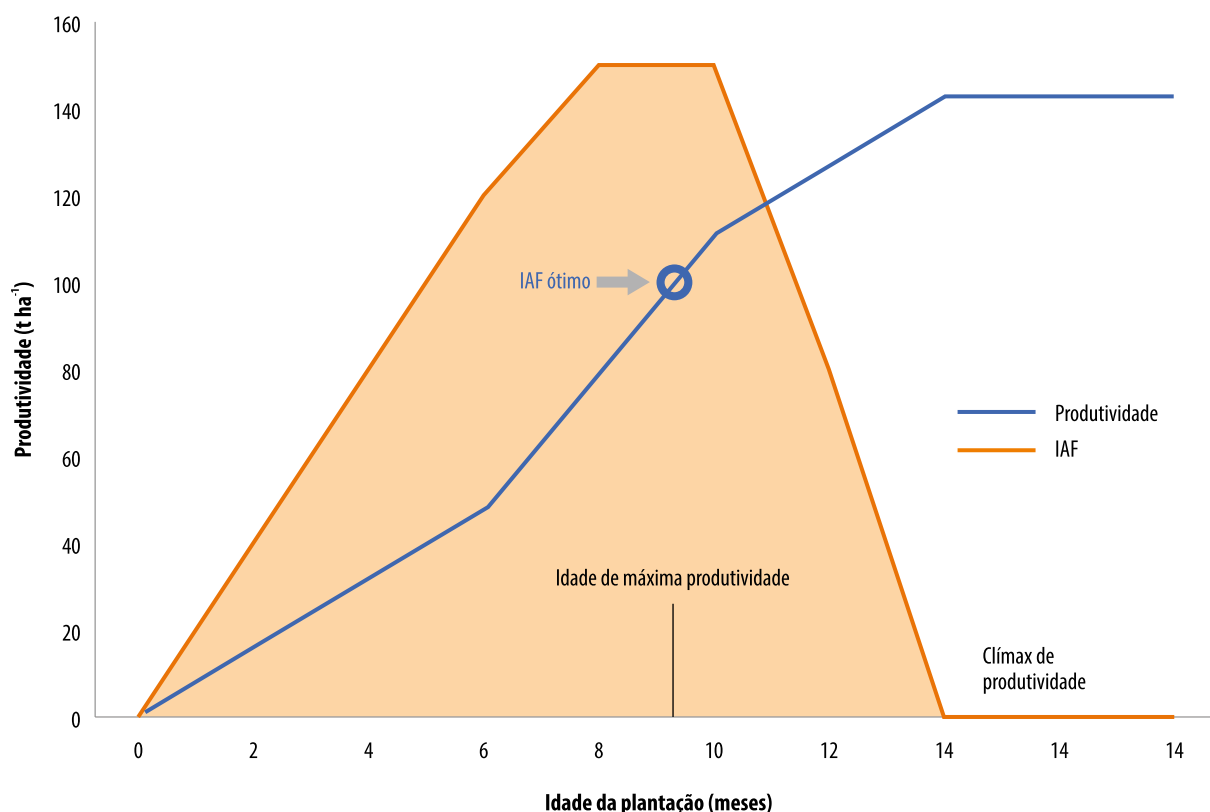


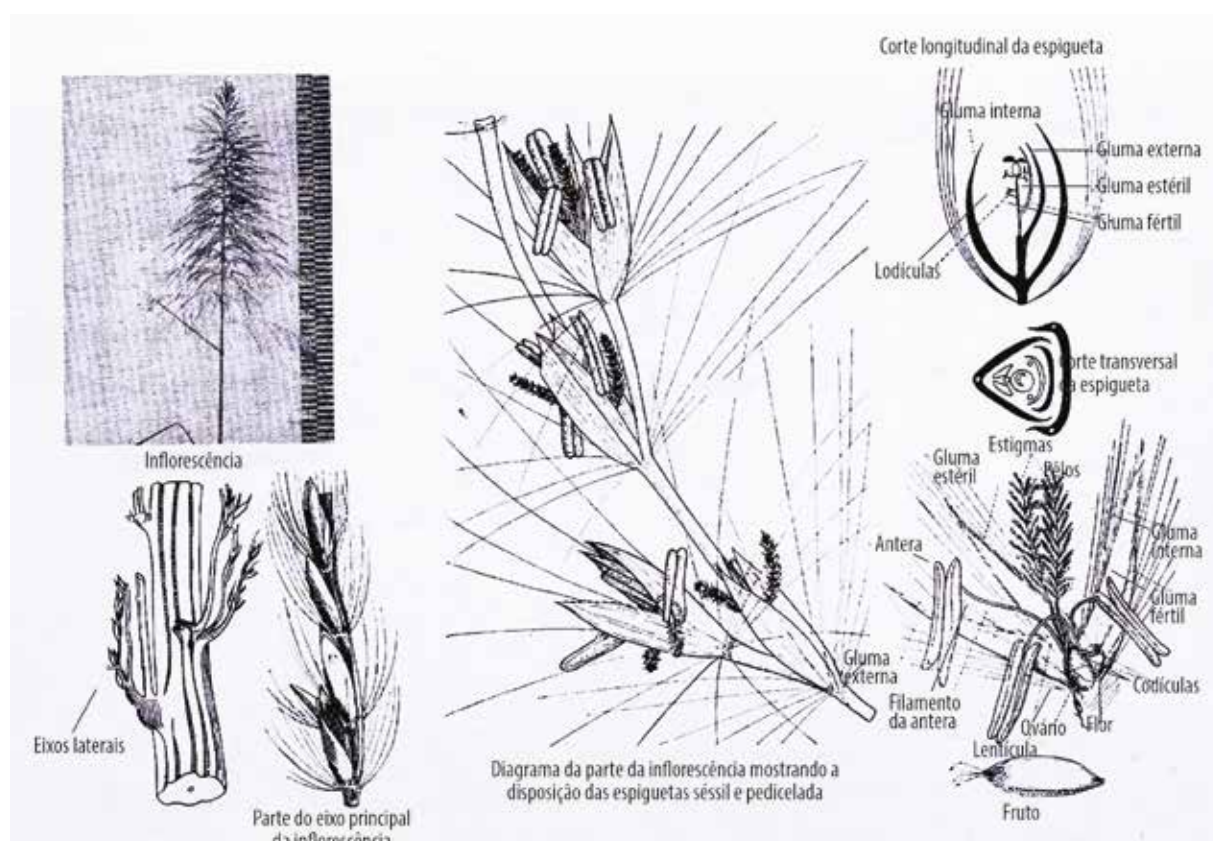
Figura 3.7. Índice de área foliar (IAF) e produtividade em função da idade da planta.

Fonte: Adaptado de Castro (2000).

Tabela 3.3. Componentes da parte aérea de cana-de-açúcar e características morfológicas desejáveis para obtenção de elevadas produtividades.

Componente da parte aérea	Característica desejável	Efeito na fotossíntese e na produtividade
Perfilho	Vertical e plantas erectófilas	Melhor distribuição de luz
	Alto perfilhamento	Rápido desenvolvimento do IAF
Folha	Espessa	Hábito mais ereto
	Curta e pequena	Associada a hábito mais ereto
	Ereta	Melhor distribuição de luz
Colmo	Dreno para sacarose	Alta produtividade
	Firme	Prevenção de acamamento

Fonte: Adaptado de Castro (2000).

**Figura 3.8.** Parte reprodutiva de cana-de-açúcar apresentando órgãos reprodutivos, como inflorescência, flor e fruto.

Fonte: Adaptado de Segalla (1964).

estames. Cada estame sustenta uma antera linear fixa pelo dorso. As anteras estão divididas em dois lóbulos por uma depressão longitudinal que constitui a linha de abertura por ocasião de

sua maturação. As flores estão protegidas por duas brácteas, constituindo as glumas externa e interna. Dentro da gluma interna, na base da flor, existem duas lodículas ou glumelas que

constituem os vestígios do perianto e que, ao se intumescerem, provocam a abertura da flor.

Os grãos de pólen são esféricos, quando férteis, e prismáticos, quando inférteis. No pólen, encontra-se o poro germinativo, contendo em seu interior a massa protoplasmática, onde se localiza o núcleo vegetativo de forma esférica e o núcleo germinativo, alongado.

O fruto de cana-de-açúcar é uma cariopse de forma elíptica alongada. Na região do embrião, apresenta-se uma depressão, onde se localiza a cicatriz da semente e, do lado oposto, se localizam os resíduos do pistilo.

Botânica da parte radicular

Os sistemas radiculares vegetais têm sido, ultimamente, bastante estudados, por meio de estudos e metodologias que permitem se obter conclusões mais exatas sobre formatos, desenvolvimento e funções. Pesquisadores como Böhm (1979), Brown e Upchurch (1987), Persson (1990) e Majdi et al. (1992) destacaram-se

pela descrição dessas metodologias e permitiram, assim, que as raízes fossem morfológica e fisiologicamente mais compreendidas dentro do sistema solo/planta para muitas culturas de importância mundial.

Trabalhos pioneiros na década de 1920, como os de Weaver (1926) e Weaver e Bruner (1927), que tratavam do desenvolvimento de raízes, foram condicionantes para o estabelecimento de conceitos a respeito desse órgão de múltiplas funções.

Na realização de suas funções, as raízes crescem e exploram o solo, que pode oferecer restrições físicas e/ou químicas consideráveis (Figura 3.9). Particularmente, no caso da cana-de-açúcar, restrições físicas ao desenvolvimento de raízes de cana-soca são largamente referenciadas na literatura nacional e internacional, podendo explicar, em parte, a diferença na dinâmica de crescimento em relação à cana-planta.

Na cultura da cana-de-açúcar, estudos desse tema só foram pioneiramente iniciados por

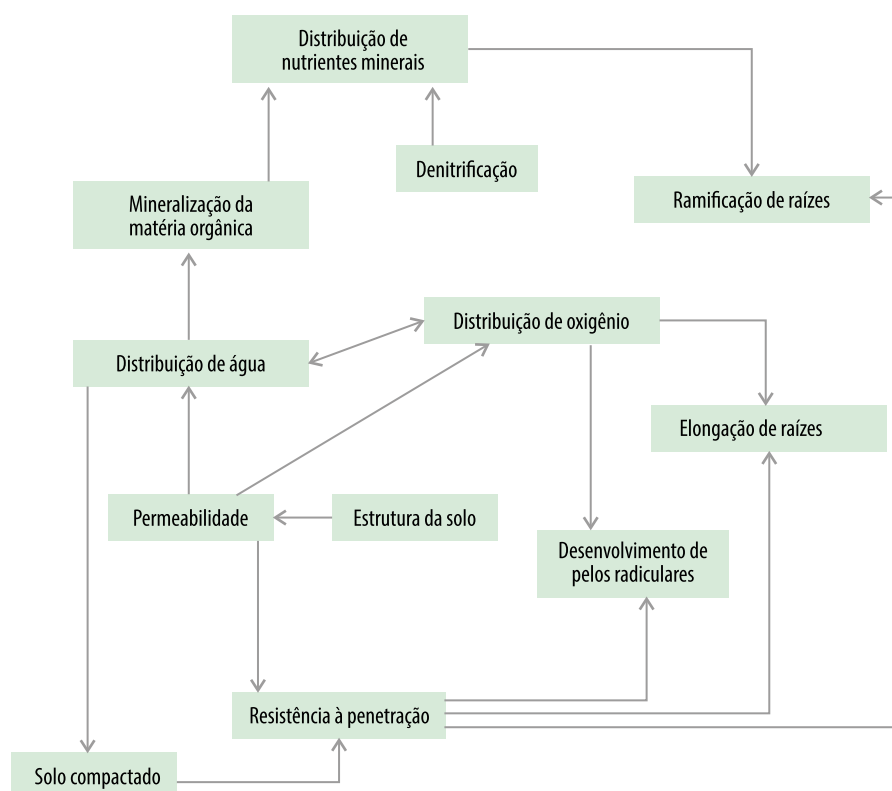


Figura 3.9. Influências das condições físico-químicas e estrutura do solo em características de crescimento de raízes.

Fonte: Adaptado de Goss et al. (1993).

Evans, em 1935, em Mauritius, com a publicação de dois trabalhos intitulados *Investigation on the root system of sugarcane varieties* e *The root system of the sugarcane. I. Methods of study*, ambos publicados como Boletim Técnico da revista *Sugar Cane Research* (Dillewijn, 1952).

O acesso aos resultados dessas publicações só foi possível por meio das revisões de Dillewijn (1952) e Humbert (1968) sobre o assunto. No Brasil, o primeiro trabalho que estudou a distribuição do sistema radicular em cana-de-açúcar no campo foi o dos pesquisadores Inforzato e Alvarez (1957), utilizando uma metodologia aplicada para café por Franco e Inforzato (1946), adaptando-a convenientemente à cana-de-açúcar. Posteriormente, na década de 1980, Ide (1981) e Korndörfer et al. (1989) voltaram a estudar a distribuição de raízes de cana-de-açúcar nos diferentes solos. Recentemente, Vasconcelos et al. (2003) e Faroni e Trivelin (2006) estudaram diferentes métodos de avaliação do sistema radicular de cana-de-açúcar, influenciando os trabalhos desenvolvidos por Otto (2007) e Rocha (2007). Nesses trabalhos, as pesquisas envolvem este órgão como característica de avaliação em resposta a tratamentos aplicados, como fertilizações, manejo de cultura e aplicação de corretivos.

Morfologicamente, quando uma estaca de cana-de-açúcar, comumente denominada de tolete, é posta em contato com o solo, inicia-se o desenvolvimento de dois tipos de raízes. As primárias são provenientes da estaca original e funcionam por um período curto de tempo até que as raízes secundárias se estabeleçam (Figura 3.10). Diferentemente das primárias, as raízes secundárias se originam das novas brotações ou perfilhos, que crescem a partir de gemas basais do estolho oriundo da estaca original. As raízes secundárias são mais grossas, vigorosas, menos fibrosas e mais leves. No entanto, segun-

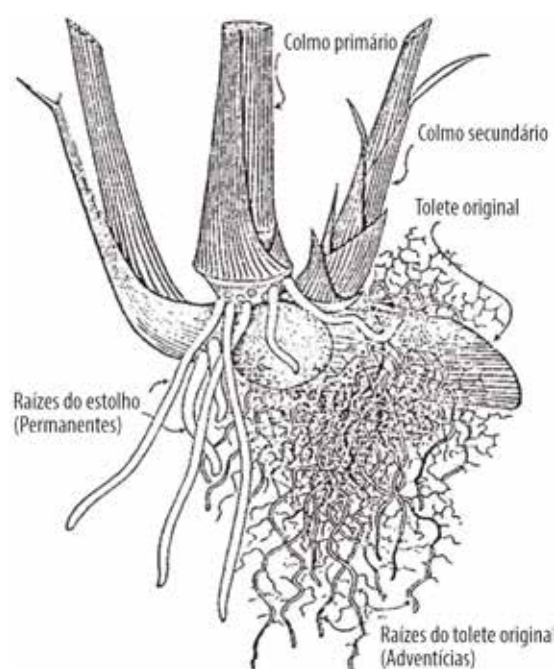


Figura 3.10. Representação esquemática da origem de raízes primárias e secundárias oriundas, respectivamente, da estaca original e dos novos brotos ou perfilhos (estolho).

Fonte: Adaptado de Dillewijn (1952).

do Dillewijn (1952), inicialmente, ambos os tipos de raízes são fundamentalmente idênticos.

Segundo Humbert (1968), após o corte da cana por ocasião da colheita, a soca se nutre, inicialmente, por intermédio do sistema radicular das plantas anteriormente colhidas, até que um novo sistema de raízes se adéque e cresça, sendo capaz de absorver água e nutrientes para o desenvolvimento da nova planta. As raízes velhas tornam-se escuras e vão sendo cada vez menos efetivas, finalmente morrem e se desintegram.

A substituição de raízes primárias por secundárias foi muito estudada por pesquisadores na Índia e no Havaí. Os pesquisadores encontraram que, nas idades de 37, 58, 81 e 104 dias após o plantio de cana-planta, o peso seco em gramas das raízes primárias foi de 0,8, 0,7, 0,4 e 0,1 g, respectivamente. O das raízes secundárias foi de 3,0, 12,0, 20,0 e 27,0 g. Os pesquisadores mostram que as raízes primárias, por si só, fornecem os nutrientes necessários para o primeiro mês,

após a germinação. Entre o primeiro mês e o final do segundo, há um período de transição, durante o qual a capacidade de suprimento é transferida das raízes primárias para as secundárias. Do final do terceiro mês em diante, a capacidade de suprimento de nutrientes é quase que totalmente dependente das raízes secundárias. É muito relevante, também, os dados desses pesquisadores em que a aplicação de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) a um solo deficiente nesses nutrientes fez decrescer o peso de raízes primárias, enquanto aumentou consideravelmente o de raízes secundárias. (Venkatraman; Thomas, 1922; Dillewijn, 1952).

A dinâmica de raízes em cana-planta mostra uma marcante influência dos nutrientes do solo no estabelecimento mais rápido de um sistema radicular mais eficiente para absorção e, consequentemente, para o desenvolvimento da planta de cana-de-açúcar. Após o estabelecimento completo do sistema radicular, Dillewijn (1952)

descreve três tipos básicos de raízes na cana-de-açúcar: a) raízes superficiais, ramificadas e absorventes; b) raízes de fixação, mais profundas; e c) raízes do tipo cordão, que podem atingir até 6 m de profundidade (Figura 3.11).

Sob condições favoráveis de água e nutrientes, o sistema radicular superficial é responsável por grande parte do processo de absorção. No entanto, sob condições de estresse, essas raízes perdem praticamente sua atividade, passando, então, para o sistema radicular mais profundo, a responsabilidade pela absorção de água e nutrientes. Dillewijn (1952) destaca, ainda, que o peso médio das raízes superficiais, ramificadas e absorventes foi de, aproximadamente, 1,5 kg por planta.

As raízes de sustentação sofrem, frequentemente, distorções em vários planos, aparentemente ajustando seu crescimento para, dessa forma, poder penetrar com facilidade em solos sob es-

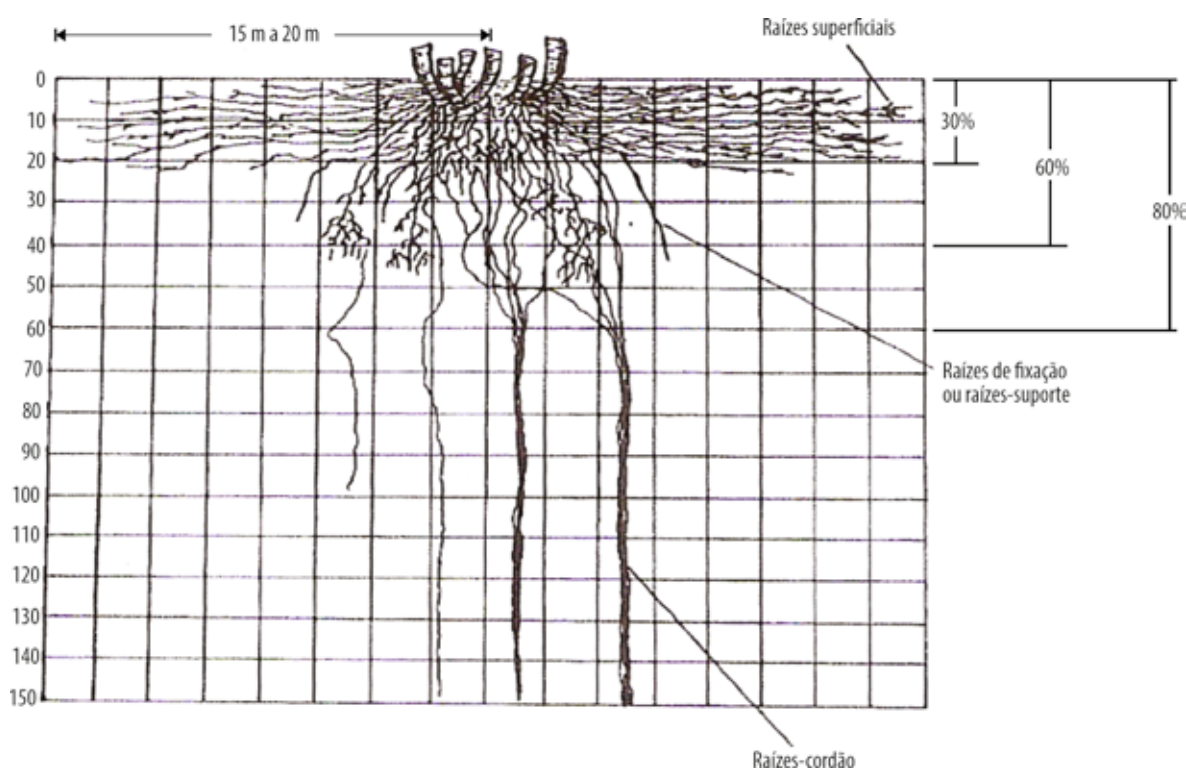


Figura 3.11. Sistema radicular de cana-de-açúcar mostrando os diferentes tipos de raízes: raízes superficiais, raízes de sustentação e raízes do tipo cordão.

Fonte: Adaptado de Dillewijn (1952).

tesse hídrico. Pela sua direção de crescimento, natureza de suas ramificações e sua localização no subsolo, normalmente pobre em nutrientes, se conclui que sua função principal é de sustentação, apesar de que elas, indubitavelmente, podem absorver água e nutrientes, sendo esta função ainda mais pronunciada em condições de estresse hídrico e nutricional. Dillewijn (1952) determinou que o peso médio das raízes de sustentação é de, aproximadamente, 3,0 kg por planta, sendo, portanto, o dobro daquele determinado para as raízes superficiais.

O sistema de raízes em forma de cordão e outras raízes profundas é caracterizado pelo fato de que elas crescem verticalmente e formam feixes que podem conter 15 a 20 raízes. Dillewijn (1952) mostra que essas raízes podem atingir uma profundidade de 5 a 7 m, sendo responsáveis por um poder de absorção muito vigoroso, fazendo com que a planta resista a períodos longos de estresse hídrico.

O sistema radicular da cana-soca é mais superficial do que da cana-planta, no mínimo, até onde o sistema absorvente é considerado. Isso está associado com o fato de que a parte aérea da cana-soca origina-se a um nível mais alto do que na cana de primeiro ano (Figura 3.12).

Dillewijn (1952) descreve que — examinando o sistema radicular superficial de um campo de soqueira, uma semana após a colheita da cana-planta — percebeu que o solo, nas entrelinhas, estava completamente ramificado pelas raízes das plantas recentemente colhidas (Figura 3.13). A quantidade de ramificação mostrou-se maior nas entrelinhas do que próximo aos brotos. Em profundidade a partir de 15 cm, as superfícies das raízes apresentavam-se escuras e não possuíam pelos absorventes, contrastando com a exuberante quantidade de pelos encontrados nos primeiros 15 cm superficiais.

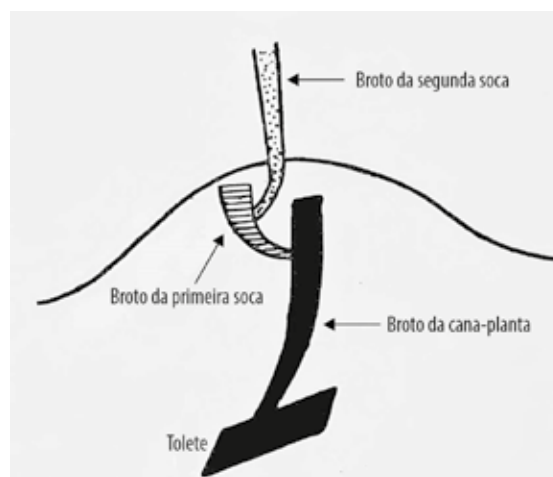


Figura 3.12. Ilustração do fato de que os ramos de cultivos sucessivos de soqueiras originam-se a níveis mais altos do que àquele da cana-planta original.

Fonte: Adaptado de Dillewijn (1952).

Essas observações mostram que, pelo menos no início do seu desenvolvimento, a cana-soca tem um poder limitado de absorção por explorar um volume de solo bastante reduzido. Outras observações de Dillewijn (1952), de fundamental importância para se entender a dinâmica de raízes em cana-soca, foram as que mostram uma considerável quantidade de raízes ativas da cana-planta após a colheita, estendendo-se por um período de até 3 meses.

Desse modo, pode-se esperar que o desenvolvimento do cultivo da soqueira tenha a vantagem do sistema radicular herdado da cana-planta pela formação de novas radículas sobre a estrutura principal previamente formada.

No entanto, isso ocorre durante um limitado intervalo de tempo, porque o sistema radicular velho passa a ser inativo e se degenera, enquanto um sistema de raízes completamente renovado é formado pelo desenvolvimento dos ramos da cana-soca. Porém, esse processo de substituição é gradual, com as raízes mais velhas herdadas do cultivo anterior funcionando lado a lado com as novas raízes emitidas pela soca. Dillewijn (1952) postula que há evidências de que as raízes mais

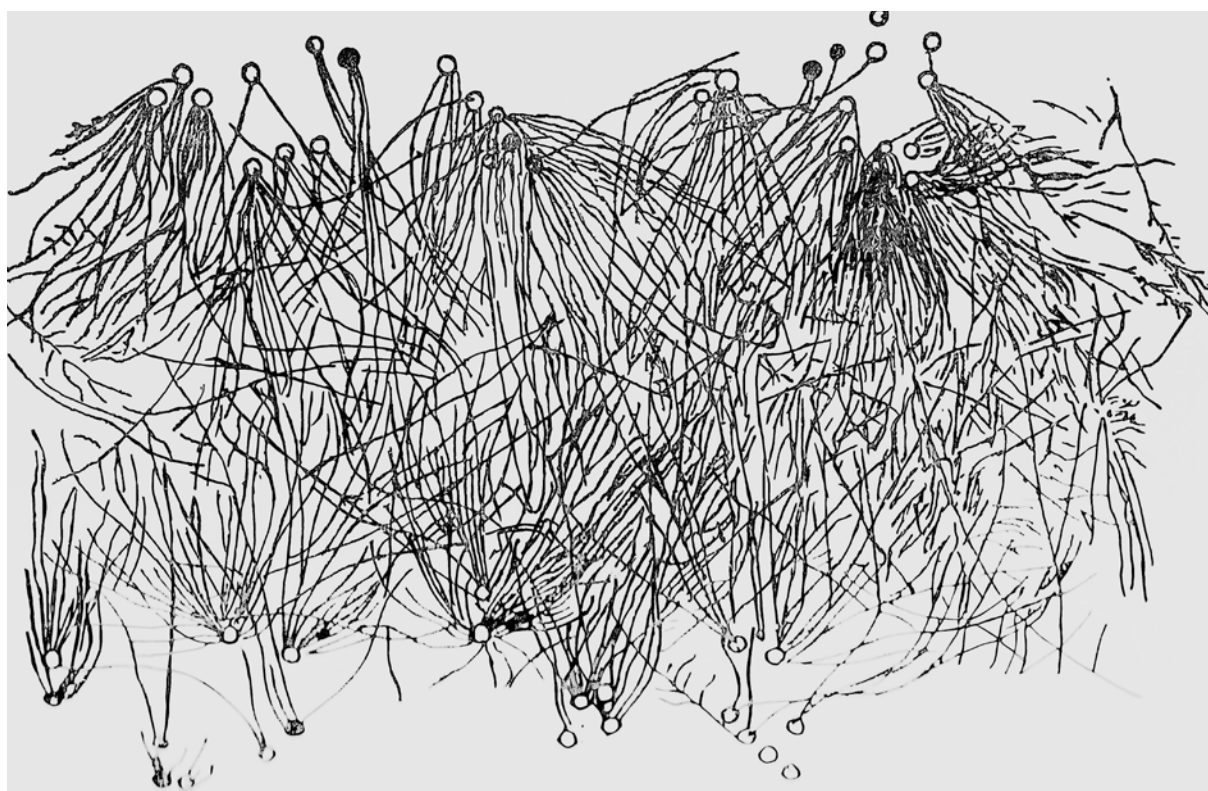


Figura 3.13. Distribuição de raízes na entrelinha de soqueira uma semana após o corte da cana-planta, mostrando um plano de raízes de até 15 cm de profundidade.

Fonte: Adaptado de Dillewijn (1952).

profundas da cana-planta permanecem ativas por um período ainda mais longo de tempo do que as superficiais.

Inforzato e Alvarez (1957), estudando a distribuição do sistema radicular de cana-de-açúcar aos 6, 12 e 18 meses, mostraram que a distribuição de raízes foi homogênea nas diferentes camadas de solo (Tabela 3.4). Os autores afirmam, também, que a maior concentração de raízes se deu nos primeiros 30 cm, com uma média, nas três idades, de 59,3%. No entanto, os dados mostram uma redução sistemática no peso de raízes em profundidade.

Por sua vez, se considerarmos, para este caso, peso como indicador de quantidade, na profundidade de 10 a 20 cm, é onde se encontra a maior concentração de raízes (peso por unidade de camada) em todas as idades estudadas, ou seja, 33,45, 180,50 e 208,00 g de raízes aos

6, 12 e 18 meses, respectivamente. A partir dessa profundidade, há uma redução sistemática no peso de raízes e/ou na quantidade. No entanto, o cálculo da média, acumulada até os 20 cm para as três idades, corresponde a 47,9%. Esse número poderia ser muito maior se não fosse o baixo acúmulo de raízes até os 20 cm iniciais de solo, que poderá ter sido proporcionado por um crescimento inicial de raízes mais pesadas e menos ativas.

Essa discussão é oportuna para que se possa questionar a que profundidade se deve amostrar um cultivo de cana-de-açúcar com o objetivo de recomendar corretivos e fertilizantes. Os dados de Inforzato e Alvarez (1957) sugerem que, como a maior concentração de raízes se encontra até 30 cm de profundidade, então, a amostragem, inquestionavelmente, teria de ser até essa profundidade. No entanto, o maior peso de raízes por volume de solo ocorreu até

Tabela 3.4. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em três idades, em Argissolo escuro do estado de São Paulo.

Profundidade (cm)	6 meses			12 meses			18 meses		
	Por camada		Acumulado	Por camada		Acumulado	Por camada		Acumulado
	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(%)
0–10	30,95	14,40	–	404,00	41,80	–	168,00	23,80	–
10–20	33,45	15,50	29,90	180,50	18,70	60,50	208,00	29,50	53,30
20–30	23,75	11,00	40,90	101,70	10,50	71,00	90,00	12,70	63,00
30–50	24,60	11,40	52,30	49,20	5,10	76,10	68,00	9,60	75,60
50–70	22,50	10,50	62,80	43,60	4,50	80,60	36,00	5,10	80,70
70–90	17,50	8,10	70,90	49,00	5,10	85,70	28,40	4,00	84,70
90–110	15,00	7,00	77,90	29,80	3,10	88,80	25,80	3,70	88,40
110–130	12,50	5,80	83,70	27,90	2,90	91,70	20,45	2,90	91,30
130–150	11,25	5,20	88,90	24,30	2,50	94,20	17,25	2,40	93,70
150–170	7,65	3,60	92,50	21,00	2,20	96,40	16,45	2,30	96,00
170–190	8,30	3,90	96,40	19,00	2,00	98,40	14,20	2,00	98,00
190–210	7,65	3,60	100,00	15,50	1,60	100,00	13,70	1,90	99,90
Total	215,10	–	–	965,50	–	–	706,20	–	–

Fonte: Inforzato e Alvarez (1957).

os 20 cm, o que poderia sugerir uma amostragem um tanto quanto segura nessa profundidade, como ainda é prática comum em algumas regiões canavieiras do País. Peso, entretanto, não pode ser sinônimo de quantidade e nem tão pouco de atividade, não justificando, então, amostragens nessa profundidade. Inforzato e Alvarez (1957) observaram, ainda, que, aos 6 meses, as raízes foram além de 2,10 m de profundidade, atingindo 3,30 m na planta adulta, ou seja, aos 18 meses de idade. O máximo de raízes vivas foi encontrado aos 12 meses, período de intenso crescimento da planta e, uma mortalidade acentuada aos 18 meses, principalmente nas camadas superficiais.

Os autores calcularam a quantidade de raízes que a cultura da cana-de-açúcar deixa incorporada ao solo após o corte da cana-planta e encontraram que, para uma produtividade final de 100 t ha⁻¹, aos 6 meses de idade, a cultura forne-

ce 1,8 t ha⁻¹ de raízes, atingindo, no final do ciclo, 8,0 t ha⁻¹. Esses números são muito significativos, principalmente no que diz respeito à ciclagem de nutrientes em cultivos sucessivos como o da cana-de-açúcar. Ao estudar a distribuição do sistema radicular das canas planta e soca, algumas diferenças foram claramente perceptíveis, principalmente do ponto de vista morfológico, que por si só refletem toda uma estrutura diferenciada na aquisição de água e nutrientes, especialmente em cana-soca. Morfologicamente, a soca leva uma teórica desvantagem para a cana-planta, pela superficialidade de seu sistema radicular, sendo, portanto, mais vulnerável às situações inesperadas de estresse. Adicionalmente, é provável que condições físicas do solo desfavoráveis à soca pelo manejo intensivo na colheita da cana-planta e operações de cultivo subsequentes, conjuntamente, sejam responsáveis pelas diferenças na dinâmica de raízes

entre cultivos sucessivos de cana-de-açúcar, sendo uma das razões para as menores produtividades das socarias.

Basicamente, a formulação de duas hipóteses pode, até certo ponto, elucidar o problema. A partir do primeiro corte e, sucessivamente, como mostrou Dillewijn (1952), a rebrota ocorre sempre numa posição superior à do cultivo anterior, refletindo numa orientação do sistema radicular mais superficial, formando uma malha de raízes até 15 cm de profundidade (Figuras 3.11 e 3.12). Se a soca não aprofunda efetivamente seu sistema radicular para além dessa camada de solo, é possível que o aproveitamento de água e nutrientes fique limitado. Explorações mais profundas do solo ficam, então, restritas às velhas raízes do cultivo anterior que, gradualmente, vão perdendo sua atividade e, conseqüentemente, sua capacidade de absorção. Esse “*turnover*” de raízes em cana-de-açúcar pode se estender por um período de até 3 meses, em condições normais de cultivo (Dillewijn, 1952). Teoricamente, quanto mais rápida for essa renovação do sistema radicular, maior será a capacidade de suprimento das raízes para atender à demanda de água e nutrientes da parte aérea, pois velhas raízes perdem, com o tempo, sua atividade. Todavia, há variação na proporção entre raízes vivas e mortas durante o ano, sendo que, no período de colheita, existem mais raízes mortas.

Se a colheita da cana-soca ocorre com aproximadamente 12 meses, em um quarto desse tempo, parte da absorção radicular fica dependente de um velho e pouco eficiente sistema radicular. Sendo assim, não se poderia esperar uma manutenção, nem muito menos ganhos de produtividade, com os cultivos sucessivos da cana-de-açúcar. Foi observado ainda, por Sampaio e Salcedo (1987), que se deve dar maior importância ao sistema radicular que permite uma renovação de raízes, porque é ele que serve de

reserva de nutrientes para a rebrota das socas. Nota-se na literatura que, de um modo geral, a cana-soca possui maior volume de raízes, e a isso é atribuído mais pontos de emissão, porém mais superficiais e menos vigorosos (Sampaio; Salcedo, 1987).

Para minimizar esse período de “*turnover*”, a fertilização parece desempenhar um papel fundamental, intensificando essa troca gradual de raízes pouco ativas por um novo e mais vigoroso sistema de absorção de água e nutrientes. Sendo assim, socas bem fertilizadas, muito provavelmente, renovarão seu sistema radicular com maior rapidez, atendendo, dessa forma, em tempo hábil, toda a demanda nutricional de crescimento. Após o corte da cana-planta e demais cortes, o sistema radicular antigo mantém-se ainda em atividade por algum tempo, período em que é substituído pelas raízes dos novos perfilhos da soqueira, sendo esse processo lento e gradual. As raízes das soqueiras são mais superficiais do que as da cana-planta já que os perfilhos brotam mais próximos da superfície do solo, pelo mesmo fato de que quanto maior o número de cortes, mais superficial se torna o sistema radicular (Bacchi, 1983). E, segundo Vasconcelos (2002), além dos impedimentos de origem física no solo, devido ao acúmulo de tráfego durante os cortes, a queda na produtividade das soqueiras também ocorre por causa do sistema radicular mais superficial, e do maior estresse à medida que a planta entra no período mais frio e seco da safra, no outono e inverno.

No entanto, estudos que relacionem fertilização e “*turnover*” de raízes em cana-de-açúcar, com o objetivo de conhecer qual a contribuição nutricional do sistema radicular e do solo no desenvolvimento e crescimento de brotações de cana-soca não foram pesquisados, como no caso de brotações de *Eucalyptus*, particularmente nos trabalhos de Martins (1995) e Teixeira (1996). O conhecimento desses processos,

certamente, proporcionará subsídios necessários para um manejo mais adequado da cana-soca e, conseqüentemente, incrementos significativos de produtividade.

Uma segunda hipótese, que se relaciona mais com o manejo da cultura, diz respeito à compactação de solos sob soqueiras, interferindo diretamente na distribuição do sistema radicular. Se, em cana-planta de 18 meses, Inforzato e Alvarez (1957) mostraram que a maior concentração de raízes se encontra até 30 cm de profundidade, em cana-soca, é provável que essa concentração ocorra a profundidades menores. De fato, nas pesquisas de Dillewijn (1952), parece que a concentração mais efetiva ocorre até 15 cm. Num sistema radicular a essa profundidade e com todo um tráfego de maquinaria agrícola sobre ele, é evidente a marcante influência da compactação na atividade das raízes. Portanto, ressalta-se que, a cada corte/colheita no seu ciclo de produção, um novo sistema radicular é formado (renovação), e cada vez é mais superficial.

Muitos pesquisadores têm estudado o assunto (Martinez; Lugo-Lopez, 1953; Wiersum, 1957; Meredith; Patrick Junior, 1961; Trowse Junior; Humbert, 1961; Monteith; Banath, 1965; Casagrande; Godoy, 1975; Fernandes, 1979) e mostrado os drásticos efeitos da compactação sobre o sistema radicular da cana-de-açúcar. Muitas delas recomendam, como condições físicas favoráveis, a presença de macroporos em níveis entre 15 e 25% e de densidade do solo não superiores a $1,25 \text{ kg dm}^{-3}$, sendo quase que unânimes na recomendação da subsolagem, prática que, no entanto, só se utiliza na renovação de canaviais.

É marcante o número de trabalhos que apenas descrevem o sistema radicular, principalmente em cana-planta, com um déficit considerável para cana-soca, cuja dinâmica de crescimento é fundamental para incrementos de produtividade.

O estudo do sistema radicular, por ser muito trabalhoso, tem sido relegado a um plano secundário, apesar de sua importância. Os principais fatores para que isso ocorra são as grandes variabilidades de condições físicas, químicas e biológicas do solo, além das diferenças ambientais, varietais e durante as fases de desenvolvimento da cultura. No estudo do desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar, há também o agravante no que se refere à renovação de raízes entre ciclos, ou no mesmo ciclo, tornando-se necessária a identificação de raízes vivas ou metabolicamente ativas na massa total amostrada, segundo Vasconcelos et al. (2003) e Faroni e Trivelin (2006).

Descritores botânicos

A caracterização botânica das cultivares é uma das ferramentas que permite distinguir diferentes tipos de cana-de-açúcar. Requer um estudo metódico dos vários aspectos organográficos. O conjunto dessas características permite a individualização de cada cultivar (Aranha; Yahn, 1987).

Os critérios para esse procedimento foram desenvolvidos durante o século XX, estabelecidos universalmente pelo trabalho do botânico Ernest Artschwager. O trabalho foi publicado em 1958 com o fitopatologista E. W. Brandes, ambos do Agricultural Research Service dos Estados Unidos da América (EUA), sendo utilizado até hoje como principal referência para construção de descritores botânicos da cana-de-açúcar em países como Austrália, EUA e Brasil (Artschwager; Brandes, 1958).

Foi esse mesmo trabalho de Artschwager e Brandes que constituiu a base para o desenvolvimento do documento *Descritores botânicos da cana-de-açúcar*, publicado no Diário Oficial da União, de 5 de março de 1998, Seção I, p. 95–98. Tal trabalho foi realizado por uma comissão constituída, naquela ocasião, pelos pesquisadores Sizuo

Matsuoka (UFSCar Campus Araras, SP), Gratuliano G. Calheiros (Universidade Federal de Alagoas, AL), José Luis C. Zambon (Universidade Federal do Paraná, PR), José Nelson L. Fonseca (Embrapa, DF), William L. Burnquist (Copersucar, SP) e Marcos G. A. Landell (Instituto Agrônômico – IAC, SP). Posteriormente, esse trabalho realizado pelos técnicos brasileiros serviu como ponto de partida para o desenvolvimento do documento TG186-1 (International Union for the Protection of New Varieties of Plants, 2005), da União Internacional para a Proteção das Obtenções Vegetais (Upov) desenvolvido entre os anos 1999 a 2002, coordenado por especialistas do Brasil e da Austrália.

No Brasil, um conjunto de leis foi promulgado visando estabelecer a proteção de praticamente todas as áreas da propriedade intelectual, entre elas: a Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996 (Lei de Propriedade Industrial), nela incluindo-se as patentes de invenção e de modelo de utilidade, as marcas, os desenhos industriais e as indicações geográficas; e a Lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997, que instituiu a Lei de Proteção de Cultivares (LPC) (Brasil, 1996, 1997b, 2011).

Apesar dos avanços que a legislação proporcionou, e das mudanças geradas no mercado de sementes e mudas de importantes culturas agrícolas, alguns autores citam que obtentores têm tido dificuldade em exercer seus direitos sobre as cultivares protegidas (Bruch; Dewes, 2006; Fuck et al., 2006, 2007). Existem discussões e propostas de alguns autores para mudanças na legislação de cultivares, citando que, mais importante do que as mudanças legislativas, o que precisa ser mudado é a forma como o produtor encara a utilização de sementes no processo produtivo, como discutido por autores como Bruch e Dewes (2006), Fuck et al. (2006, 2007). Assim como os outros insumos, as sementes são desenvolvidas a partir do trabalho realizado por diversas instituições, que têm nos royalties uma importante fonte de recursos para

o financiamento de suas atividades. Além da dificuldade para a continuidade das pesquisas em melhoramento vegetal, a utilização de sementes ilegais pode comprometer, notadamente, após algumas safras, a produtividade e a sanidade das lavouras.

Os requisitos de uma nova cultivar são avaliados por testes de DHE, referentes à distinguibilidade (D), homogeneidade (H) e estabilidade (E), os quais, quando concluídos, possibilitam ao melhorista gerar uma descrição da cultivar candidata à proteção, utilizando as características relevantes da espécie, como altura da planta, ramificações e perfilhamento, cor e formato de partes vegetativas e reprodutivas, flores, frutos, etc. Devem ser baseados em diretrizes e documentos técnicos que definem os princípios nelles utilizados, tais como o delineamento experimental, as metodologias de análise, além das características a serem observadas. Quando do planejamento de ensaios de DHE, devem ser definidas as cultivares mais similares à cultivar candidata, visando à verificação de distinguibilidade, por meio de comparação direta em plantio lado a lado (Brasil, 2011).

Normatizações de botânica de cada espécie em particular, bem como coleções de referência, têm papel fundamental na identificação das cultivares mais similares à cultivar candidata. Para as espécies cujas diferenças morfológicas ou fisiológicas entre as cultivares não sejam suficientemente evidentes, os testes de DHE podem também se basear nas reações das cultivares a fatores externos, como doenças ou produtos químicos (exemplo: herbicidas). Nesses casos, é fundamental que a condução dos ensaios seja a mais rigorosa possível, a fim de isolar a influência ambiental, entre outros fatores externos. Para isso, metodologias apropriadas baseadas em protocolos científicos devem ser devidamente elaboradas.

Para uma cultivar de cana-de-açúcar ser protegida, ela deve atender aos requisitos de novidade, distinguibilidade, homogeneidade, estabilidade, denominação própria e cumprimento das formalidades legais. Os requisitos técnicos devem ser avaliados por meio do teste de DHE, definido pela Lei de Proteção de Cultivares (Brasil, 1997b). Para que seja possível a solicitação de proteção de uma cultivar no Brasil, o Serviço Nacional de Proteção de Cultivares (SNPC) deve divulgar previamente os descritores mínimos, que são parte da diretriz de DHE da espécie ou do gênero a que pertence. A descrição baseada em critérios morfológicos e botânicos é a maneira mais comum de caracterização de uma cultivar. Por vezes, no entanto, pode ser insuficiente para distinguir cultivares. Dessa forma, está previsto no SNPC a utilização de marcadores moleculares para comparar a cultivar em questão com exemplares mantidos em bancos de germoplasma homologados pelo SNPC. Existem descritores relacionados à touceira que fornecem uma visão mais contextual da cultivar. Seguindo para um maior detalhamento, são utilizados descritores para o colmo da cana, os quais abrangem todas as estruturas relacionadas, como gema, nó e entrenó. Finalmente, detalha-se a copa foliar caracterizando folhas, bainha e palmito. Para a descrição de uma cultivar de cana-de-açúcar, segundo o SNPC (Brasil, 2011), deve-se utilizar touceiras de cana de primeiro corte, de idade entre 10 meses e 12 meses. Essas touceiras deverão estar em condições normais de crescimento, isentas de estresse hídrico ou nutricional. Para as características relativas a entrenós, deverão ser descritos entrenós posicionados no terço médio dos colmos.

Cada avaliação deverá ser realizada numa parcela, contendo, no mínimo, quatro plantas. Para efeitos desses descritores morfológicos, entende-se por “palmito” a região compreendida entre o cotovelo (*dewlap*) da folha mais jovem (Folha + 1)

até a inserção da quarta folha (Folha + 4). Para facilitar a avaliação das diversas características, foi elaborado um esquema de código com valores que podem variar de 1 a 9, posicionado junto à descrição de cada parâmetro. A interpretação dessa codificação é a seguinte:

- 1) Quando as alternativas de código forem sequenciais, isto é, não existirem espaços entre os diferentes valores, a escolha para descrever a característica deve ser somente um dos valores listados. Exemplo: “Colmo: Seção transversal dos entrenós” tem na codificação o valor 1 para “circular” e valor 2 para “oval”. Somente essas duas alternativas são aceitas no preenchimento.
- 2) Quando as alternativas de código não forem sequenciais, isto é, existirem espaços, um ou mais, entre os valores propostos, a escolha para descrever a característica pode ser, além das previstas, variações intermediárias consideradas pelo avaliador.
- 3) Quando as alternativas, por exemplo, são 3-5-7, pode-se usar qualquer valor de 1 a 9, já que ambos os extremos da escala mostram que podem existir valores aquém e além dos indicados.

A seguir, na Tabela 3.5, há a relação das principais características utilizadas para descrição morfológica de cultivares de cana-de-açúcar, segundo o SNPC do Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa).

Nas Figuras 3.14 a 3.20 ilustram-se os descritores botânicos de cana-de-açúcar, servindo de apoio para o preenchimento das características presentes na Tabela 3.5.

Nomenclatura de cultivares

A denominação de cultivares de cana-de-açúcar vem seguindo critérios relativamente uniformes em todo o mundo há muitas décadas. Para as

Tabela 3.5. Descritores morfológicos mínimos de cana-de-açúcar.

Característica (após 20/2/2019)	Identificação da característica	Código de cada descrição
1) VG ⁽¹⁾ Planta: hábito de crescimento da touceira (arquitetura)	Ereto	1
	Semiereto	3
	Intermediário	5
	Semiprostrado	7
	Prostrado	9
2) VG Planta: aderência da bainha foliar	Fraca	3
	Média	5
	Forte	7
3) VG Planta: perfilhamento	Baixo	3
	Médio	5
	Alto	7
4) VG Planta: folhagem	Muito esparsa	1
	Esparsa	3
	Média	5
	Densa	7
5) VG Planta: intensidade da coloração verde da folhagem	Clara	3
	Média	5
	Escura	7
6) MI ⁽²⁾ Colmo: altura (desde a base da haste à base da folha TVD)	Baixa	3
	Média	5
	Alta	7
7) MI Entrenó: comprimento do lado da gema	Curto	3
	Médio	5
	Longo	7
8) MI Entrenó: diametro do lado da gema	Fino	3
	Médio	5
	Grosso	7
9) VG Entrenó: formato	Cilindrico	1
	Tumesciente	2
	Bobinado	3
	Conoidal	4
	Obconoidal	5
	Curvado	6
10) VG Entrenó: seção transversal	Circular	1
	Oval	2

Continua...

Tabela 3.5. Continuação.

Característica (após 20/2/2019)	Identificação da característica	Código de cada descrição
11) VG Entrenó: coloração quando exposto ao sol	Branco e verde	1
	Amarelo e verde	2
	Amarelo e roxo	3
	Verde	4
	Verde e amarelo	5
	Verde e roxo	6
	Roxo	7
	Roxo e amarelo	8
	Roxo e verde	9
12) VG Entrenó: coloração quando não exposto ao sol	Branco e verde	1
	Amarelo e verde	2
	Amarelo e roxo	1
	Verde	2
	Verde e amarelo	3
	Verde e roxo	4
	Roxo	5
	Roxo e amarelo	6
	Roxo e verde	7
13) VG Entrenó: profundidade da rachadura	Ausente ou muito rasa	1
	Média	3
	Profunda	5
14) VG Entrenó: expressão do ziguezague no alinhamento	Ausente ou muito fraco	1
	Fraco	3
	Moderado	5
	Forte	7
15) VG Entrenó: aspecto da superfície da casca	Liso	3
	Médio	5
	Rugoso (suberoso)	7
16) VG Entrenó: cerosidade	Ausente ou muito fraca	1
	Fraca	3
	Média	5
	Forte	7
17) VG Nó: largura da zona radicular (lado oposto da gema)	Estreita	3
	Média	5
	Larga	7

Continua...

Tabela 3.5. Continuação.

Característica (após 20/2/2019)	Identificação da característica	Código de cada descrição
18) VG Nó: coloração da zona radicular quando não exposta ao sol	Branco e verde	1
	Amarelo e verde	2
	Amarelo e roxo	3
	Verde	4
	Verde e amarelo	5
	Verde e roxo	6
	Roxo	7
	Roxo e amarelo	8
	Roxo e verde	9
19) VG Nó: enraizamento aéreo na zona radicular	Ausente	1
	Presente	2
20) VG Nó: zona cerosa	Ausente ou muito estreita	1
	Estreita	3
	Média	5
	Larga	7
	Muito larga	9
21) VG Nó: coloração do anel de crescimento quanto não exposto ao sol	Branco e verde	1
	Amarelo e verde	2
	Amarelo e roxo	3
	Verde	4
	Verde e amarelo	5
	Verde e roxo	6
	Roxo	7
	Roxo e amarelo	8
	Roxo e verde	9
22) VG Nó: largura do anel de crescimento	Estreita	1
	Média	3
	Larga	5
23) VG Nó: saliência do anel de crescimento	Baixa	1
	Média	3
	Alta	5

Continua...

Tabela 3.5. Continuação.

Característica (após 20/2/2019)	Identificação da característica	Código de cada descrição
24) VG Nó: formato das gemas (excluindo asas)	Triangular	1
	Ovalado	2
	Obovado	3
	Pentagonal	4
	Romboide	5
	Redondo	6
	Ovado	7
	Retangular	8
	Bicudo	9
25) VG Nó: proeminência da gema (na segunda folha senescente a partir da parte superior)	Muito fraca	1
	Fraca	3
	Média	5
	Forte	7
26) VG Nó: profundidade da canaleta da gema	Ausente ou muito rasa	1
	Rasa	3
	Média	5
	Profunda	7
27) VG Nó: posição do ápice da gema em relação ao anél de crescimento	Nunca ultrapassa	1
	Ocasionalmente ultrapassa	2
	Sempre ultrapassa	3
28) VG Nó: pubescência na gema	Ausente	1
	Presente	2
29) VG (Somente para cultivares com pubescência) Nó: posição da pubescência na gema	Basal	1
	Apical	2
	Lateral (entorno)	3
30) VG Nó: posição do poro da gema	Apical	1
	Subapical	2
31) VG Nó: almofada da gema (espaço compreendido entre a base da gema e a cicatriz foliar)	Ausente ou muito estreita	1
	Estreita	3
	Média	5
	Larga	7
32) VG Nó: presença de asa na gema	Ausente	1
	Presente	2

Continua...

Tabela 3.5. Continuação.

Característica (após 20/2/2019)	Identificação da característica	Código de cada descrição
33) VG (somente para cultivares com presença de asa) Nó: largura da asa da gema	Estreita	3
	Média	5
	Larga	7
34) MI Bainha foliar: comprimento (folha +6)	Curto	3
	Médio	5
	Longo	7
35) VG Bainha foliar: pilosidade (grupos 57 e/ou 60) folha +3	Ausente	1
	Presente	2
36) VG (somente para cultivares com pilosidade) Bainha foliar: posição da pilosidade (folha +3)	Dorsal	1
	Lateral	2
	Ambos (lateral e dorsal)	3
37) VG Bainha foliar: formato da lígula (folha +3)	Fita	1
	Deltoide	2
	Crescente	3
	Arqueado	4
	Assimétrico vertical	5
	Assimétrico horizontal	6
38) VG Bainha foliar: formato da aurícula subjacente (folha +3)	Transição	1
	Deltoide	2
	Dentoide	3
	Unciforme	4
	Calcariforme	5
	Lanceolado	6
	Falcado	7
39) MI Bainha foliar: tamanho da aurícula subjacente (folha +3) (medida a partir da bifurcação da base do dewlap)	Pequeno	3
	Médio	5
	Grande	7
40) VG Bainha foliar: cor do dewlap (folha +3)	Branco e verde	1
	Amarelo e verde	2
	Amarelo e roxo	3
	Verde	4
	Verde e amarelo	5
	Verde e roxo	6

Continua...

Tabela 3.5. Continuação.

Característica (após 20/2/2019)	Identificação da característica	Código de cada descrição
40) VG Bainha foliar: cor do dewlap (folha +3)	Roxo	7
	Roxo e amarelo	8
	Roxo e verde	9
41) VG Bainha foliar: formato do dewlap	Lanceolado	1
	Gola	2
	Triangular (com margem superior convexa)	3
	Retangular	4
	Triangular	5
	Degrau em corte	6
	Degrau em cunha	7
	Degrau curvo	8
	Degrau sinuoso	9
42) VG Lâmina foliar: arquitetura predominante	Ereta	1
	Ponta curva	2
	Arqueada	3
	Curvada na base	4
43) MI Lâmina foliar: largura no terço médio (folha +3)	Estreita	3
	Média	5
	Larga	7
44) MI Lâmina foliar: comprimento (folha +3)	Curto	3
	Médio	5
	Longo	7
45) VG Lâmina foliar: pubescência na margem (folha +3)	Ausente	1
	Presente	2
46) VG Lâmina foliar: serrilhado na margem (folha +3)	Ausente	1
	Presente	
47) MI Palmito: comprimento	Curto	3
	Médio	5
	Longo	7
48) VG Palmito: formato da seção transversal	Circular	1
	Oval	2

Continua...

Tabela 3.5. Continuação.

Característica (após 20/2/2019)	Identificação da característica	Código de cada descrição
49) VG Palmito: coloração	Branco e verde	1
	Amarelo e verde	2
	Amarelo e roxo	3
	Verde	4
	Verde e amarelo	5
	Verde e roxo	6
	Roxo	7
	Roxo e amarelo	8
	Roxo e verde	9
50) VG Palmito: cerosidade	Ausente ou muito fraca	1
	Fraca	3
	Média	5
	Forte	7
51) Transgenia	Ausente	1
	Presente	2

⁽¹⁾VG: avaliação visual mediante uma única observação de um grupo de plantas ou de pares de plantas.

⁽²⁾MI: mensuração de determinado número de plantas ou de partes de plantas, individualmente.

Fonte: Brasil (2011).

finalidades mais recentes, como a da proteção de novas cultivares de plantas, a denominação, ou seja, o fato de se dar um “nome” específico a uma nova cultivar, sempre mereceu destaque por parte dos especialistas envolvidos, dada a relevância que esse fato tem no processo de proteção de cultivares e na sua posterior comercialização. No Brasil, cabe ao Mapa, por intermédio do SNPC, da Secretaria de Desenvolvimento Rural, esclarecer as dúvidas sobre esse assunto. Considera-se, para os efeitos do art. 3º, da Lei nº 9.456/97, a qual rege os direitos dos obtentores de cultivares no Brasil, que (Brasil, 1997b):

a) Cultivar: a variedade de qualquer gênero ou espécie vegetal superior que seja claramente

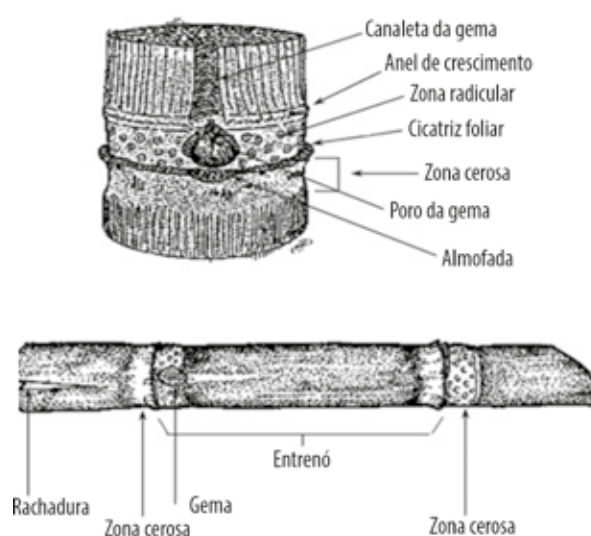


Figura 3.14. Detalhes do nó e entrenó do colmo.

Fonte: Artschwagner e Brandes (1958).

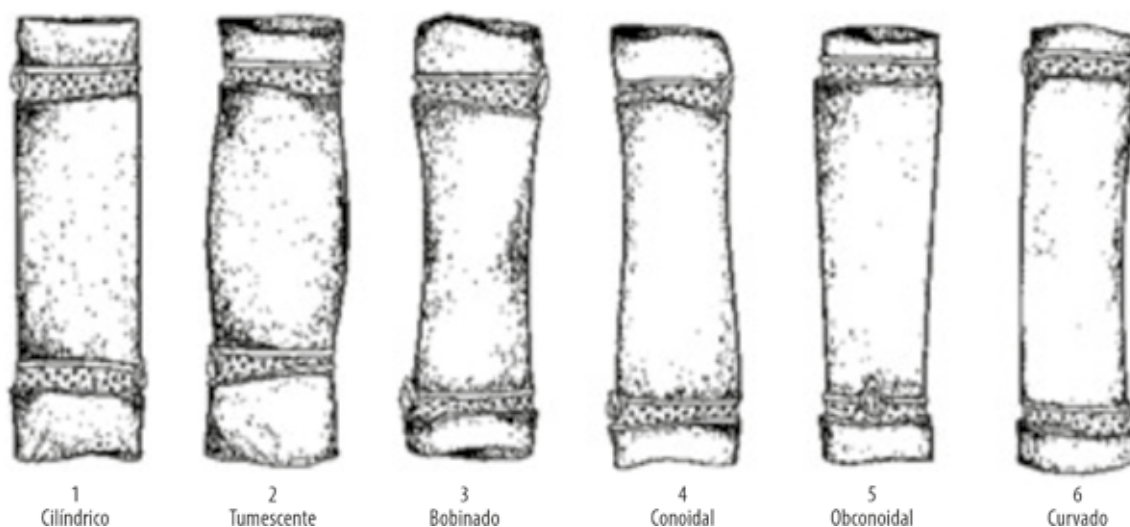


Figura 3.15. Tipos de entrenó do colmo.

Fonte: Artschwagner e Brandes (1958)

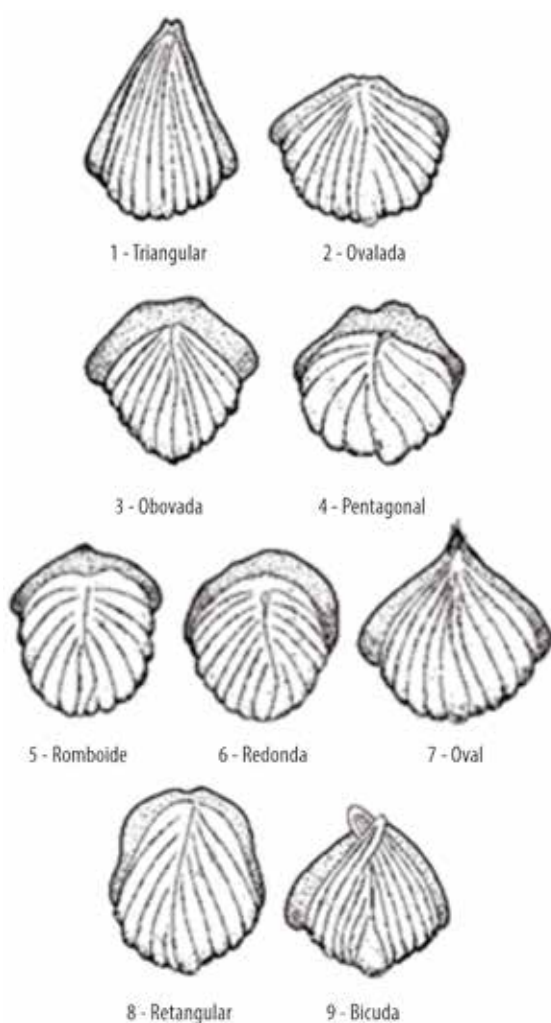


Figura 3.16. Tipos de gemas.

Fonte: Artschwagner e Brandes (1958).

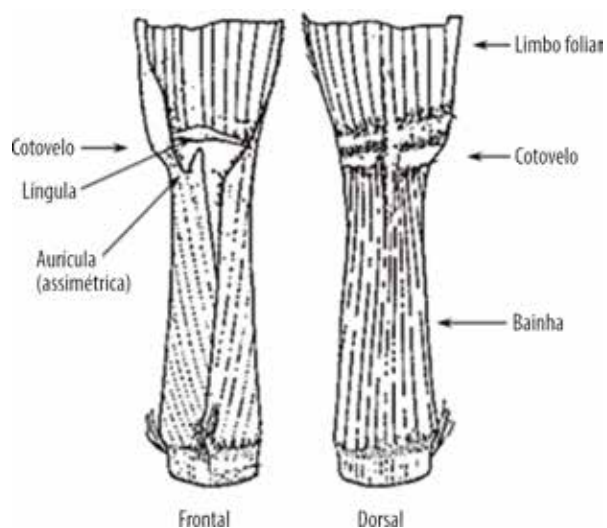


Figura 3.17. Detalhes da base foliar e bainha.

Fonte: Artschwagner e Brandes (1958).

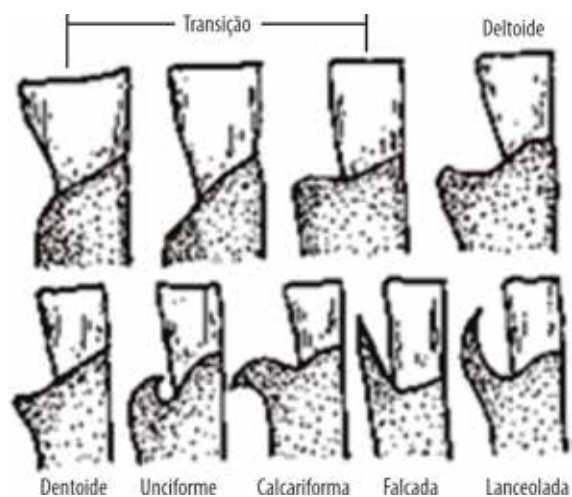


Figura 3.18. Tipos de aurícula.

Fonte: Artschwagner e Brandes (1958).

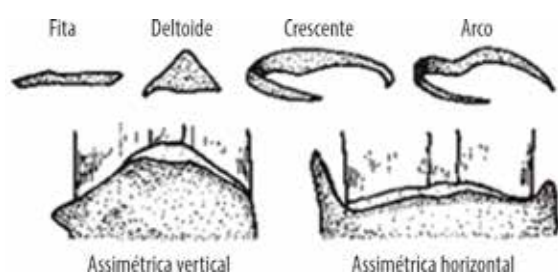


Figura 3.19. Tipos de lígula.

Fonte: Artschwagner e Brandes (1958).

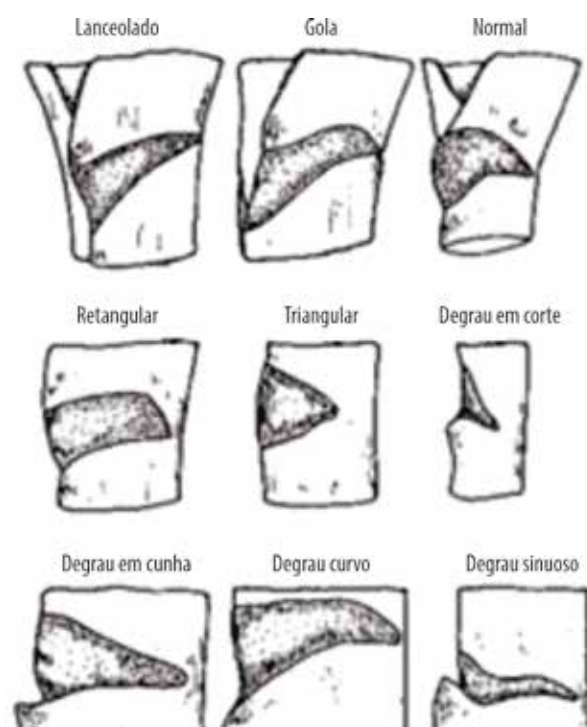


Figura 3.20. Tipos de joelho.

Fonte: Artschwagner e Brandes (1958).

distinguível de outras cultivares conhecidas e identificadas por margem mínima de descritores, por sua denominação própria, que seja homogênea e estável quanto aos descritores, por meio de gerações sucessivas, e seja de espécie passível de uso pelo complexo agroflorestal, descrita em publicação especializada disponível e acessível ao público, bem como a linhagem componente de híbridos.

- b) Toda cultivar deverá possuir denominação que a identifique, destinada a ser sua de-

nominação genérica, devendo, para fins de proteção, obedecer aos seguintes critérios (Art. 15):

- Ser único, não podendo ser expresso apenas de forma numérica.
- Ter denominação diferente de cultivar preexistente.
- Não induzir ao erro quanto às suas características intrínsecas ou quanto a sua procedência.

Assim sendo, no art. 3º, denominação é parte importante do processo de proteção, não podendo existir duas cultivares com a mesma denominação. Também no art. 7º, do Decreto nº 2.366/97, estabelecem-se os critérios de distinção entre as denominações, detalhando as especificidades (Brasil, 1997a). Alguns critérios são indicados como:

- a) A cultivar deve ter apenas uma única denominação.
- b) Efetivamente, a denominação da cultivar não pode ser expressa apenas de forma numérica.
- c) A denominação não pode ressaltar qualidades intrínsecas, que a cultivar possua ou não, com o objetivo de auferir-lhe atributos que o destaquem comercialmente ante as demais cultivares da mesma espécie. Exemplo: Campeão, Superprecoce, etc.
- d) O mesmo raciocínio se aplica quanto à procedência da cultivar, vinculando-se sua denominação a pontos geográficos notadamente conhecidos. Exemplo: Rio de Janeiro, Rio Amazonas, Serra do Mar, etc.

Ainda existe a exigência de que, por ocasião da análise inicial do pedido de proteção, seja verificada, formalmente, a existência de sinonímia, ou seja, outra cultivar de mesma denominação, ou denominação assemelhada na escrita ou na locução, dentre as preexistentes e os protegidos

no Brasil, ou constantes da listagem de cultivares protegidas da Upov.

A Lei de Proteção de Cultivares confere aos obtentores (instituição de pesquisa e/ou melhoristas) o direito sobre a cultivar, obrigando a solicitação de autorização ao titular no caso de venda, reprodução, importação, exportação, bem como cessão, a qualquer título, de material de propagação de cultivar protegido, com denominação correta ou com outra.

A nomenclatura dos atuais híbridos de cana-de-açúcar normalmente informa: a) o país de origem e/ou a instituição responsável pelo cruzamento e seleção; b) o ano de cruzamento ou seleção; e c) o número específico do clone. Um exemplo é a cultivar IACSP94-4004 do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). A sigla contém a sigla de variedades do IAC mais a sigla do programa de origem do cruzamento que originou o indivíduo, no caso SP, do CTC ainda atuando como Copersucar, e 1994 foi o ano da hibridação e 4004 o número de seleção do respectivo clone. Além do IAC, a Ridesa também numera as cultivares dessa forma. Já os demais programas de melhoramento genético de cana do Brasil enumeram de forma sequencial e/ou em razão do agrupamento agrônomo ou de marketing das variedades.

Caracterização agronômica

Cabe ao melhorista selecionar os indivíduos superiores, e essa tarefa muitas vezes é dificultada quando se trabalha em diferentes ambientes e não se tem a preocupação de caracterizá-los em relação ao seu potencial edafoclimático. Uma estratégia adotada é o desenvolvimento de pequenos programas regionais, reduzindo, assim, a diversidade ambiental e suas interações na população introduzida. Essa estratégia não impede que se selecionem genótipos de adaptação ampla, com base na média dos diversos locais. Mas a

opção por uma seleção específica para cada local considerado deverá proporcionar ganhos superiores como constatado por Bressiani (2001).

No Brasil, os programas de melhoramento de cana desenvolvidos pelo IAC, CTC, Ridesa e CanaVialis têm adotado uma estratégia de seleção regional, em que os indivíduos são adaptados de forma específica em cada uma das regiões onde existe o programa de melhoramento. Teoricamente, no final desse processo de seleção, tem-se uma cultivar regional, em um espaço de tempo mais exíguo (7 a 8 anos). Para tanto, o acúmulo de observações em anos sucessivos, abrangendo ciclos distintos das plantas (canas planta, soca e ressoca), interagindo com anos agrícolas subsequentes, é usada como principal ferramenta para o exercício do discernimento do melhorista (Landell et al., 2005). Estratégias semelhantes são utilizadas nos programas de melhoramento de cana da Austrália (Cox et al., 2000), África do Sul (South African Sugar Association, 2004) e do Caribe (Kennedy; Rao, 2000), citados por Landell e Bressiani (2008).

Considerando-se os dados edafoclimáticos das diferentes regiões canavieiras do Centro-Sul brasileiro, observa-se, por exemplo, que regiões como Ribeirão Preto, Assis e Piracicaba diferem acentuadamente nos parâmetros climáticos. Observa-se também que, na região de Ribeirão Preto, existe um maior excedente hídrico no período de crescimento vegetativo em relação às demais, o que, associado às elevadas temperaturas, justifica as altas produtividades aí alcançadas. A região de Assis, por sua vez, não apresenta déficit hídrico histórico no período de maturação, prejudicando esse processo fisiológico. Destaca-se, também, a grande diferença em relação às médias de temperaturas nos períodos de crescimento vegetativo e maturação (Landell; Bressiani, 2008).

Na Tabela 3.6 estão relacionadas as características inerentes às regiões de estudo que, no

processo de seleção, são metas peculiares a serem agregadas às outras características varietais prioritárias (Landell; Silva, 2004). Na região de Piracicaba, por exemplo, onde estão presentes solos de caráter químico ácido, portanto, com altos teores de alumínio em subsuperfície, existe um esforço no intuito de identificar genótipos com maior adaptação a essa condição química, o que normalmente está associado à capacidade de a cultivar desenvolver o sistema radicular mesmo com a presença do alumínio em níveis tóxicos à planta (Landell, 1989). Na região de Ribeirão Preto, que se destaca pelo grande déficit hídrico no período de maturação, agravado pela alta frequência de solos ácidos, buscam-se genótipos capazes de sobressair na brotação no período de seca e, posteriormente, no crescimento das touceiras. O oposto ocorre na região de Assis, onde uma grande ênfase é dada para o potencial de maturação, pois esse consiste na principal limitação para a produtividade agroindustrial competitiva (Landell; Bressiani, 2008).

Perfil agrônomo de uma cultivar

Segundo Borém (1998), a maioria dos programas de melhoramento de plantas objetiva o aumento da produtividade via:

- Eliminação dos defeitos da espécie cultivada.
- Melhorar a performance da população per se.
- Otimização das características morfofisiológicas das plantas.

Nos programas que visam ao aumento de produtividade per se, não há maior preocupação com determinadas características que podem estar associadas à produtividade. No caso da cana-de-açúcar, grandes progressos foram alcançados nas últimas três décadas no estado de São Paulo, no que diz respeito à produtividade agrícola (38,5%) e ao rendimento industrial (41%) (Landell; Vasconcelos, 2006). Grande parte desses ganhos pode ser atribuída ao perfil varietal, alterado drasticamente nas últimas dé-

Tabela 3.6. Características peculiares objetivadas no processo de seleção em cada uma das regiões de estudo do Programa Cana IAC.

Região	Característica peculiar priorizada	Problema fitossanitário priorizado por região
Piracicaba	Aumento do potencial de produção agrícola e tolerância ao alumínio em subsuperfície	Ferrugem
Ribeirão Preto	Maior capacidade de brotar em período de estresse hídrico	Mosaico e escaudadura
Jaú	Maior resistência às doenças fúngicas, maior capacidade de produção em solos de baixa fertilidade	Ferrugem, carvão e escaudadura
Mococa	Maior potencial de maturação em condições de baixo estresse hídrico	Ferrugem
Pindorama	Maior capacidade de brotação em período de estresse hídrico	Escaudadura e nematoides
Assis	Maior potencial de maturação em condições de baixo estresse hídrico	Mosaico, estrias de folhas e ferrugem
Adamantina	Capacidade de realizar grande acúmulo de massa verde no período de crescimento vegetativo	Carvão
Goianésia	Capacidade de suportar período de estresse hídrico e ausência de florescimento	Carvão

Fonte: Landell et al. (2005).

cadados pelos programas de melhoramento em atuação no Brasil. Talvez, a geração de modelos hipotéticos que tenham características associadas à produtividade, à semelhança do que foi realizado em culturas como milho e trigo, possa contribuir para novos saltos na canavieira.

Uma cultivar de cana-de-açúcar deverá reunir um conjunto de características favoráveis. A produtividade superior de energia (açúcar, álcool e fibra), caráter associado ao acúmulo de biomassa e ao teor de sacarose, sem dúvida, é a maior virtude de uma nova cultivar, mas deve estar associada a outras, como (Landell; Bressiani, 2008):

- a) Resistência ou tolerância às doenças e pragas.
- b) Acúmulo elevado de sacarose nos períodos de colheita de outono e/ou inverno e/ou primavera.
- c) Tolerância à seca: possibilita ganhos de biomassa no período inicial de déficit hídrico, manutenção de colmos vivos até a colheita, e capacidade de brotação prolongada da soqueira.
- d) Ausência de florescimento e isoporização dos colmos: importante principalmente em cultivares com maturação médio-tardia e em regiões onde o déficit hídrico é muito acentuado.
- e) Teor de fibra médio-alto visando à maior produção de energia.
- f) Capacidade de brotação sob palha (toneladas de cana por hectare –TCH; longevidade).
- g) Uniformidade da altura e diâmetro de colmos, característica facilitadora do corte mecânico, que reduz impurezas vegetais e indica uma menor variação da idade dos colmos da touceira, proporcionando melhor qualidade na maturação.

- h) Hábito ereto de crescimento, relacionado à redução de perdas, maior rendimento do corte mecânico ou manual e redução de impurezas minerais.
- i) Velocidade de crescimento e capacidade de rápido sombreamento das entrelinhas, associado à redução de mato-competição.
- j) Brotação rápida, vigorosa e prolongada da soqueira. Mantém a população de colmos ao longo dos cortes e também reduz mato-competição.
- k) Densidade de colmos: redução de perdas no processo de limpeza do corte mecânico; redução do custo de transporte de cada tonelada de colmos.
- l) Despalha fácil ou espontânea: redução de impurezas vegetais.
- m) Palmito curto: redução de impurezas vegetais e melhor rendimento de corte.
- n) Diâmetro médio/grosso: aumento do rendimento de colheita e redução de perdas no processo de limpeza na colheita mecânica.
- o) Tolerância ao frio.

Caracterização quanto à maturação e período útil de industrialização

No Centro-Sul do País, a safra da cana-de-açúcar inicia-se em abril e termina em outubro/novembro. Na região litorânea do Norte/Nordeste, o período estende-se de setembro a abril. Por isso, é necessário o uso de cultivares que atinjam um nível ideal de açúcar para industrialização em diferentes épocas. Um dos primeiros pesquisadores a estudar as curvas de maturação no Brasil foi Franz Brieger, que estabeleceu as linhas de base do gráfico que conferem os parâmetros para a caracterização do período útil de industrialização (PUI). O PUI foi estabelecido para porcentagens de sacarose na cana medidos em Pol % Cana, entre

13 e 16%. O valor 13% corresponde à linha de base e, teoricamente, somente após a cana ultrapassar esse valor é que se deve iniciar o corte. No final da safra (safra de primavera), o corte deve ser feito antes que se inicie a queda do Pol para valores inferiores a 15%. (Brieger, 1968).

No período de inverno, quando as restrições ao desenvolvimento vegetativo são elevadas, é quando o valor da Pol % Cana aproxima-se bastante do teor real de sacarose. Nessa ocasião, a cana madura, normalmente, apresenta teor de glicose e frutose (açúcares redutores) inferiores a 0,5% (Fernandes, 2003). Na Figura 3.21 mostra-se a curva de Pol % Cana realizada na atualidade e a objetivada pelos programas de melhoramento. Na Figura 3.22 exemplifica-se essa busca, apresentando uma nova variedade a ser lançada, a cultivar IACSP95-3028, com elevado valor de Pol % Cana nos meses de abril e maio quando comparado a cultivar RB72454.

Os dados de maturação, bem como de produtividades mensais, são informações essenciais para realizar o planejamento otimizado de plantio e colheita. Como suporte da gestão agrícola, as ferramentas de planejamento são baseadas em modelos matemáticos, programação linear, entre outros, que consideram também logística,

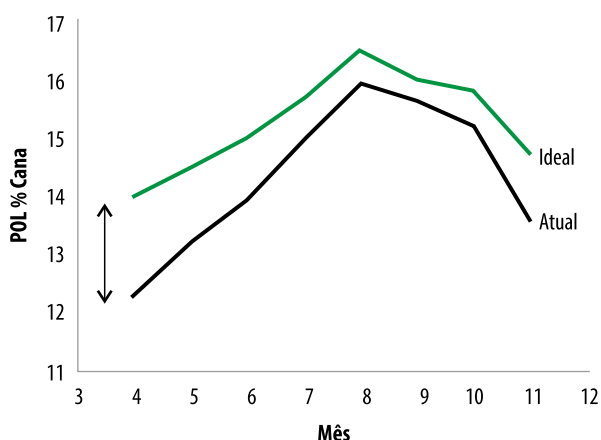


Figura 3.21. Curva de maturação da safra 2002/2003 (amostra de 20 usinas) comparada a uma curva idealizada.

Fonte: Adaptado de Scarpari et al. (2015).

capacidade de moagem, ambientes de produção, produtividades ao longo das safras, restrições de idade e manejo (cana bisada, geada, incêndios, etc.) ou características varietais (Scarpari et al., 2007, 2015).

Biometria

A produção de açúcar por hectare envolve os componentes:

- Produtividade de cana (TCH).
- Teor de sacarose na cana-de-açúcar (Pol % Cana).

O componente TCH pode ser subdividido em:

- Número de colmos por hectare.
- Peso médio por colmo.

O peso do colmo é composto pelo diâmetro, altura e densidade (ds). A altura de colmos (h), número de perfilhos (C) e o diâmetro de colmos (d) são componentes de produção determinantes para o potencial agrícola. Considerando-se a densidade do colmo igual a 1, a produtividade de colmos (TCH) pode ser estimada pela fórmula apresentada na Figura 3.23, na qual o espaçamento entre os sulcos é dado pelo valor E em metros.

Para estimativa do TCH biométrico, adotam-se os seguintes critérios (Landell, 1995):

- Altura do colmo: medido da base à inserção da folha +3 (determinada segundo o sistema de Kuijper), mostrando-se cinco colmos seguidos na linha.
- Diâmetro do colmo, estimado nos mesmos cinco colmos, mensurado no meio do internódio na altura dada por um terço de comprimento do colmo.
- Número de colmos, estimado com a contagem dos colmos de todas as linhas da parcela.

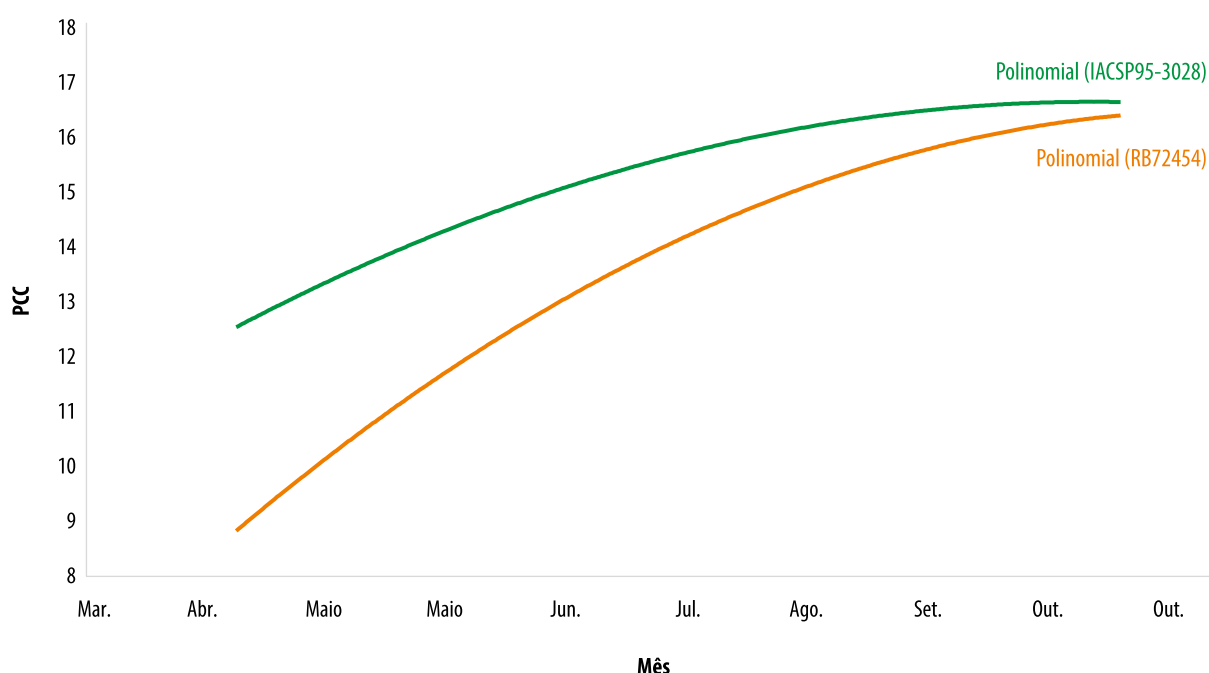


Figura 3.22. Curva de maturação (Pol % Cana) das cultivares IACSP95-3028 e RB72454, estimado por regressão polinomial a partir de 37 amostras no período de abril a novembro.

Fonte: Adaptado de Scarpari et al. (2015).

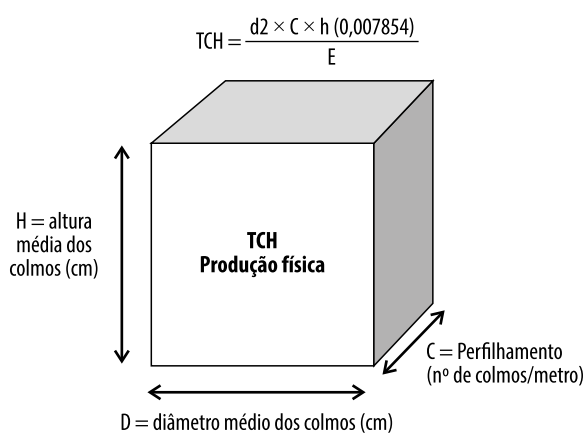


Figura 3.23. Componentes de produção em cana-de-açúcar e cálculo do TCH biométrico.

O TCH é uma medida de produtividade de cana (colmos mais impurezas) da cultura. Corresponde ao peso dos colmos produzidos numa área de 1 ha.

Fonte: Landell et al. (2005).

O uso de escalas conceituais envolve subjetividade, mas é bastante importante nas fases iniciais de seleção. A experiência do melhorista associada à aplicação de escalas pode ser bastante eficaz nessas fases.

A Tabela 3.7 é adotada no Programa Cana IAC para essa finalidade. A escala de conceito 1 é utilizada para características como altura, perfilamento, diâmetro de colmo, brotação de gemas e de soqueiras. A escala de conceito 2 é aplicada para avaliações fitopatológicas, como a ferrugem (Amorin et al., 1987). Conceituam-se, ainda, o florescimento e o hábito de crescimento de touceiras. Adota-se, para a cultivar padrão, a nota 4, no caso das características relacionadas à produção, tais como altura, diâmetro de colmos e perfilamento.

Novas cultivares ainda são caracterizadas em relação à reação às principais doenças. Para tanto, são acumuladas as observações, para cada clone, levantadas durante todo o processo de seleção, assim como também são desenvolvidos estudos epidemiológicos em campo, nas fases finais dos programas, permitindo uma orientação no manejo varietal.

A caracterização dos genótipos é feita em relação às doenças causadas por:

Tabela 3.7. Escala conceitual de notas para avaliação de clones em fase de seleção no Programa Cana IAC.

Grupo	Nota	Conceito 1	Conceito 2
Superior	1	Excepcional	Muito resistente
	2	Ótimo	Resistente
	3	Muito bom	Moderadamente resistente
Médio	4	Bom	Intermediária +
	5	Médio	Intermediária -
	6	Abaixo da média	Moderadamente suscetível
Inferior	7	Inferior	Suscetível
	8	Ruim	Muito suscetível
	9	Péssimo	Extremamente suscetível

Fonte: Landell et al. (2005).

a) Fungo:

- Ferrugem-marrom (*Puccinia melanocephala*).
- Ferrugem-alaranjada (*Puccinia kuehnii*).
- Carvão (*Sporisorium scitaminae*).
- Podridão-vermelha (*Colletotrichum falcatum*).
- Mancha-parda (*Cercospora longipes*).

b) Bactéria:

- Escaldadura das folhas (*Xanthomonas albilineans*).
- Raquitismo da soqueira (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*).
- Estria-vermelha (*Pseudomonas rubrilineans*).
- Gomose (*Xanthomonas axonopodis* pv. *vasculorum*).

c) Vírus:

- Mosaico (*Sugarcane mosaic virus* – SCMV).
- Síndrome do amarelecimento foliar (*Sugarcane yellow leaf virus* – SCYLIV).

Em cana-de-açúcar, a maioria das doenças é controlada via resistência genética (Maccheroni; Matsuoka, 2006), daí a importância de ser realizada a caracterização dos clones, fornecendo

essa informação ao fitotecnista, para que possa realizar o manejo varietal.

Em relação às pragas, a maioria é controlada de forma não genética, mas por meio de controle biológico, químico e cultural. Recentemente o CTC introduziu as primeiras variedades geneticamente modificadas (GMO) resistentes à broca-do-colmo, broca-gigante e outras lepidópteras de menor importância agrônômica. A seguir citam-se as principais pragas da cana-de-açúcar:

- Broca-do-colmo (*Diatraea saccharalis*).
- Broca-gigante (*Telchin licus licus*).
- Bicudo (*Sphenophorus levis*).
- Broca-da-raiz (*Migdolus fryanus*).
- Cigarrinha-das-raízes (*Mahanarva fimbriolata*).
- Cigarrinha-das-folhas (*Mahanarva posticata*).

O Programa Cana IAC também tem a maioria das cultivares caracterizadas em relação às espécies de nematoides mais importantes para a cultura da cana-de-açúcar: *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus zeae* (Dinardo-Miranda, 2006). Para tanto, são

realizados ensaios em campo e vasos (canteiros), segundo Landell e Bressiani (2008).

Caracterização quanto à estabilidade fenotípica

Uma nova cultivar também necessita ser caracterizada em relação ao seu desempenho em diversos ambientes de produção. A estimativa do comportamento de genótipos diante de variações ambientais pode ser determinada pela quantificação da interação “genótipo versus ambiente”. Sob o contexto genético, pode-se quantificar essa interação em função da instabilidade da expressão genotípica dos alelos homozigotos e heterozigotos (Cruz; Carneiro, 2003). Várias pesquisas concluíram que avaliar as respostas de cultivares, em diversos anos agrícolas, locais e cortes, é muito importante na seleção e recomendação (Jackson; Hogarth, 1992).

Trabalhando em ampla rede experimental de ensaios com clones de cana-de-açúcar, durante 5 anos, Raizer (1998) avaliou a interação genótipos x ambientes e diversas metodologias de estabilidade fenotípica. Dessa forma determinou que a metodologia de regressão bissegmentada deveria ser a preferida, por discriminar melhor o comportamento adaptativo dos genótipos, e auxiliou na classificação dos clones mais produtivos e estáveis para fins de liberação comercial. O estudo da estabilidade fenotípica permite sintetizar o enorme volume de informações obtido em uma rede experimental, caracterizando a capacidade produtiva, a adaptação às variações ambientais e a estabilidade de novas cultivares (Raizer; Vencovsky, 1999). Diversas pesquisas na área desenvolveram análises sobre conceitos e índices de estabilidade, sugerindo métodos para estimar a estabilidade fenotípica em plantas (Landell; Bressiani, 2008).

O termo estabilidade tem sido definido de diversas maneiras, estando relacionado ao enfoque

dado pelos melhoristas a esse fenômeno (Borém, 1998). Existem dois tipos de estabilidade, a estática e a dinâmica. A *estabilidade estática* é quando uma cultivar apresenta um comportamento constante, independentemente das variações do ambiente, não ocorrendo desvios em relação ao seu comportamento. A *estabilidade estática* é também denominada *estabilidade biológica* e está mais relacionada às características menos influenciadas pelo ambiente (características qualitativas), como o teor de fibra, curva de acúmulo de sacarose (maturação) e a coloração dos colmos, por exemplo. A *estabilidade dinâmica*, também denominada *estabilidade agrônômica*, está mais associada às características quantitativas (Vencovsky; Barriaga, 1992). Ela é caracterizada quando uma determinada cultivar responde a uma variação do ambiente de maneira previsível. Devidamente estimada, essa estabilidade constitui-se em uma importante ferramenta para o manejo varietal.

Segundo (Borém, 1998), a “adaptabilidade” de uma cultivar refere-se à sua capacidade de aproveitar vantajosamente as variações do ambiente, enquanto a “estabilidade” refere-se ao comportamento previsível dessa cultivar nos diferentes ambientes alocados.

Cruz e Carneiro (2003) recomendam a utilização do termo geral *performance genotípica* para designar o desempenho, o comportamento e as flutuações de um genótipo quando avaliado em vários ambientes. O termo *desempenho* está mais relacionado a caracteres como produtividade agrícola (acúmulo de biomassa), enquanto *comportamento* se refere aos caracteres como resistência às doenças.

Existem diversos métodos para avaliar a *performance genotípica*. Um dos mais tradicionais é a análise de grupos de experimentos. Nesse método, o genótipo que apresentar menor variância será considerado o mais estável. No entanto, é bastante comum os genótipos de menor variância apresentarem baixa produtividade.

Os métodos baseados em regressão têm sido os preferidos, pois permitem descrever as respostas individuais dos genótipos em grupo de ambientes, estimarem indicadores de variabilidade e informarem tendências em gráficos. Esses métodos estimam um índice para cada ambiente estudado a partir da performance média dos genótipos. No entanto, para que a regressão seja de fato uma reta, teoricamente, tanto a produção como o índice ambiente devem ter distribuições normais. A seguir são citados alguns métodos.

Método de Finlay e Wilkinson (1963)

Propõe o cálculo da resposta para cada cultivar em relação ao índice ambiental, o qual será obtido pela média dos genótipos no dado ambiente. O coeficiente de regressão b será a estimativa da estabilidade do genótipo, a saber: $b = 1$ representa a estabilidade média (estabilidade agrônômica), $b = 0$ representa cultivar com completa estabilidade (estabilidade biológica). As melhores cultivares serão aquelas que associarem alta produtividade com $b = 1$.

Método de Eberhart e Russel (1966)

Fornece informações sobre a performance relativa de cada genótipo em relação às médias dos ambientes, bem como em relação a sua resposta linear. A cultivar ideal para os autores será aquela que apresentar produtividade média superior, adaptabilidade geral ou ampla ($b = 1$) e previsibilidade ou estabilidade alta ($\sigma^2 = 0$). A principal contribuição desse método foi permitir a estimação de um índice ambiental pela diferença da produção média de cada ambiente em relação à produção média geral, o que possibilita a estratificação dos ambientes de estudo, conforme apresentado na Tabela 3.8.

Tabela 3.8. Índices ambientais estimados no grupo de ensaios Estadual 2002 do Programa Cana IAC.

Local	Média	Índice ambiental
Us. Ester	92,19	4,20
Us. Alta Mogiana	92,82	4,83
Us. São Martinho	89,74	1,75
Us. Sta. Luiza	93,92	5,93
Us. Dedini	92,40	4,41
Us. Catanduva	85,79	-2,20
Us. Delta	92,95	4,96
Us. Goiasa	102,80	14,81
Us. Jalles Machado	85,75	-2,23
Equipav	50,54	-37,45
Us. Itamarati	81,44	-6,55
Faz. Nova Aliança	95,52	7,53

Fonte: Eberhart e Russel (1966) e Landell e Bressiani (2008).

Na Tabela 3.9 observa-se que o genótipo IACSP94-4004 apresentou a maior produtividade agrícola e alta responsividade ($b = 1,309$). A cultivar IACSP93-3046 caracterizou-se por associar alta produtividade agrícola com boa estabilidade e previsibilidade indicada pelo valor de R^2 . Essa análise ainda revelou ser a cultivar IACSP94-2094 um genótipo de baixa resposta a ambientes favoráveis ($b = 0,784$), caracterizando-se como rústica. Os termos adaptabilidade e estabilidade são frequentemente debatidos e muitas vezes interpretados de formas diferentes entre diferentes pesquisadores. O índice ambiental é uma ferramenta muito interessante, porém, é dependente do perfil de todos os genótipos que participaram do experimento, ou seja, não é estático.

Alguns autores reconhecem o genótipo ideal como aquele que tem alta capacidade produtiva e é responsivo para ambientes favoráveis, além de pouco afetado por condições desfavoráveis (Ex.: IACSP93-3046, conforme Tabela 3.9)

Tabela 3.9. Parâmetros, de estabilidade e adaptabilidade, estimados, segundo o método de Eberhart e Russel (1966), para 18 genótipos de cana-de-açúcar avaliados em 11 ambientes.

Genótipo	TCH	B	R ²
IAC87-3396	95,6	0,896	0,895
IACSP93-3046	97,0	0,876	0,903
IACSP93-3050	97,6	1,061	0,792
IACSP93-6035	68,4	0,667	0,713
IACSP94-2094	94,8	0,784	0,683
IACSP94-2101	92,1	1,271	0,852
IACSP94-4002	81,7	1,283	0,840
IACSP94-4004	101,7	1,309	0,793
IACSP94-5003	72,5	0,823	0,824
IACSP94-5041	89,3	0,948	0,909
IACSP94-5072	77,6	1,177	0,916
IACSP94-6010	80,1	0,932	0,794
IACSP94-6025	91,2	0,955	0,838
IACSP95-6087	92,7	1,369	0,927
IACSP95-6100	86,5	0,934	0,765
IACSP95-6114	85,1	0,804	0,601
RB72454	93,3	0,893	0,752
SP80-1816	86,9	1,018	0,840

Variável TCH estimada a partir da média de quatro cortes realizados no período de inverno.

TCH, toneladas de colmos por hectare; B, coeficiente de Regressão; R², coeficiente de determinação

(Verma et al., 1978; Raizer, 1998; Raizer; Vencovsky, 1999; Cruz; Carneiro, 2003). No entanto, há cultivares que, apesar de terem um comportamento mediano sob condições ambientais desfavoráveis, se sobressaem nos melhores ambientes, caracterizando-se como responsivas ou exigentes (Ex.: IACSP94-2101). Outros genótipos se destacam apenas em ambientes desfavoráveis e são denominados rústicos ou não exigentes (Ex.: IACSP94-2094). Frequentemente, as cultivares que se enquadram nesse último grupo têm menor potencial produtivo (Landell; Bressiani, 2008).

Método de Tai (1971)

Propõe metodologia que estima a adaptabilidade (resposta linear de determinado genótipo, b_i , sob os efeitos dos ambientes) e a estabilidade (desvio da resposta linear em termos da magnitude da variância do erro em relação ao erro associado à interação GA_{ij}). Um genótipo perfeitamente estável apresentaria $b_i = -1$ e $\lambda_i = 1$. Isso corresponde à estabilidade biológica, já definida, ou seja, é uma estabilidade teórica pouco provável de se encontrar para caracteres, de interesse agrônomo, ligados à produtividade.

Método de Verma et al. (1978)

É uma modificação nos métodos anteriores, dividindo os diversos ambientes de avaliação em dois subgrupos, que representam os ambientes desfavoráveis e favoráveis, de acordo com o desvio em relação à média geral dos locais. Assim, o método consiste em avaliar a resposta do genótipo por meio de regressões lineares em dois grupos de ambientes: desfavoráveis (índice ambiental negativo, b_1) e favoráveis (índice ambiental positivo, b_2). Para tanto, há necessidade de um grande número de ambientes, de modo que, em cada subgrupo, tenha um número mínimo de locais que proporcionem comparações estatísticas válidas. Segundo Verma et al. (1978), existem três tipos de genótipos:

- Genótipo ideal: com alta capacidade produtiva, baixa resposta aos ambientes desfavoráveis ($b_1 < 1$), e responsivo para ambientes favoráveis ($b_2 > 1$).
- Genótipos indicados para ambientes favoráveis: responsivos para ambientes favoráveis ($b_2 > 1$), porém sensíveis às condições adversas do meio ($b_1 > 1$).
- Genótipos indicados para ambientes desfavoráveis: não são responsivos para ambientes favoráveis ($b_2 < 1$), porém não são tão sensíveis às condições adversas do meio ($b_1 < 1$).

Método Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis (AMMI)

Tem conquistado cada vez mais adeptos na sua aplicação para melhoramento de plantas. Ele é um método matricial que constrói novas variáveis (AMMI0, AMMI1, AMMI2, ..., ou AMMIF) que são independentes umas das outras e captam as interações genótipo x ambiente. No geral, as primeiras duas AMMIs são suficientes para a captação da maior parte da variância GA e permitem a interpretação através de Biplots. Essa análise combina, em um único modelo, componentes aditivos para os efeitos principais (genótipos e

ambientes) e componentes multiplicativos para os efeitos da interação genótipo x ambiente. Portanto, é útil para identificação de genótipos de alta produtividade e largamente adaptados, assim como na realização do chamado zoneamento agrônômico (Duarte; Vencovsky, 1999).

A Figura 3.24 é um exemplo da aplicação desse método em cana-de-açúcar. Assim, a interpretação gráfica foi realizada considerando-se apenas o biplot AMMI1 (IPCA1 $\times$ TCH). No AMMI1, a abscissa representa os efeitos principais (médias de genótipos) e a ordenada representa o primeiro eixo de interação (IPCA1). Assim, genótipos com valores de IPCA1 próximos de zero são

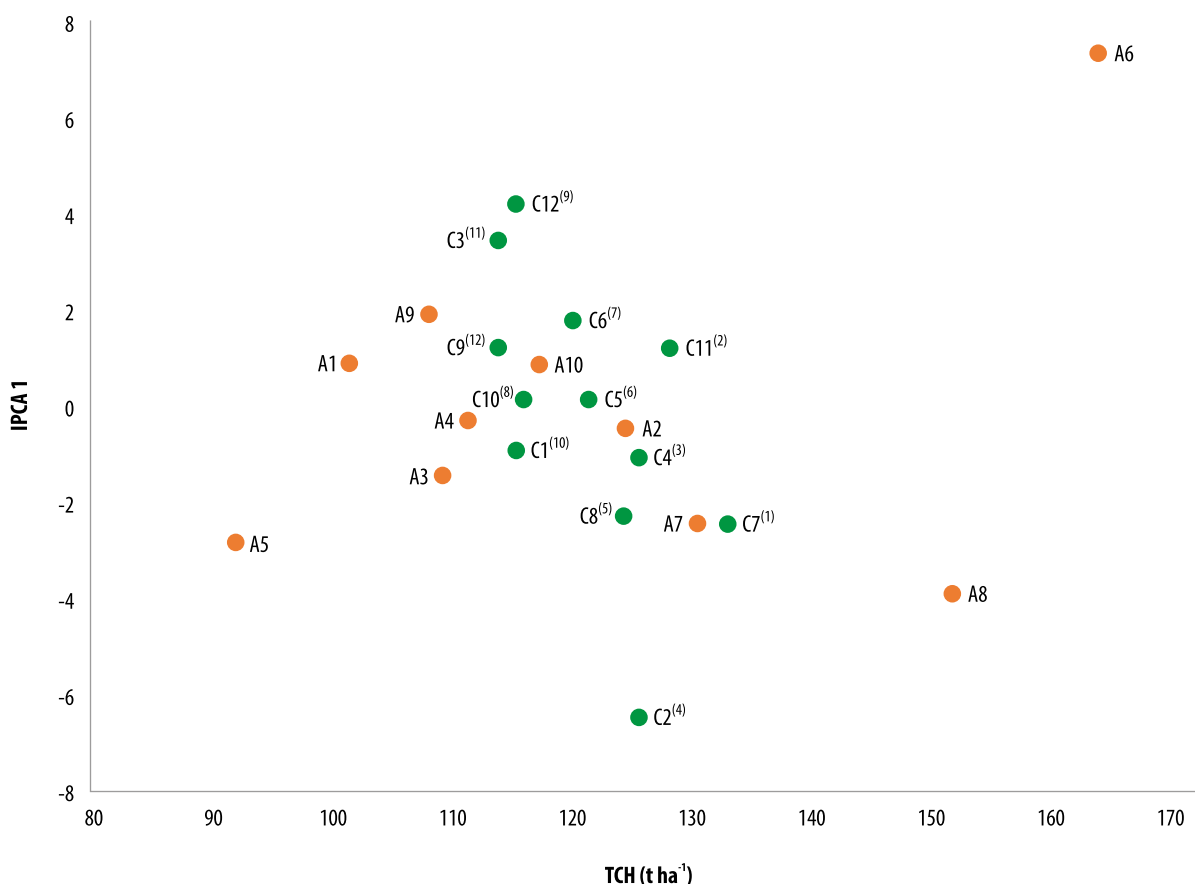


Figura 3.24. Biplot AMMI1 para TCH (toneladas de colmos por hectare) em 12 clones de cana-de-açúcar (C1 = RB975033, C2 = RB975039, C3 = RB975086, C4 = RB975157, C5 = RB975162, C6 = RB975184, C7 = RB975201, C8 = RB975242, C9 = RB975270, C10 = RB975932, C11 = RB867515 e C12 = SP81-3250) e dez ambientes (A1 = Tarumã, A2 = Nova Europa, A3 = Pradópolis, A4 = Guariba, A5 = Olímpia, A6 = Catanduva, A7 = Iracemápolis, A8 = Guaíra, A9 = Cosmópolis e A10 = Piracicaba); o expoente em C indica a posição do clone na lista de médias em ordem decrescente.

Fonte: Fernandes Júnior et al. (2013).

considerados de alta estabilidade nos ambientes de teste. Portanto os clones RB975932 (C10), RB975162 (C5), RB975157 (C4) e RB975033 (C1) apresentaram alta estabilidade fenotípica por estarem próximos da linha do eixo IPCA1. Entretanto, o clone RB975033 apresentou baixa produtividade, abaixo das testemunhas. Os clones RB975201 (C7) e RB975242 (C8) apresentaram estabilidade intermediária e adaptabilidade específica com o ambiente Itacemópolis (A7).

Assim, para definir uma cultivar em relação ao seu perfil de resposta agrônômica, é necessário associar o conhecimento dos ambientes de produção e o desempenho individual do genótipo. Dessa forma, a cultivar deve ser caracterizada da seguinte maneira:

- a) Capacidade produtiva: avaliada pela média de produção agrícola (TCH) da cultivar em um grande número de locais.
- b) “Responsividade”: dada pela estimativa da estabilidade utilizando-se alguns dos métodos já citados. A inclinação da reta de resposta da cultivar a partir do desempenho nos vários ambientes de produção (locais) pode caracterizar três tipos de cultivares:
 - Cultivares estáveis: são variedades que respondem a condições mais favoráveis de cultivo, mas também têm bom desempenho em condições desfavoráveis de produção.
 - Cultivares responsivas: são aquelas que têm grande resposta a condições favoráveis de cultivo, mas não se adaptam aos ambientes mais restritivos.
 - Cultivares rústicas: ao contrário das cultivares responsivas, são aquelas que se adaptam aos ambientes mais restritivos, mas não apresentam boa resposta a condições favoráveis de cultivo.

Método Genotype Main Effects and Genotype x Environment Interaction Biplot

A análise GGE (Genotype and Genotype-Environment Interaction) considera apenas os dois primeiros eixos da decomposição por valor singular da matriz formada pelos efeitos principais de genótipos mais o efeito da interação (confundidos). O efeito principal de ambiente é retirado da análise, pois se considera que ele não é relevante na seleção de cultivares. O biplot construído a partir da análise GGE possui a propriedade de que a característica em estudo pode ser interpretada pelo primeiro eixo singular (PC1) e a interação a partir do segundo componente principal (PC2), representando a maior parte da variância dos dados. Assim, essa análise identifica quais cultivares são superiores nos vários ambientes. A análise GGE biplot permite visualizar: desempenho de diferentes genótipos em um ambiente; adaptação relativa de um genótipo em diferentes ambientes; identificação do melhor genótipo para cada ambiente; estratificação de ambientes; desempenho médio e estabilidade dos genótipos; entre outros. Essa análise mostra que o genótipo ideal deve ter alto valor de PC1 (alta média de produtividade) e próximo de zero para o PC2 (mais estável). Assim, pode-se afirmar que o primeiro componente principal representa produtividade e o segundo, estabilidade. Esse modelo parte do princípio que, para a avaliação do cultivar, apenas o efeito principal de genótipo e o efeito da Genotype x Environment Interaction (GEI) são relevantes. Similar ao modelo AMMI, os genótipos e os ambientes são avaliados visualmente, simultaneamente, em um gráfico denominado biplot (Ferraudo, 2013).

Gauch Junior (2006), após uma comparação sistemática, usando teoria estatística e investigações empíricas e, também, considerando as melhores

práticas atuais, concluiu que o modelo AMMI é decididamente superior ao GGE biplot, não por razões estatísticas, mas sim por razões agrícolas. A AMMI particiona a variação geral sobre os efeitos principais de genótipos, efeitos principais de ambientes e a GEI. Essas três fontes de variação apresentam aos pesquisadores diferentes desafios e oportunidades, por isso, é melhor tratá-los separadamente, ao mesmo tempo que considera todos os três de uma forma integrada. AMMI e GGE biplot, e outras famílias de modelos baseados em Decomposição em Valores Singulares (DVS) são métodos, essencialmente, equivalentes, mas para determinar qual é o melhor modelo, as análises de diagnóstico de cada modelo são essenciais para cada conjunto de dados individuais. Yan et al. (2007) compararam GGE biplot com o modelo AMMI e concluíram que GGE biplot é superior ao AMMI na identificação de mega-ambientes e avaliação de genótipos porque ele explica melhor o efeito principal de genótipo e o efeito da GEI. Maiores detalhes sobre o uso, recomendações e cuidados a respeito dos modelos AMMI e GGE biplot podem ser encontrados em Yang et al. (2009, 2010).

Namorato et al. (2009) compararam os métodos AMMI, GGE biplot e Eberhart-Russel na interpretação da GEI para dados de milho. Os autores concluíram que AMMI e GGE biplot foram mais eficientes do que o método de Eberhart-Russel e, adicionalmente, GGE biplot explicou uma maior proporção da soma de quadrados da GEI sendo mais informativa no que se refere aos ambientes e desempenho das cultivares em relação ao modelo AMMI. Ramburan et al. (2011) utilizaram os métodos AMMI e GGE biplot para identificar fatores ambientais relevantes para a GEI em cana-de-açúcar na África do Sul. Os resultados deste estudo contribuíram na reestruturação da rede de ensaios multiambientes do programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar da África do Sul, por meio da explo-

ração e direcionamento dos fatores ambientais relevantes nas diferentes regiões.

Modelos Mistos – REML/BLUP

Segundo Resende (2007), a avaliação de materiais genéticos em experimentos de campo tem dois objetivos: a) inferir sobre valores genotípicos de tais materiais; e b) ordenar os materiais genéticos com base em seus valores genotípicos, visto que a média fenotípica carrega os efeitos de blocos, parcelas e efeitos ambientais aleatórios que não se repetirão quando forem plantados novamente em plantios comerciais, mesmo que seja no mesmo local ou região da experimentação. Como esses efeitos estão embutidos em alguma proporção nas médias fenotípicas, isso prova que essas médias não são adequadas para inferência sobre os valores genotípicos dos materiais genéticos. Assim, na estimação e predição dos valores genotípicos, o mais importante é a escolha do método de estimação ou predição.

O modelo misto foi apresentado por Henderson (1973), mas foi concebido por volta de 1949 pelo próprio Henderson. Nesse modelo, os candidatos à seleção são variáveis aleatórias não observáveis pertencentes a mais que uma população, e o mérito de cada candidato é a soma da média da população mais o valor predito da variável aleatória associada ao candidato. Neste caso, a seleção depende, também, de efeitos fixos desconhecidos. Esse método foi formalmente e amplamente divulgado a partir da década de 1970 e ficou conhecido como Best Linear Unbiased Predictor (BLUP), em português, melhor predição linear não viciada ou não tendenciosa. O BLUP é um estimador do tipo *shrinkage*. Um estimador do tipo *shrinkage* pode ser visto como um coeficiente de confiabilidade que, no caso dos experimentos de desempenho genotípico, é função da herdabilidade ao nível de médias por meio das repetições. Em outras palavras, a média fenotípica é ajustada

pelo fator de confiabilidade, que é um estimador do tipo *shrinkage*.

Ressalta-se que o interesse do melhorista e do produtor rural é sobre os fenótipos que ainda não foram observados, uma vez que o número de locais para realizar experimentação é restrito e é impossível avaliar todas as condições ambientais existentes para se praticar uma seleção “perfeita”. Assim, ao realizar análises estatísticas sob modelos com efeitos fixos de genótipos, propicia inferências sobre os fenótipos que já foram observados. Somente a análise estatística sob modelos do tipo *shrinkage* (por exemplo, com efeitos aleatórios de genótipos) propicia inferências sobre os fenótipos que ainda não foram observados. O melhorista precisa, também, definir estratégias para conduzir da melhor maneira o programa de melhoramento genético e, para isso, faz-se necessário estimar os parâmetros genéticos tais quais a herdabilidade e correlações genéticas por meio da estimação de componentes de variância.

Entretanto, a experimentação de campo está associada ao desbalanceamento de dados devido a vários motivos: a) perdas de plantas e parcelas; b) rede experimental com diferentes números de repetições; e c) perda de locais sob avaliação na rede experimental fazendo que não seja possível a avaliação de todas as combinações de genótipos por ambiente, entre outros. Assim, conforme Resende (2007), o procedimento ótimo de avaliação genotípica refere-se ao REML/BLUP (máxima verossimilhança residual ou restrita/melhor predição linear não viciada), também denominado genericamente de método de modelo misto. Esses dois métodos são relacionados, uma vez que BLUP assume que os componentes de variância apropriados são conhecidos, enquanto o método REML estima os componentes de variância de uma forma iterativa a partir das estimativas BLUP de efeitos aleatórios. Embora as propriedades básicas dessas técnicas sejam conhecidas há

décadas, por causa das suas exigências computacionais, a sua aplicação prática é um fenômeno muito recente. BLUP tem sido o método dominante para estimar os valores genéticos (Lynch; Walsh, 1997).

Resende (2007) argumenta que, durante muito tempo, a análise de variância univariada (Anova) e a análise de regressão foram as principais abordagens para análise e modelagem estatística. Porém, essas técnicas têm limitações para lidar com dados desbalanceados e com parentesco entre tratamentos. O método REML, que é uma generalização da Anova para situações mais complexas, permite lidar com essa situação, permitindo maior flexibilidade e eficiência na modelagem. As principais vantagens práticas do REML/BLUP são:

- a) Permite comparar indivíduos ou variedades através do tempo (gerações, anos) e espaço (locais, blocos).
- b) Permite a simultânea correção para os efeitos ambientais, estimação de componentes de variância e predição de valores genéticos.
- c) Permite lidar com estruturas complexas de dados (medidas repetidas, diferentes anos, locais e delineamentos).
- d) Pode ser aplicado a dados desbalanceados e a delineamentos não ortogonais.
- e) Permite utilizar simultaneamente um grande número de informações, provenientes de diferentes gerações, locais e idades, gerando estimativas e predições mais precisas.
- f) Permite o ajuste de vários modelos alternativos, podendo-se escolher o que se ajusta melhor aos dados e, ao mesmo tempo, é parcimonioso (apresenta menor número de parâmetros).

Assumindo genótipos como efeitos aleatórios, é possível obter predições dos efeitos aleatórios da GEI, e então separar o padrão e ruído como fazem

os modelos AMMI. Nesse sentido, modelo misto e AMMI podem ser vistos como duas abordagens para atingir o mesmo objetivo. Entretanto, o modelo misto tem várias vantagens que contornam todas as limitações do AMMI. Piepho (1999) mostrou que o modelo misto é preditivamente mais acurado do que o AMMI, e também propôs o uso do modelo misto via REML, para a comparação entre os vários procedimentos tradicionais de estabilidade (Finlay; Wilkinson, 1963) e uma versão AMMI considerando os efeitos de locais como aleatórios. O autor concluiu que a maioria das medidas tradicionais de estabilidade podem ser enquadradas no modelo misto, assumindo os efeitos de genótipos como fixos e os efeitos de locais como aleatórios. O método REML é aplicado na estimação de parâmetros, fato que é vantajoso por causa da sua aplicabilidade para a situação de desbalanceamento dos dados e de heterogeneidade de variâncias. Adicionalmente, propicia uma escolha formal do melhor procedimento pelo uso do teste da razão da verossimilhança (REMLRT), visto que os vários modelos de análise se encaixam como submodelos de um modelo mais geral [o modelo de variância ambiental de Lin et al. (1986)], produzindo uma estrutura hierárquica de modelos. Assim, o problema de escolha de uma medida adequada de estabilidade e adaptabilidade equivale exatamente ao problema de identificação da mais apropriada estrutura de variância e covariância. A escolha do método mais adequado é dependente do conjunto de dados analisados (Resende, 2007). Mesma conclusão foi obtida por Gauch Junior (2006). Piepho et al. (2008) analisaram a aplicação do modelo misto BLUP no melhoramento de plantas e ensaios de variedades. O BLUP permite incluir o uso de informações de parentesco para modelar e explorar a correlação genética entre parentes e o uso de estruturas mais flexíveis da matriz de variância-covariância da GEI. Os autores demonstraram que o BLUP tem uma boa capacidade preditiva quando comparado a outros procedimen-

tos e, mesmo nos casos onde não foi utilizado a informação de parentesco, o BLUP demonstrou resultados perfeitamente razoáveis.

Ferraudo (2013), em sua tese de doutorado a partir de um estudo de simulação realizado no ambiente computacional R, apresentou uma comparação entre métodos: a) Eberhart-Russel; b) AMMI; e c) modelo misto (REML/BLUP), e verificou a eficiência de cada método na detecção da GEI e discutiu as particularidades de cada um deles do ponto de vista estatístico. No total, ele simulou 63 casos, os quais consideraram as mais diversas condições para a introdução da GEI, sendo que cada um dos três métodos avaliou mais do que 34.020.000 dados. Assim, a partir dos resultados encontrados neste trabalho, o autor concluiu que cada método detecta a GEI de uma maneira diferente e possui suas limitações. Os três métodos detectaram eficientemente a GEI, porém o modelo misto apresentou maior sensibilidade. Durante a aplicação prática, deve-se respeitar as limitações inerentes e verificar as suposições necessárias de cada método, concluiu o autor.

Dessa forma, as novas cultivares de cana-de-açúcar têm sido recomendadas com especificidade quanto aos diferentes ambientes de produção, com associação ao tipo de manejo agrícola e à época de corte no decorrer da safra. Essa especificidade permite explorar ao máximo o potencial genético das novas cultivares. Um exemplo de recomendação varietal encontra-se no item Principais Cultivares no Brasil, contendo cultivares recomendadas para a época de colheita e o tipo de ambiente de produção.

Manejo varietal

Conceitos gerais

A dinâmica da troca de variedades deve-se à disponibilização de novos híbridos, lançados

ano a ano, após mais de uma década de seleção e testes nos programas de melhoramento vegetal. Na etapa final de seleção, os melhores clones são validados nas áreas de produção das unidades produtoras de açúcar, etanol e energia. O caráter produtividade de colmos em TCH sem dúvida é o mais importante, pois o seu aumento é que vai proporcionar maior eficiência na produção de açúcar, fibra e demais produtos obtidos da cana-de-açúcar.

A produtividade agrícola em TCH de determinada cultivar é conhecida como a expressão fenotípica para o caráter em questão e é composta pelo genótipo da planta somado ao efeito ambiental e à interação desses dois componentes. O manejo varietal em cana-de-açúcar é uma estratégia que procura explorar os ganhos gerados pela interação genótipo versus ambiente, ou seja, tem como objetivo alocar diferentes cultivares comerciais no ambiente que proporcionem a melhor expressão produtiva no contexto considerado. Essa visão engloba um conhecimento especializado e multidisciplinar, sustentado por alguns elementos tácitos somados às informações geradas em um nicho específico (Landell et al., 2005).

Singels et al. (2005) sugerem que há um aumento na produtividade de açúcar alocando corretamente variedades, de acordo com as condições edafoclimáticas, gerenciando corretamente as épocas de maturação e colheita recomendadas para cada variedade, o que poderá proporcionar a máxima expressão do potencial genético.

De acordo com as variedades disponíveis e os ambientes de produção edafoclimáticos de cada região e usina, o planejamento agrícola deve ser realizado visando garantir o fornecimento de matéria-prima para a indústria durante todo o período da safra. Além do TCH, características importantes para a região de produção, tais como teor de sacarose, exigência em fertilidade, época de maturação, nível de florescimento, brotação no

plantio mecanizado e nas soqueiras, porte e nível de perdas na colheita mecanizada, tolerância à seca, resposta às principais doenças, são alguns dos fatores importantes no planejamento varietal de qualquer unidade produtiva. O planejamento da substituição varietal deve começar alguns anos antes, em trabalho investigativo de busca de informações junto às unidades de pesquisa, e depois com a avaliação do histórico, dados produtivos e de qualidade, e ocupação das áreas de reforma e a montagem de viveiros. É recomendado que as mudas sejam tratadas termicamente, gerando obtenção de plantas livres de doenças e com pureza genética. Por meio de técnicas de inspeção, condução, nutrição e plantios sucessivos nos viveiros, as unidades vão ampliando sua área até chegar aos talhões comerciais. No planejamento de plantio, é necessário levar em consideração principalmente a fertilidade das terras agricultáveis, a disponibilidade hídrica e o zoneamento climático. O planejamento varietal, ou seja, a escolha das variedades, é realizada após a determinação dos ambientes edafoclimáticos de produção e o ciclo de colheita (Margarido, 2006).

O manejo varietal da cana-de-açúcar tem como uma das finalidades alocar as cultivares recomendadas pelos programas de melhoramento genético aos ambientes de produção edafoclimáticos disponíveis na lavoura da unidade de produção, obtendo, assim, condições para melhorar o desempenho agrícola (Landell; Bressiani, 2008). O desempenho de variedades de cana-de-açúcar, em diferentes ambientes de produção, é estimado pelo nível de interação do genótipo com o ambiente, por diferentes testes propostos por melhoristas, tais como combinação de métodos paramétricos e não paramétricos ou método da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (Bastos et al., 2007).

Alguns estudos indicam que o potencial biológico de produção da cana-de-açúcar é de aproximadamente 350 t ha⁻¹ de colmos no período

de 360 dias (Landell et al., 2005). A média de produtividade do estado de São Paulo na safra 2005/2006 foi próxima de 90 t ha^{-1} , e, mais recentemente, na safra 2020/2021, ficou próxima de 80 t ha^{-1} . Assim, observa-se que a produtividade atual equivale a cerca de apenas 22–26% do potencial biológico da cultura da cana-de-açúcar (Figura 3.25). Quais seriam, então, os fatores limitantes no ambiente de produção? Realizando essa análise, observam-se os fatores abióticos e bióticos interagindo como “gargalos” de restrição. Os fatores abióticos constituem o substrato físico-químico de um ecossistema, fornecendo os materiais e condições físicas que permitem aos fatores bióticos se desenvolverem. A ação conjunta desses fatores determina o *ambiente de produção*. Assim, *ambiente de produção* é o termo geral que abrange as condições sobre as quais as plantas se desenvolvem, e envolve solo, clima e fatores bióticos, como pragas e doenças, e manejo fitotécnico (Montalván; Montaño-Velasco, 1999). A qualificação do ambiente de produção fornece material essencial para essas interpretações, proporcionando a adoção de estratégias de manejo que reúnem ambientes mais homogêneos a partir da estratificação de sub-regiões equivalentes dentro das quais a interação genótipo versus ambiente é

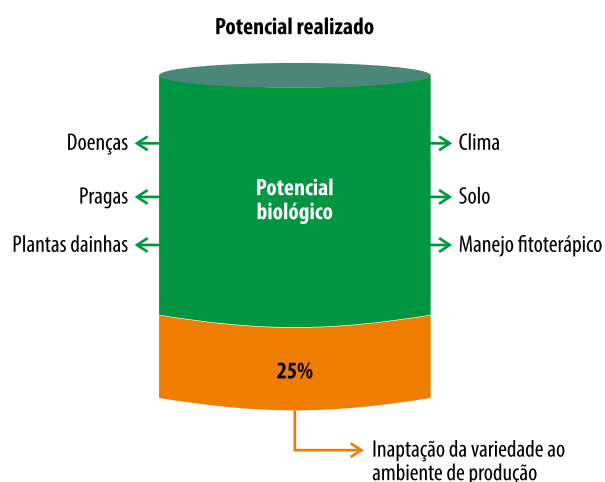


Figura 3.25. Potencial biológico da cana-de-açúcar e fatores de restrição.

Fonte: Landell et al. (2005).

menos significativa. A estratificação ou zoneamento ecológico é um procedimento útil, mas restrito em sua eficácia em razão da ocorrência de fatores incontroláveis nos ambientes, como temperatura e chuvas.

No Brasil, algumas regiões cultivadas com a cana-de-açúcar apresentam deficiências hídricas anuais próximas de 250 mm, associadas a temperaturas médias acima de 24°C . É o caso da região de Goianésia, no nordeste de Goiás. Condições similares ocorrem no sul do Tocantins e do Maranhão, regiões de expansão da canavicultura (Bufon et al., 2013). Nesse contexto, há necessidade de manejo complementar com irrigação logo após a colheita, quando essa é feita nos meses mais secos, visando promover a brotação da soca, da mesma forma que ocorre nos estados produtores do Nordeste, se chama “irrigação de salvamento”. As cultivares a serem utilizadas nessas regiões caracterizam-se pela grande capacidade de suportar esse período crítico, sem perda exacerbada de perfilhos e pela elevada capacidade de acumular biomassa no período que compreende o final da primavera e do verão.

Significativas áreas ocupadas com a cana-de-açúcar no Brasil se encontram inseridas em regiões onde o inverno é seco. No entanto, as temperaturas médias associadas a essa estação podem intensificar ou amenizar a condição de deficiência hídrica, principalmente quando associada à presença de solos arenosos. Períodos de estresse hídrico no solo são um dos fatores responsáveis pela elevada variabilidade dos índices de produtividade nas regiões do Nordeste, principalmente, mas também no Centro-Oeste e Sudeste. O risco de déficit hídrico para a cultura da cana-de-açúcar também varia conforme a capacidade de retenção de água de cada solo, sendo os de textura arenosa, ou compactados, os que apresentam maior risco em todos os locais e todas as épocas de plantio e corte. Nesses ambientes, a viabilidade da irrigação depende

mais da frequência de anos atípicos, com déficit hídrico mais acentuado, e do impacto do déficit dos anos secos na longevidade das soqueiras seguintes. Para que a adoção da irrigação promova, porém, os efeitos desejados quanto à redução da deficiência hídrica no solo, ela precisa ser efetuada com base nos preceitos técnicos mínimos da prática da irrigação. A cana-de-açúcar recebe irrigação, com algum tipo de reposição hídrica, em cerca de 1,7 milhão de hectares, podendo chegar a irrigar 29,5 milhões de hectares (Agência Nacional de Águas, 2012).

Diversos autores citam como essenciais os estudos e avaliações nas áreas: a) resposta e seleção de cultivares mais eficientes quanto ao uso da água; b) escolha do método de irrigação mais indicado para cada condição de cultivo; c) conhecimento da exigência hídrica da cultura em cada fase de desenvolvimento; d) emprego de um manejo racional de água e/ou de nutrientes aplicados via água (fertirrigação). Em ensaios exploratórios com cana irrigada em Goiás, Bufon et al. (2013) reportaram produtividades de cana de ano próximas a 200 t ha⁻¹ com uso de irrigação. Em diversos experimentos, em área comercial de unidade produtora do norte de Goiás, Santos et al. (2014) reportaram produtividades médias próximas a 260 t ha⁻¹ para uma determinada variedade de maturação tardia.

Nas condições do cerrado do norte de Goiás, as avaliações de resposta de cultivares à tecnologia são objetos de diversas investigações. Para avaliar o desempenho de variedades de cana-de-açúcar submetidas à irrigação suplementar, Campos et al. (2014) estudaram o comportamento de 16 cultivares indicadas para a região, de diversos programas de melhoramento. Os autores avaliaram as características relacionadas à produtividade (perfilhamento, altura e diâmetro de colmos), à produtividade de biomassa e à qualidade tecnológica, sendo que o tratamento foi de irrigação suplementar para

suprir 50% da necessidade hídrica da cultura. Uma das conclusões do estudo foi pela seleção de oito cultivares que se destacaram, produzindo 25–30 t a mais no experimento.

Nas regiões do Paraná, sul do Mato Grosso do Sul e Vale do Paranapanema, em São Paulo, a cana-de-açúcar enfrenta outra realidade: a deficiência hídrica é baixa (4–30 mm/mês) e as temperaturas médias são mais amenas (20–24 °C). Essa condição é desfavorável à maturação da cana-de-açúcar; no entanto, é favorável ao acúmulo de biomassa, principalmente nas regiões onde a temperatura média é próxima de 24 °C.

Essa amplitude das condições climáticas associadas à diversidade de solos existentes gera um número contingente de ambientes de produção, os quais vão interagir com os genótipos neles alocados e serão determinantes para definições de época de plantio e colheita, por exemplo (Landell; Bressiani, 2008).

Mudança climática e produtividade

A atual abordagem climática não é importante apenas por debater a influência dos componentes do clima sobre produtividade e a produção agrícola, mas também os cenários de mudanças futuras, com adequação e estimativa da produção em função das possíveis adversidades climáticas. Em um possível cenário desafiador, o melhoramento genético e o manejo varietal serão determinantes na manutenção de produtividades satisfatórias sob condições de estresse abióticos.

Assad et al. (2008) têm advertido para anomalias na temperatura e nos padrões de precipitação, com consequências diretas nas atividades humanas e, especialmente, naquelas relacionadas à produção agrícola. Os autores fazem projeções de longo prazo e indicam que a temperatura média do planeta poderá aumentar

entre 1,4 e 4,8 °C nos próximos 100 anos, com implicações diretas em mudanças nos índices de risco para o desempenho das culturas agrícolas (Summary..., 2013).

Assad et al. (2008) estimam que ocorra redução da área para produção no Nordeste para as culturas do milho, arroz, feijão, algodão e girassol; a soja poderá sofrer perdas de produtividade em até 40% em 2070; o café sofrerá perdas de até 33% da área de baixo risco em São Paulo e Minas Gerais, podendo aumentar no Sul; a mandioca terá um ganho geral em produtividade, e a cana-de-açúcar dobrará sua produtividade nas próximas décadas.

Há incertezas sobre a dimensão desse fenômeno que implicam na necessidade de estudos com modelagem e análise de dados, segundo Ribeiro et al. (2009), analisando possíveis impactos das mudanças climáticas sobre as atividades humanas, recursos naturais e, particularmente, sobre a agricultura brasileira e o impacto das mudanças climáticas sobre a cultura da cana-de-açúcar. Além disso, autores observaram um aumento no número de colmos das plantas, segundo Silva et al. (2008), e também em termos de assimilação média líquida de dióxido de carbono (CO_2), aumentando 24% esse índice ($74.150 \text{ mL cm}^2 \text{ folha h}^{-1}$ versus $60.050 \text{ mL cm}^2 \text{ folha h}^{-1}$). Esse resultado está alinhado com a análise de Marin e Nassif (2013), considerando-se a base do conhecimento disponível na literatura, e indica que a cana-de-açúcar apresentaria uma resposta positiva em relação aos cenários de mudanças climáticas mais prováveis para o Brasil, tanto pela resposta direta da fotossíntese à elevação na concentração do CO_2 quanto pelo aumento da eficiência de uso da água.

Nas considerações de Gornall et al. (2010), as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa e as mudanças climáticas têm uma série de implicações para a produtividade agrícola, mas o impacto agregado delas ainda não é conheci-

do e, na verdade, muitos desses impactos e suas interações ainda não foram quantificados de forma confiável, especialmente em escala global. Um aumento na temperatura média pode ser esperado com segurança, mas os impactos na produtividade podem depender mais da magnitude e do tempo de temperaturas extremas.

A produtividade acumulada (rendimento, t ha^{-1} , TCH) ao longo de um ciclo de cana-de-açúcar mostrou curva exponencial (Figura 3.26). Os resultados da Figura 3.26 e da Tabela 3.9 indicam que a cana-de-açúcar aumentou a sua produtividade com elevação dos teores disponíveis de CO_2 . As estimativas e observações na produtividade na cana-de-açúcar (ambientes enriquecidos versus naturais) foram da ordem de 192 t ha^{-1} versus 168 t ha^{-1} (cana-planta) e 170 t ha^{-1} versus 137 t ha^{-1} (cana-soca).

O modelo foi calibrado com base em dados de assimilação de CO_2 a partir de experiência e de modelo para a fotossíntese de plantas C4 (Silva et al., 2008). As variáveis impulsionadas do modelo são as fotossinteticamente ativas, como radiação, temperatura do ar, precipitação e culturais variáveis, índice de área foliar, taxa de colheita e de ciclo de cultivo. Os modelos têm sido constantemente ajustados para estimar os efeitos do aumento do CO_2 sobre a previsão de desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar (Marin; Nasif, 2013).

Alguns autores consideram que, para corresponder aos novos cenários climáticos e demandas de energia renovável, a cana-de-açúcar deverá ser retomada como novo fenótipo ou conceito de planta ("cana de açúcar e de fibra"), a cana energia (Matsuoka et al., 2014). Novas cultivares deverão agregar alta produção de biomassa e atender com "resiliência" na produtividade, ou seja, produzir mais energia por área e em condições desfavoráveis de cultivo quanto aos estresses abióticos (Matsuoka, 2017).

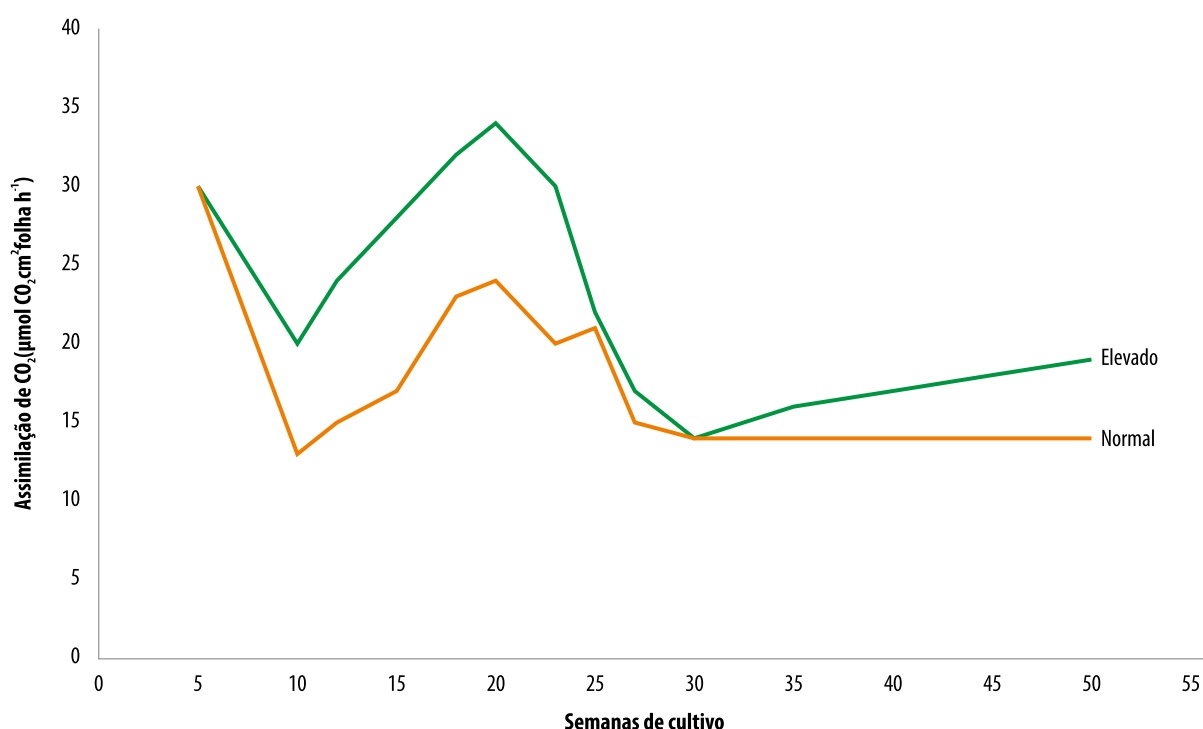


Figura 3.26. Desenvolvimento das canas planta e soca e produtividade durante o ciclo, no cultivo em estado natural e rica em fornecimento de dióxido de carbono (CO₂).

Fonte: Silva et al. (2008).

Tabela 3.9. Produtividade de cana-de-açúcar estimada (t ha⁻¹ de matéria seca) em quatro cenários do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) (A1BAIM, A2MES, B1MES e B2MES) em projetos para os anos de 2050 e 2070, em Piracicaba, Brasil, e com o dobro de concentração de dióxido de carbono (CO₂).

Cenário IPCC	CO ₂ (ppm)	Produtividade simulada (t ha ⁻¹)	
		2050	2070
A1	370	70,98	72,83
	720	72,71	74,80
A2	370	70,34	70,75
	720	72,08	74,20
B1	370	70,67	70,78
	720	72,81	76,30
B2	370	70,51	70,92
	720	72,51	75,80

Fonte: Silva et al. (2008).

Na questão das mudanças climáticas, a cana-de-açúcar no Brasil contribui significativamente na mitigação dos gases de efeito estufa com o

etanol combustível, e a cultura pode contribuir ainda mais com a combinação de um tipo de alto rendimento agrícola, a cana-energia, com o aperfeiçoamento do processo de produção de etanol de segunda geração (2G) a partir de folhas e bagaço e de outros bioprodutos (Carvalho-Neto et al., 2014).

Como algumas das principais oportunidades e características desejáveis em cultivares de cana energia, visando à produção de energia renovável, que contribui para mitigar o efeito estufa, temos:

- Alto potencial de produção de biomassa e conversão de carbono atmosférico para orgânico.
- Opção para cultivo na nova onda de mudança de paradigma da civilização, de energia fóssil para energia renovável.
- Alta densidade de energia, com liquidez energética, e economicamente uma matéria-

- prima mais eficiente do que aquela das culturas tradicionais alimentícias.
- d) Exploração de ambientes de menor capacidade de produção, solos degradados e áreas marginais, pastagem improdutivas, não oferecendo competição com a produção de alimentos.
 - e) Possibilidade de facilitar a exploração do solo, agregar matéria orgânica, incrementar reserva hídrica, controlar erosão, devido ao sistema radicular fasciculado e exuberante, sendo cultura semiperene.
 - f) Adaptação do manejo da colheita e do transporte aos mecanismos utilizados em grande escala na cana convencional.
 - g) No manejo e no melhoramento genético, existem cultivares de alta produtividade em vários centros de pesquisa do Brasil e no exterior, com adaptação para diversas regiões. O processo de melhoramento não é tão complexo na cana energia, e inclusive, mais rápido e projetando-se ciclos de seleção de até 6 anos para desenvolver uma nova cultivar, já que a taxa de multiplicação é muito alta para as fases clonais.
 - h) Em relação a outras culturas para biomassa, a cana energia pode praticamente ser processada o ano todo, gerando bagaço que pode ser armazenado.
 - i) Para algumas cultivares de cana energia, é possível obter o dobro de fibra e com teor de açúcar próximo da metade da cana-de-açúcar tradicional.
- a) População de clones apresenta em alguns cruzamentos alta incidência da doença carvão (*Sporisorium scitamineum*).
 - b) Alta ocorrência de florescimento.
 - c) Baixa massa unitária e densidade no colmo.
 - d) Dificuldades na colheita mecanizada devido à alta massa do material e alta fibra.
 - e) Menor desempenho das moendas para extração do caldo.
 - f) Menor teor de sacarose e alto teor de açúcares redutores dificultariam a cristalização do açúcar.

Épocas de plantio

No estado de São Paulo, tradicionalmente existem duas épocas de plantio: cana de ano e meio (plantada nos meses de janeiro a abril para ser colhida com mais de 12 meses de idade) e cana de ano (plantada nos meses de setembro e outubro para ser colhida com aproximadamente 12 meses de idade).

Atualmente, porém, alguns canavicultores plantam cana quase todo ano, com a finalidade de otimizar a estrutura de plantio e assim reduzir o custo de produção. Isso é possível, principalmente, em regiões onde as temperaturas no inverno não são limitantes para a boa brotação das gemas. A categoria antes denominada “cana de ano”, hoje está subdividida em:

- a) Cana de ano de inverno: o plantio é realizado nos meses de junho a agosto.
- b) Cana de ano de primavera: o plantio é realizado nos meses de setembro a novembro.

A condição climática prevalecente para o ciclo de crescimento da cana plantada no início do ano é mais favorável do que para aquela plantada no final do ano. Naturalmente, especial atenção deve ser dada à “cana de ano de primavera”. Assim, é recomendável realizar esse tipo de plantio

No entanto, apesar das perspectivas, alguns obstáculos podem ser citados em nível de melhoramento genético, manejo agrícola e processamento industrial da matéria-prima da cana-energia, segundo Oliveira et al. (2021):

apenas em solos de maior potencial de produção, ou seja, nos ambientes de produção superiores.

O plantio extemporâneo também pode ser favorecido pelo uso de resíduos da própria indústria sucroalcooleira, como a aplicação de torta de filtro no sulco de plantio ou da vinhaça e/ou da água residual da indústria para fornecer umidade ao solo. No caso do uso da vinhaça, a aplicação poderá ser feita antes e/ou após o plantio.

O plantio no período do inverno e primavera tem possibilitado a antecipação do cronograma de expansão em novas áreas. Na Tabela 3.10, estão enumeradas algumas vantagens e desvantagens do plantio da “cana de ano”.

Épocas de colheita e parâmetros de manejo

A colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo e na região Centro-Sul do Brasil é realizada no período que compreende os meses de abril a novembro. Excepcionalmente, pode-se ter áreas colhidas em março e dezembro. O objeti-

vo no cultivo da cana-de-açúcar é obter a máxima produção de açúcar e/ou álcool em uma unidade de área. Para tanto, tem-se que considerar não apenas o volume de cana colhida, mas também a qualidade dessa matéria-prima. Esse longo período de colheita (abril a novembro) atravessa três estações do ano, iniciando-se no outono (abril a junho), passando pelo inverno (julho a setembro), e terminando na primavera (outubro a novembro). Essas três estações têm importante interferência nos parâmetros de qualidade e quantidade de matéria-prima, como pode ser visto na Tabela 3.11.

O ideal seria associar as produtividades agrícolas obtidas nos talhões colhidos no início de safra com os teores de sacarose de agosto e setembro. Como isso é impossível, tenta-se aproximar desse ideal pelo uso de técnicas diversas, como as descritas na Tabela 3.11.

Segue abaixo a descrição de características de cada uma das épocas de colheita e a peculiaridade de manejo.

Tabela 3.10. Vantagens e desvantagens do plantio da “cana de ano”.

Vantagem	Desvantagem
Retorno mais rápido do investimento	Plantio restrito a ambientes de produção superiores
Utilização intensa do solo	Continuidade de touceiras remanescentes, dificultando o controle de pragas e doenças da cana-de-açúcar
Melhor aproveitamento do adubo residual do ciclo anterior	Calendário restrito para a realização de um bom preparo de solo e incorporação de calcário e/ou gesso
	Restrição ao uso de cultivares “floríferos”
	Danos mais significativos quando da ocorrência de geadas severas

Tabela 3.11. Influência das diversas estações de colheitas do Centro-Sul do Brasil sobre os parâmetros produtividade (TCH) e teor de sacarose (Pol).

	Época de colheita		
	Outono	Inverno	Primavera
Produtividade agrícola (TCH)	Muito favorável	Favorável	Desfavorável
Pol maturação	Desfavorável	Muito favorável	Desfavorável/favorável

Safra de outono

Esse período compreende o início da safra e tem como principal característica a colheita de matéria-prima de pior qualidade, por causa da condição desfavorável para a maturação, predominante no período. No entanto, a colheita nessa época favorece a produtividade das socas. Isso se deve à condição de clima favorável à brotação da cana cortada no período do outono, que se aproveita de chuvas esparsas, importantes para a brotação, e também da umidade residual presente no solo. Dessa forma, a cana colhida nesse período sempre apresenta um melhor *stand* de lavoura, em comparação àquelas colhidas posteriormente. Outro aspecto importante é que os talhões colhidos no outono sofrem, nos primeiros 120 dias do novo ciclo (após o corte), um estresse hídrico minimizado pela baixa demanda de água da planta, que nesse período possui pouca biomassa, e, ainda, em diversas regiões, temos temperaturas favoráveis ao desenvolvimento vegetativo inicial da soqueira. Para maximizar a produção agroindustrial na safra de outono, recomenda-se utilizar as estratégias apresentadas na Tabela 3.12.

Safra de inverno

Esse período compreende o meio da safra e tem como principal característica a colheita de matéria-prima de ótima qualidade, por causa das condições climáticas muito favoráveis à maturação. Essas condições se relacionam ao estresse hídrico e às temperaturas mais baixas do período. No entanto, a colheita nesse período pode trazer prejuízos consideráveis às socas, principalmente em anos nos quais o período de seca é bastante prolongado, ou naqueles em que ocorrem severas geadas. Esse efeito negativo das condições do clima pode ser minimizado com o uso de vinhaça, águas residuais ou “irrigação de salvamento”, aplicados logo após a colheita. É fundamental o uso de cultivares com capacidade superior de brotação e perfilhamento, pois isso garantirá a longevidade dos canaviais colhidos durante o inverno. Na Tabela 3.12 são apresentadas algumas recomendações visando à maximização da produção agroindustrial na safra de inverno.

Safra de primavera

Esse período compreende os meses de outubro e novembro, em anos mais úmidos, com maior

Tabela 3.12. Estratégias na implantação do canavial para maximizar a produção nas diversas estações de colheitas do Centro-Sul do Brasil.

		Época de colheita	
		Outono	Inverno
Produtividade agrícola (TCH)	Cultivares responsivas e estáveis		Cultivares estáveis
			Cultivares sem florescimento e isoporização
			Uso de fertirrigação e/ou irrigação
			Alocação em ambientes favoráveis
			Cultivares estáveis e rústicos
			Cultivares sem florescimento e isoporização
			Uso de matéria orgânica
Pol maturação	Cultivares precoces		Cultivares de alto teor de sacarose
	Maturador fisiológico		Uso de inibidores de florescimento
	Alocação em solos de baixa fertilidade		
			Cultivares com maturação tardia
			Uso de inibidores de florescimento

TCH = Tonelada de cana por hectare; Pol = teor de sacarose.

produção na unidade, pode adentrar em dezembro. Essa época tem como principal característica a oscilação da qualidade e da produtividade ano a ano. Isso se deve à grande dependência que os canaviais da safra de primavera têm dos fatores climáticos. Quando o período de déficit hídrico perdura até novembro, a condição de maturação pode ser excepcional, aproximando-se daquelas encontradas na safra de inverno, porém a produtividade agrícola declina abruptamente por causa da paralisação do crescimento dos colmos que passaram pelo inverno seco e frio. Quando a retomada do período chuvoso ocorre mais precocemente, a maturação é prejudicada, podendo assemelhar-se àquelas atingidas no outono. A safra de primavera é aquela que apresenta maior variabilidade na produtividade, pois esses canaviais estão sujeitos a um curto intervalo no qual as condições são favoráveis ao acúmulo de biomassa, tornando-se extremamente vulneráveis a eventos como: veranicos nos meses de janeiro a março, e a extensão do período seco no outono-inverno.

Para maximizar a produção agroindustrial na safra de primavera, recomenda-se utilizar as estratégias apresentadas na Tabela 3.12. A alocação de cultivares de rápido crescimento pode se constituir em excelente estratégia para garantir uma boa produtividade do ciclo de primavera.

Matriz de ambientes de produção e estratégias de manejo

Cada um dos períodos de safra definidos para o Centro-Sul do Brasil impõe sobre a planta de cana-de-açúcar diferentes condições climáticas durante os estágios fenológicos. Para a Tabela 3.13, que associa os ambientes de produção qualificados segundo conceitos pedológicos, com os três ciclos de desenvolvimento (outono, inverno e primavera), dá-se o nome de matriz de ambientes, que define caselas a partir da

Tabela 3.13. Matriz de ambientes de produção, com nove caselas, dadas pelas combinações de solos e épocas de colheita.

Solo	Safra outono (1º/4 a 21/6)	Safra inverno (22/7 a 21/9)	Safra primavera (22/9 a 30/11)
Médios	3	4	8
Desfavoráveis	6	7	9

intersecção dos níveis dos fatores ambientes e épocas. Essa caracterização permite estabelecer estratégias de alocação varietal quando se conhece o perfil de resposta das cultivares aos ambientes. Portanto, a matriz de ambientes de produção é composta por combinações de tipos de solos e épocas de colheita.

O trabalho de Landell et al. (2003) indicou que a produtividade de ciclos mais avançados da cana-de-açúcar apresenta uma correlação do tipo linear com o gradiente de fertilidade em subsuperfície dos solos (Figura 3.27). Assim, a classificação pedológica pode se tornar importante ferramenta para previsão de produtividade, e principalmente para alocação de cultivares, conforme o seu perfil de resposta.

O grupo de solos favoráveis é composto por aqueles de maior potencial químico, como os eutróficos e mesotróficos, e aqueles com maior potencial de armazenamento de água, como os Cambissolos profundos. No grupo de solos médios, estão inclusos os distróficos e os álicos mais profundos com bom potencial de armazenamento de água. No grupo de solos desfavoráveis, estão os álicos, os Latossolos álicos com teor de argila entre 15 e 25%, os Neossolos Quartzarênicos, entre outros com restrições físico-químicas.

As caselas indicadas na Tabela 3.14 fornecem uma ideia de ordem do potencial agrícola para os ambientes compostos pelas combinações de solos e épocas de colheita. Há similaridade entre

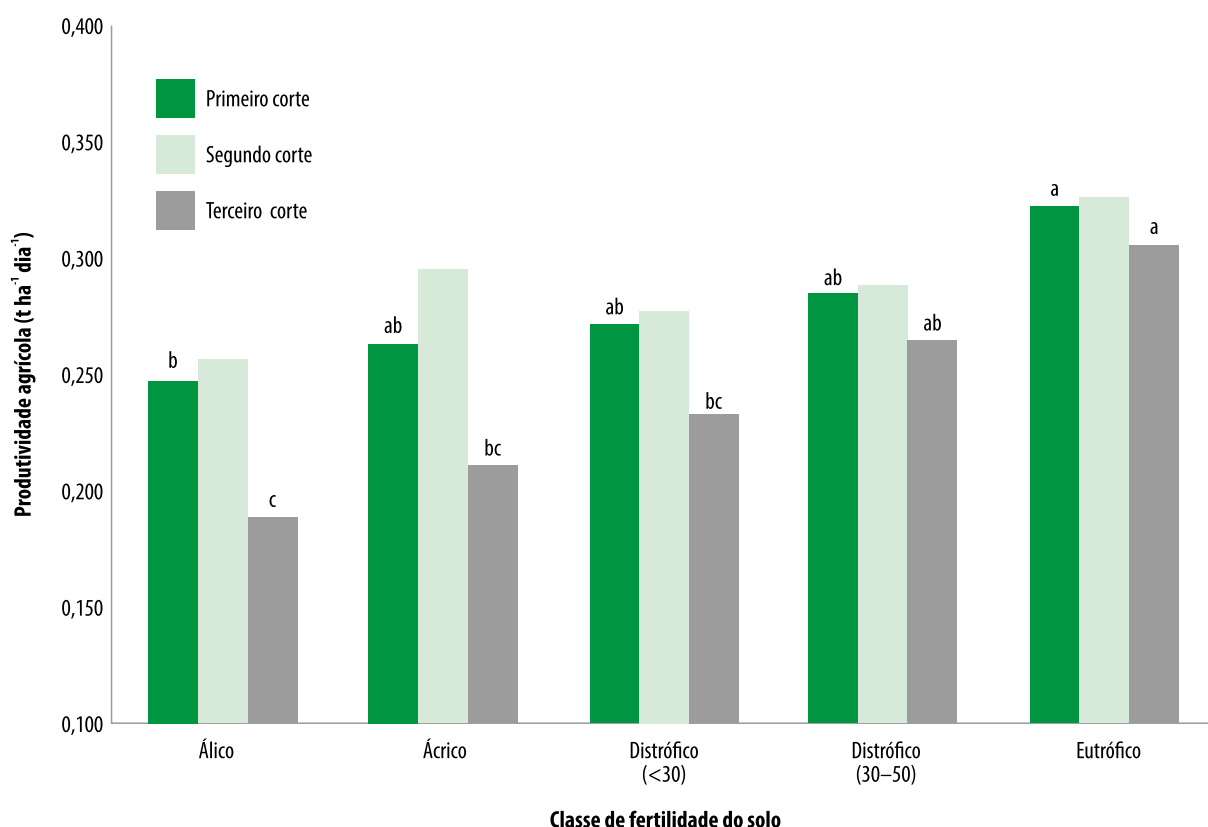


Figura 3.27. Produtividade agrícola ($t\ ha^{-1}\ dia^{-1}$), média de clones, obtida a partir de 42 ensaios em diferentes classes de fertilidade do solo.

Fonte: Landell et al. (2003).

essa ordem e a dos valores de TCH apresentados na Tabela 3.14, embora com maior estratificação no fator de solos.

Associando os conceitos sobre perfil de resposta varietal e matriz de ambientes de produção, pode-se concluir pela alocação das cultivares, segundo a Tabela 3.14, ou seja, as cultivares responsivas devem ser alocadas nas caselas 1, 2 e 3,

e as cultivares rústicas devem ser plantados nas caselas 7, 8 e 9. No entanto, esta é apenas uma das estratégias possíveis, e necessita que haja de fato cultivares com um perfil rústico tal que, alocada nas caselas mais desfavoráveis, ainda apresentem produtividade compatível com o nível tecnológico atual. O que se observa, de uma maneira geral, é que as produtividades em

Tabela 3.14. Matriz de ambientes de produção adaptada para a estratégia de alocação, segundo o perfil de resposta das cultivares responsivas ou rústicas.

Solo	Safra outono (1º de abril a 21 de junho)	Safra inverno (22 de junho a 21 de setembro)	Safra primavera (22 de setembro a 30 de novembro)
Favoráveis	1 Responsivos	2 Responsivos	4
Médios	3 Responsivos	6	8 Rústicos
Desfavoráveis	5	7 Rústicos	9 Rústicos

socas alcançadas na casela 9 são de 30 a 40% inferiores às das caselas 1, 2 e 3. Evidencia-se, aí, a importância de os programas de melhoramento obterem genótipos mais tolerantes à seca e com maior produtividade para essa condição mais desfavorável.

Dessa forma, têm-se duas estratégias de alocação varietal:

- Alocação conforme perfil de resposta varietal – ela possibilita incorporar as altas respostas dos materiais responsivos, elevando a média agrícola da empresa. O uso de cultivares rústicas pode viabilizar ambientes desfavoráveis, como aqueles com elevado déficit hídrico, possibilitando a utilização das caselas 7, 8 e 9 (Tabela 3.14).
- Compensação de perdas – tem como objetivo atenuar os ambientes mais negativos, com a escolha de ciclo mais favorável ao acúmulo de biomassa. A Tabela 3.14 ilustra essa estratégia ao destacar as caselas ambientais com notas de 1 a 9. As caselas 1 a 3 são superiores para TCH; 4 a 6 são intermediárias e 7 a 9 restritivas.

Na atualidade, está se tornando bastante comum lançar mão da estratégia de compensação, que leva a eleger para uso as caselas 1 a 6, evitando as de valores elevados.

A estratégia de alocação conforme o perfil de resposta varietal pode ser ilustrada com o seguinte cenário: imaginem uma partida de futebol, onde as diferentes caselas ambientais equivalem ao time adversário; o fitotecnista, o técnico que decide a partir de um plantel de jogadores (cultivares) como escalar a sua equipe, aproveitando-se da especialidade de cada atleta e analisando as características de cada adversário (caselas) a ser enfrentado. Em outras palavras, tendo solos mais favoráveis e uma necessidade de produzir matéria-prima para os meses de primavera, é necessário “escalar” uma variedade responsiva que tenha uma curva de maturação média/tardia. Caso se tenha um “jogo duro”, ou seja, o ambiente disponível é um solo, de fertilidade bastante restrita, e pode-se “escalar” uma variedade rústica. A antecipação da colheita para o período do outono também constitui uma estratégia adequada para esse tipo de condição.

Na Tabela 3.15, com base nos conceitos discutidos, arbitram-se coeficientes negativos para as condições mais restritivas de produção (solos álicos, ácricos e para o ciclo de primavera) e outros positivos para as condições mais favoráveis (solos eutróficos, mesotróficos e para o ciclo de outono). Assim as caselas assumem valores positivos, nulos e negativos. A indicação na estratégia de compensação é que sejam evitadas

Tabela 3.15. Matriz de ambientes de produção com diferentes níveis dos fatores “solos” e “época de colheita” adaptada à estratégia de alocação, segundo critérios de compensação ambiental.

Solo	Safra outono (+1) (1º de abril a 21 de junho)	Safra inverno (0) (22 de junho a 21 de setembro)	Safra primavera (-1) (22 de setembro a 30 de novembro)
Eutrófico (+2)	+3	+2	1
Mesotrófico (+1)	+2	+1	0
Distrófico (0)	+1	0	-1
Álicos (-1)	0	-1	-2
Ácricos (-2)	-1	-2	-3

as caselas negativas, ou seja, se um ambiente é desfavorável (solos álicos e ácricos), deve-se planejar a colheita desses solos para o outono, pois essa condição minimiza os efeitos negativos dos piores solos e ainda antecipa a maturação.

Para os solos de maior fertilidade ou para aqueles que apresentam maior capacidade de retenção de água, existe maior flexibilidade para o planejamento de colheita, podendo compreender as três épocas. Por sua vez, o ciclo de outono promove maior produtividade, amenizando os efeitos restritivos dos solos álicos e ácricos para a cana-de-açúcar (Prado et al., 1998; Landell et al., 2003). A análise de 66.661 dados experimentais (Tabela 3.16) confirma a matriz proposta na Tabela 3.14.

Nota-se, então, que, mesmo nos solos eutróficos ou mesotróficos, haverá perdas para a colheita de primavera, mas essas perdas são relativamente menores que as dos álicos e ácricos, caracterizando o que chamamos de estratégia de compensação: “colhe-se antes as caselas mais negativas para se perder menos”.

Os dados apresentados na Tabela 3.17 referem-se à prospecção do comportamento varietal em empresa da região Centro-Sul, seguindo-se os critérios anteriormente definidos (Tabela 3.14). Cada casela ambiental apresenta dois valores de produtividade (média de cinco cortes), sendo à

esquerda a produtividade de todas as cultivares colhidas na condição da casela, e à direita está o valor obtido com as cultivares de melhor desempenho para cada casela ambiental. Ressalta-se que as cultivares relacionadas não se encontram cultivadas em todas as caselas, o que impede uma comparação mais apropriada. No entanto, o propósito dessa tabela é revelar que um simples exercício de realocação varietal pode promover ganhos bastante expressivos na produtividade agrícola. No caso presente, eles foram de 18,9% e foram obtidos por cultivares em uso na empresa. A utilização de cultivares mais adequadas e modernas, selecionadas segundo critérios regionais, pode promover ganhos ainda mais expressivos. A Tabela 3.18 mostra um comparativo da cultivar IACSP94-4004 com a RB72454, indicando que os ganhos mais expressivos foram obtidos na região de Mococa, Serra da Mantiqueira, onde a primeira cultivar foi originalmente selecionada.

O uso da matriz impõe por vezes o manejo de cultivares rústicas de maturação média/tardia para outono em ambientes desfavoráveis. O fato de estarem em ambientes restritivos promove de maneira natural uma melhor maturação, que pode ser intensificada, ainda, com o uso de maturadores. Assim, observem que, na casela 6 (outono x desfavorável), as cultivares com melhor desempenho são todas de média

Tabela 3.16. Matriz de ambientes de produção com diferentes níveis dos fatores “Solos” e “Época de colheita” aplicados aos dados acumulados no Programa Cana IAC nos últimos 10 anos (média do terceiro corte), em análise de 66.661 parcelas.

Grupo solo (quim.)	Outono	Inverno	Primavera
Eutrófico	85,31	84,21	78,93
Mesotrófico	86,53	84,82	72,18
Distrófico	81,97	80,19	69,00
Álico	78,25	77,01	66,15
Ácrico	75,59	62,85	55,48
Média	81,50	77,80	68,30

Fonte: Adaptado de Scarpari et al. (2015).

Tabela 3.17. Estratificação da produção agrícola (média de cinco cortes) registrada em empresa da região Centro-Sul do Brasil nos diferentes períodos de safra (outono, inverno e primavera) em ambientes de diversos potenciais de produção (dados referentes aos últimos 5 anos).

Ambiente	Outono		Inverno		Primavera	
	91,3	106,0	88,8	97,3	76,9	92,6
Favorável			RB855113		IAC87-3396	
	RB855453		RB867515		SP87-365	
	SP91-1049		SP80-3280		RB855113	
			SP81-3250		RB855536	
					SP83-2847	
Médio	82,9	93,0	72,7	90,0	71,9	86,4
	IAC86-2210		IAC87-3396		RB855536	
	SP83-2847		RB867515		RB867515	
	RB855453		SP81-3250		SP80-3280	
	RB867515		SP84-1431		SP84-1431	
	SP80-3280					
Desfavorável	76,3	84,2	66,5	84,0	62,1	79,3
	IAC87-3396		IAC87-3396			
	IAC91-5155		RB867515		IAC87-3396	
	RB867515		SP83-2847		IAC91-5155	
	SP83-2847		SP86-42		SP79-1011	
	SP86-155		SP86-155			

Média atual da usina = 76,6 t ha⁻¹. Média com manejo varietal = 91,1 t ha⁻¹. Percentagem de aumento com cultivares usadas com manejo = 18,9%.

Tabela 3.18. Produtividade agroindustrial (TPH) da cultivar IACSP94-4004, lançado em 2005, em comparação a RB72454, em seis regiões canaveiras do Centro-Sul do Brasil (médias de quatro cortes com colheita na primavera).

Região	TPH	
	IACSP94-4004	RB72454
Goiás	16,01	14,96
Jaú	18,85	18,92
Mococa	19,02	14,82
Pindorama	17,52	15,13
Piracicaba	17,93	15,20
Ribeirão Preto	17,13	16,15

maturação (IAC87-3396, IAC91-5155, RB867515 e SP83-2847). Isso é possível utilizando-se os conceitos da matriz de ambientes, que provoca em solos restritivos, alterações no perfil de maturação das cultivares, possibilitando a antecipação.

“Ambiência” e o manejo da “matriz tridimensional (3º eixo em cana-de-açúcar)”

A matriz de produção tridimensional, também conhecida como matriz de terceiro eixo, constitui uma evolução da matriz de produção bidimensional, que considera os fatores épocas de

colheita e ambientes de produção, conforme já descrito neste capítulo.

O terceiro eixo foi originalmente descrito e tem sido divulgado e implementado pelos pesquisadores do Centro de Cana IAC, desde 2007, quando passaram a considerar um terceiro fator que é o ciclo da planta, considerando que este é determinante nas respostas da cultura a deficit hídrico e adaptação a situações restritivas do ambiente (Landell et al., 2010). Esse terceiro fator, que é o ciclo da cultura, denomina-se “terceiro eixo” e com ele o modelo passou a ser uma matriz tridimensional. O principal objetivo de implementar esse conceito é ter uma eficiente ferramenta para mitigar o deficit hídrico, considerando que quase 100% da nossa canavieira é de sequeiro (Xavier et al., 2020).

Assim, conforme Xavier et al. (2020), o principal resultado tem sido o aumento da produtividade agrícola como um todo, decorrente da menor “desconstrução” das produtividades dos ciclos que se seguem, o que resulta em maior longevidade do canavial. Em outras palavras, o principal resultado tem sido o aumento de produtividade agrícola e agroindustrial de todos os ciclos, trazendo como consequência maior longevidade dos canaviais, resultando, assim, em maior sustentabilidade econômica da atividade. Para adotar a matriz tridimensional, temos que associar uma série de conhecimentos, o que traz uma complexidade um pouco maior às decisões. De uma maneira simplificada, podemos dizer que a antecipação da colheita dos ciclos mais jovens (1º e 2º cortes) é uma prática que deve ser adotada de maneira disciplinada. Isso traz inúmeras consequências no perfil varietal adotado, assim como no uso das estratégias de maturação, como a associação de produtos maturadores em ambientes mais restritivos com a finalidade de promover uma maturação mais “radical” em variedades com perfil de maturação média.

Dentre as consequências positivas desse manejo, Xavier et al. (2020) destacam:

- a) Aumento expressivo da população de colmos para os ciclos mais avançados.
- b) Aumento da produtividade agroindustrial nos cortes avançados, promovendo assim maior longevidade dos canaviais.
- c) Aspectos secundários, mas não menos importantes são: maior fechamento das entrelinhas, facilitando o manejo da matocompetição e promovendo melhor rendimento na colheita.

Os resultados da implantação da matriz tridimensional têm sido potencializados ao longo de 5 anos, mas os primeiros resultados são palpáveis na produtividade dos primeiros cortes a partir do segundo ano de adoção (Tabela 3.19). Teoricamente, a matriz do terceiro eixo pode ser implementada por qualquer produtor da região Centro-Sul, mas os modelos foram desenvolvidos a partir de unidades que ficam em regiões com estresse hídrico mais pronunciado, portanto, precisam de uma melhor validação para regiões como Mato Grosso do Sul, Paraná e sul de São Paulo nas regiões de Assis e Ourinhos (Xavier et al., 2020).

Aplicação de critérios para manejo varietal

A seguir são enumerados os passos ilustrados com um exemplo para que um projeto de manejo varietal seja aplicado em determinada região ou empresa:

- a) Caracterização dos ambientes de produção por meio de levantamentos pedológicos:
 - Proceder análise físico-químico dos solos nas áreas de plantio.
 - Analisar os dados climáticos regionais.
 - Caracterizar os ambientes de produção.

Tabela 3.19. Aplicação da matriz tridimensional com os três fatores: a) ambientes/solos; b) época/mês de colheita; e c) ciclo/corte do canavial.

	Abril			Maio			Junho			Julho			Agosto			Setembro			Outubro			Novembro		
	1ª D	2ª D	3ª D	1ª D	2ª D	3ª D	1ª D	2ª D	3ª D	1ª D	2ª D	3ª D	1ª D	2ª D	3ª D	1ª D	2ª D	3ª D	1ª D	2ª D	3ª D	1ª D	2ª D	3ª D
Favorável +							1º C	1º C	2º C	2º C	3º C	4º C	5º C	6º C	7º C	7º C	8º C	8º C	9º C	9º C	10º C	10º C	11º C	
Favorável							1º C	1º C	2º C	2º C	3º C	3º C	4º C	5º C	6º C	7º C	7º C	8º C	8º C	9º C	9º C	10º C	10º C	11º C
Favorável -						1º C	1º C	2º C	2º C	3º C	3º C	4º C	5º C	6º C	6º C	7º C	7º C	8º C	8º C	9º C	9º C	9º C	10º C	10º C
Intermediário +						1º C	2º C	2º C	3º C	4º C	4º C	5º C	6º C	6º C	7º C	7º C	8º C	8º C	9º C	9º C	9º C	10º C	10º C	
Intermediário					1º C	1º C	2º C	3º C	4º C	4º C	5º C	5º C	6º C	6º C	7º C	7º C	8º C	8º C	8º C	9º C	9º C	9º C	9º C	
Intermediário -				1º C	2º C	2º C	3º C	4º C	4º C	5º C	5º C	6º C	6º C	7º C	7º C	7º C	8º C	8º C	8º C	8º C	8º C	8º C		
Desfavorável +			1º C	2º C	2º C	3º C	3º C	4º C	4º C	5º C	5º C	6º C	6º C	7º C	7º C	7º C	8º C	8º C	8º C	8º C	8º C			
Desfavorável		1º C	2º C	2º C	3º C	3º C	4º C	4º C	5º C	5º C	6º C	6º C	7º C	7º C	7º C	8º C	8º C	8º C	8º C	8º C				
Desfavorável -	1º C	2º C	2º C	3º C	3º C	4º C	4º C	5º C	5º C	6º C	6º C	7º C	7º C	7º C	8º C	8º C	8º C	8º C						

Fonte: Xavier et al. (2020).

b) Prospecção do desempenho varietal nas condições locais:

- Em áreas comerciais, esse levantamento refere-se ao desempenho histórico das cultivares já utilizadas na empresa em questão. Os dados podem ser obtidos a partir de médias de cinco cortes (dados reais ou estimados), preenchendo as caselas ambientais compostas por ambientes (favoráveis, médios e desfavoráveis) e épocas de colheita (outono, inverno e primavera). Com a matriz preenchida, elegem-se as cultivares que mais se destacaram em cada casela nos quesitos TCH e TPH.
- Em ensaios de competição, estes dados devem receber análise similar às áreas comerciais, com as devidas restrições, por se tratarem de dados experimentais e, portanto, necessitarem de uma validação agrônômica.
- Classificar cultivares em prioridades 1, 2 e 3.

A partir das informações de áreas comerciais e experimentais, elegem-se as cultivares segundo prioridades de multiplicação, conforme critério abaixo:

- Prioridade 1 (Prio1): cultivares já validadas para as condições locais e que deverão ter a multiplicação acelerada por métodos “quebra-quebra” e plantio estimado (de 6 a 9 gemas m⁻¹).
- Prioridade 2 (Prio2): cultivares liberadas pelas instituições de pesquisa (IAC, CTC, Ridesa e CanaVialis), devendo atingir inicialmente áreas de até 200 ha para fins de validação no cultivo comercial.
- Prioridade 3 (Prio3): clones que se destacam nas condições locais, indicados pela rede experimental regional, com pos-

sibilidades de virem a ser cultivares. De forma geral, as áreas para cada genótipo não devem ultrapassar 10 ha.

c) Levantamento de áreas destinadas a viveiros de mudas:

- Quantificar áreas de plantio (reforma e expansão):
 - 1) Quais cultivares estão disponíveis em viveiros?
 - 2) Quantidade de cada uma.
 - 3) Qualidade de mudas.
- Verificar protocolos de *roguing* (doenças, mistura varietal, etc.) e avaliação quanto ao raquitismo da soqueira (*Leifsonia xyli* subsp. *xyli*).
- Instalar viveiros:
 - 1) Viveiros de introdução (“berçário”) de genótipos Prio2 e Prio3. Utilizado para receber as introduções de clones e novas cultivares.
 - 2) Viveiros satélites: devem ser instalados próximo às áreas de plantio do ano posterior (Prio1).
- Gerar carta de manejo varietal:
 - 1) Adequar o perfil de resposta das cultivares aos ambientes qualificados.
 - 2) Definir épocas de colheita de acordo com os ambientes de produção.
- Criar cenário de evolução das inovações e metas desejadas:
 - 1) Evolução do censo varietal.
 - 2) Quais cultivares serão substituídas?
 - 3) Quem entra no “jogo”?
- Estimar ganhos agroindustriais.

Principais cultivares no Brasil

A cada série de seleção encerrada, em projetos de pesquisa dos programas de melhoramento, disponibiliza-se anualmente ao setor um grupo significativo de novas variedades, divididas em regiões de adaptação (Centro-Sul e Norte-Nordeste), com performance nos ambientes de produção, nível de florescimento (Nordeste), época de colheita, com os principais destaques de manejo.

Na região Centro-Sul do País, nos principais estados produtores (Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo), apresenta-se um calendário específico de colheita, tendo usualmente o período entre abril e dezembro como aquele de maior concentração dessa atividade, e representa cerca de 90% de toda a produção nacional. Já na região Norte-Nordeste, nos maiores estados produtores (Tocantins, Pará, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Bahia, Rio Grande do Norte, Maranhão e Piauí), colhe-se a maior parte do volume produzido de agosto a março, tendo uma dinâmica diferente de produção e das operações pertinentes a ela, simbolizando quase 10% da safra brasileira. (Acompanhamento..., 2021).

Nas Tabelas 3.20 e 3.21, estão relacionadas as principais cultivares liberadas e as indicações pelas instituições obtentoras, IAC, CTC, Ridesa. É informado o perfil de resposta de cada cultivar, assim como os ambientes onde devem ser alocadas e a época de colheita mais apropriada conforme a curva de maturação.

Em eventos sobre variedades, divulgações de empresas ou em consultorias, são observadas revisões das indicações dos programas de melhoramento, ajustando recomendações de manejo com especialistas e produtores. Como exemplo, a Tabela 3.22 relaciona as principais

cultivares em uso e a recomendação de manejo, com base nas indicações das instituições obtentoras como IAC, CTC, Ridesa, CanaVialis e BioVertis. É informado o perfil de resposta de cada cultivar, assim como os ambientes onde devem ser alocadas, com a época de colheita mais apropriada conforme a curva de maturação específica.

Censo varietal no Brasil

Várias fontes de informação sobre área de cultivo das variedades de cana-de-açúcar estão disponíveis no Brasil. As informações e análises dos dados levantados junto às unidades produtoras permitem: a disseminação de tecnologia sobre as principais variedades cultivadas por região produtora e estado do País; o histórico de utilização e substituição varietal ao longo dos anos; avaliação da evolução do estágio médio de corte e participação do plantio em relação à área total cultivada; posicionamento das unidades produtoras em relação a vários índices de eficiência no uso de variedades, entre outros.

Nas Tabelas 3.23 a 3.26, observam-se vários dados sobre o Censo Varietal do Brasil, nas safras dos anos 2018 a 2020, baseado na área colhida no Centro-Sul e Nordeste, levantada pela Conab e pela área recenseada pelo IAC e pela Ridesa, informações baseadas em Acompanhamento... (2021), Braga Junior et al. (2021) e Oliveira et al. (2021).

Destaque para o estado de São Paulo, que tem a maior área de cana-de-açúcar do Brasil, seguido pelos estados de Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná e os outros. Os estados do Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul possuem uma pequena área da cultura e não foram recenseados (Tabela 3.24).

O Norte-Nordeste, regiões onde a cana-de-açúcar predominou no passado, conta hoje com uma área cultivada recenseada de 477.472 ha, sendo que as poucas unidades dos estados de

Tabela 3.20. Características agrônômicas das principais variedades de cana-de-açúcar na região Centro-Sul.

Variedade	Destaque	Ambiente de produção ⁽¹⁾					Época de colheita							
		A	B	C	D	E	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.
SP77-5181	Precoce													
SP80-1816	Soqueira, cana crua													
SP80-1842	Soqueira													
SP80-3280	Soqueira													
SP81-3250	Rica, produtividade													
SP83-2847	Rusticidade													
SP83-5073	Rica, cana crua													
SP84-1201	Uniformidade													
SP84-1431	Rica, produtividade													
SP84-2025	Tardia, rica													
SP86-42	Soqueira, produtividade													
SP86-155	Rica, produtividade													
SP87-344	Rica, produtividade													
SP87-365	Rica, produtividade													
SP87-396	Precoce													
SP89-1115	Precoce, soqueira													
SP90-1638	Soqueira, produtividade													
SP90-3414	Colheitabilidade													
SP90-1107	Precoce													
SP90-1161	Precoce													

Continua...

Tabela 3.20. Continuação.

Variedade	Destaque	Ambiente de produção ⁽¹⁾					Época de colheita								
		A	B	C	D	E	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	
SP91-1049	Precoce														
CTC 1	Precoce														
CTC 2	Colheabilidade, perfilhamento														
CTC 3	Soqueira														
CTC 4	Rica, produtividade														
CTC 5	Precoce														
CTC 6	Produtividade														
CTC 7	Precoce														
CTC 8	Soqueira														
CTC 9	Precoce														
CTC10	Boa soqueira, rusticidade														
CTC11	Alta produtividade														
CTC12	Precocidade														
CTC13	Boa soqueira														
CTC14	Rusticidade														
CTC15	Rusticidade, tolerância à seca														
CTC16	Alto teor de sacarose, colheabilidade														
CTC17	Rusticidade, alto teor de sacarose														
CTC18	Ereta, tolerante à seca														
CTC19	Ereta, raro florescimento														

Continua...

Tabela 3.20. Continuação.

Variedade	Destaque	Ambiente de produção ⁽¹⁾					Época de colheita								
		A	B	C	D	E	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	
CTC20	Alta produtividade, perfilhamento e longevidade														
CTC20BT	Proteção contra broca														
CTC21	Precoce e rica														
CTC22	Alta produtividade, precocidade														
CTC23	Alta produtividade, não floresce, tolera seca														
CTC24	Alta produtividade, não floresce														
CTC25	Desenvolvimento rápido, alta sacarose, porte ereto														
CT961007	Rusticidade, florescimento raro														
CT022994	Tardia, florescimento raro, porte ereto, tolerante à seca														
CTC9001	Produtividade, precocidade, PUI longo, não floresce														
CTC9001BT	Proteção contra broca														
CTC9002	Porte ereto e colheitabilidade														
CTC9003	Alto teor de sacarose, perfilhamento, não floresce														
CTC9003BT	Proteção contra broca														
CTC9004M	Alta produtividade														
CTC9005HP	Produtiva, rica e precoce														

Continua...

Tabela 3.20. Continuação.

Variedade	Destaque	Ambiente de produção ⁽¹⁾					Época de colheita							
		A	B	C	D	E	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.
CTC9006	Rústica, responde à maturadores													
CTC9007	Precoce, baixo florescimento													
CTCE7	Alta fibra, cultivar tipo Cana Energia													
IAC86-2210	Alta sacarose, precoce													
IAC86-2480	Forrageira, PUI longo													
IAC87-3396	Produtividade, soqueira													
IAC91-2195	Alta sacarose, precoce													
IAC91-2218	Alto perfilhamento													
IAC91-5155	Colheitabilidade, tolerante à seca													
IACSP93-3046	Produtividade, PUI ⁽²⁾ longo													
IACSP93-6006	Produtividade													
IACSP94-2094	Rusticidade													
IACSP94-2101	Responsiva													
IACSP94-4004	Produtividade													
RB72454	Adaptabilidade													
RB835486	Rica													
RB845210	Rusticidade													
RB855035	Precoce, rústica													
RB855038	Produtividade													
RB855113	Produtividade													

Continua...

Tabela 3.20. Continuação.

Variedade	Destaque	Ambiente de produção ⁽¹⁾					Época de colheita							
		A	B	C	D	E	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.
RB855156	Precoce													
RB855453	Rica, precoce													
RB855536	Soqueira, produtividade													
RB865230	Produtividade													
RB867515	Produtividade													
RB925211	Rica, produtividade													
RB925268	Colheita mecanizada													
RB925345	Rica, fibra													
RB935744	Rusticidade													
RB928064	Produtividade final safra													
RB965902	Riqueza, produtividade													
RB975033	Rica, produtividade, tolerância à seca													
RB975201	Crescimento rápido, produtividade, difícil florescimento													
RB975375	Rica, rústica													
RB987917	Rica, produtividade, florescimento baixo, tardia													
RB005014	Rica, colheita, sanidade													
RB006970	Rica, PUI longo													
RB015177	Rica, produtividade													

Continua...

Tabela 3.20. Continuação.

Variedade	Destaque	Ambiente de produção ⁽¹⁾					Época de colheita							
		A	B	C	D	E	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.
RB015935	Rica, produtividade													
RB036152	Rústica, tolerância à seca, produtiva													
RB056351	Rica, PUI longo													
RB056380	Rica, hiperprecoce													
RB064292	Produtividade, rústica													
RB108519	Rústica, tolerância à seca, produtiva													
CV0470	Média/tardia, rápido desenvolvimento, sanidade													
CV6654	Perfilhamento, colheitabilidade, sanidade													
CV7231	Precoce, porte ereto, colheitabilidade													
CV7870	Adaptabilidade ao plantio mecanizado, porte ereto, colheitabilidade													

⁽¹⁾ A = Solos de alta fertilidade a E = Solos de baixa fertilidade.

⁽²⁾ PUI = Período de utilização industrial.

⁽³⁾ Colheita nestes meses com o uso de maturadores.

Tabela 3.21. Características agrônômicas das principais variedades de cana-de-açúcar da região Norte-Nordeste.

Variedade	Destaque	Ambiente de produção ⁽¹⁾					Florescimento ⁽²⁾				Época de colheita						
		A	B	C	D	E	A	M	B	N	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
RB72454	Adaptabilidade																
RB75126	Rica e tardia																
RB763710	Rusticidade																
RB813804	Rica e produtiva																
RB835486	Rica																
RB83594	Produtividade																
RB855113	Produtividade																
RB855536	Soca e produtiva																
RB863129	Rica, produtiva e adaptabilidade																
RB867515	Produtiva e tardia																
RB872552	Rica, produtiva e precoce																
RB92579	Rica, adaptabilidade e produtiva																
RB928064	Rica e produtiva																
RB931011	Produtividade																
RB931530	Rica																
RB932520	Rica e produtiva																
RB93509	Produtividade																
RB943365	Rica e precoce																
RB943538	Rica e produtiva																

Continua...

Tabela 3.21. Continuação.

Variedade	Destaque	Ambiente de produção ⁽¹⁾					Florescimento ⁽²⁾				Época de colheita						
		A	B	C	D	E	A	M	B	N	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.
SP77-5181	Rica e precoce																
SP78-4764	Produtiva																
SP79-1011	Rica, adaptabilidade e precoce																
SP80-1816	Rica e soca																
SP81-3250	Rica e produtiva																
SP83-2847	Rusticidade																
SP85-3877	Rica e produtiva																
SP86-42	Soca e produtiva																
SP91-1049	Precocidade																
B8008	Rica																
VAT90-212	Produtividade																

⁽¹⁾ A = Solos de alta fertilidade a E = Solos de baixa fertilidade.

⁽²⁾ A = alto, M = médio, B = baixo, N = nenhum.

Tabela 3.22. Recomendação de manejo de cultivares de cana-de-açúcar, segundo os critérios de época de colheita, ambientes de produção e responsividade para a região Centro-Sul do Brasil.

Ambiente	Programa	Posicionamento		
		Início	Meio	Fim
A	RB	015935, 975952	015935, 005014, 985476, 015177, 975201	005014, 985476, 015177, 975201
	IAC	05-2562, 04-6007	05-8069, 01-3127, 07-8044, 07-8008, 01-5503, 01-9561, 05-2562, 04-6007, 96-2042, 97-4039	01-5503, 96-2042, 95-5094
	CTC	9007, 9005, 9003	CT02-2994, 9007, 9005, 9003, 9002	CT02-2994, 9002
	CV/Vertex	618	6654	–
B	RB	015935, 975952	015935, 005014, 985476, 015177, 975201	005014, 985476, 015177, 975201
	IAC	05-2562, 04-6007	05-8069, 01-3127, 07-8044, 07-8008, 01-5503, 01-9561, 05-2562, 04-6007, 96-2042	01-5503, 96-2042, 95-5094
	CTC	9007, 9005, 9003, 9001	CT02-2994, 9007, 9006, 9005, 9004, 9003, 9002, 9001	CT02-2994, 9002
	CV/Vertex	618	6654, 0618	–
C	RB	015935, 975952, 975375, 975033	015935, 005014, 985476, 015177, 975201, 975375, 975242	005014, 985476, 015177, 975201, 975242
	IAC	05-2562, 04-6007, 97-4039	05-8069, 01-3127, 07-8008, 01-5503, 01-9561, 05-2562, 04-6007, 97-4039, 96-2042	01-5503, 97-4039, 96-2042, 95-5094
	CTC	9007, 9006, 9005, 9003, 9001	CT02-2994, 9007, 9005, 9003, 9002, 9004	CT02-2994, 9002
	CV/Vertex	618	7870, 0618, 6654	Vertex 3
D	RB	975375, 975033	975375, 975242	975242
	IAC	04-6007, 97-4039	07-8008, 04-6007, 01-5503, 97-4039	01-5503, 97-4039
	CTC	9006, 9001	CT96-1007, 9006, 9004, 9002, 9001	CT96-1007, 9002
	CV/Vertex	618	7870, 0618, Vertex 3	Vertex 3
E	RB	–	975242	975242
	IAC	97-4039	01-5503, 97-4039	01-5503, 97-4039
	CTC	–	CT96-1007	CT96-1007
	CV/Vertex	618	0618, Vertex 3	Vertex 3

Fonte: Adaptado de Nunes et al. (2020).

Ceará, Sergipe, Pará, Rondônia e Amazonas não foram recenseadas. Alagoas segue com a maior concentração de cana-de-açúcar no Nordeste, seguido do estado de Pernambuco. Nessa região aparecem algumas variedades que foram selecionadas localmente e predominam em estados diferentes. A variedade VAT90-212, desenvolvida no estado de Alagoas pela Usina Triunfo, tem sua área em ascensão (Tabela 3.25).

A seguir segue a listagem das variedades mais cultivadas no Brasil, desde o ano 2000 até 2017 (Machado Junior; Braga Junior, 2019), classificadas por sigla, mostrando as porcentagens de área das variedades que tiveram maior e menor longevidade na área comercial, baseados nas informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Conab (Tabela 3.26).

As variedades representam a espinha dorsal da indústria açucareira, mas, para obter o melhor resultado de cada uma delas, é necessário conhecer muito bem suas características, o ambiente de produção no qual serão exploradas e o manejo da lavoura com base na interação entre o genótipo e o ambiente. A adoção de novas cultivares, a evolução de cultivo e sua utilização comercial podem ser bem estudadas por meio dos dados de censo de variedades de cana-de-açúcar.

Dados agrupados e compilados sobre áreas de formação, colheita e cultivo de variedades fornecem relevantes análises. Por meio de levantamentos dos censos varietais regionais, obtém-se uma avaliação da aceitação das cultivares, determinando-se regiões de maior inovação em relação à tecnologia varietal, assim como a possibilidade de riscos biológicos por concentração de cultivo. Pelos dados da Tabela 3.26, claramente se observa a dinâmica de trocas varietais, que ocorrem principalmente pelas razões: perdas de produtividade por menor tolerância a doenças; baixa performance em novos sistemas de cultivo; surgimento de novas cultivares com melhores produtividades, boa adaptação regional e vantagens competitivas em relação às anteriormente cultivadas.

Tabela 3.23. Área de cultivo e proporção das principais variedades no Brasil, safra 2019/2020.

Classificação	Variedade	Área (ha)	(%)
1	RB867515	1.133.512	21,4
2	RB966928	676.693	12,8
3	RB92579	487.022	9,2
4	CTC4	446.538	8,4
5	RB855156	223.187	4,2
6	RB855543	178.168	3,4
7	SP83-2847	128.980	2,4
8	CTC9001	97.151	1,8
9	CTC15	91.775	1,7
10	RB855536	86.099	1,6
11	SP80-1816	72.753	1,4
12	IACSP955000	72.472	1,4
13	SP83-5073	72.422	1,4
14	SP81-3250	69.770	1,3
15	IAC911099	69.041	1,3
16	SP80-3280	68.418	1,3
17	CTC2	65.586	1,2
18	SP91-1049	62.321	1,2
19	CTC9003	54.990	1,0
20	RB835054	50.204	0,9
21	CTC20	49.462	0,9
22	CV7870	48.589	0,9
23	RB975201	44.691	0,8
24	RB965902	42.942	0,8
25	SP79-1011	42.238	0,8
26	SP80-1842	40.076	0,8
27	RB928064	38.979	0,7
28	SP78-4764	35.103	0,7
29	CTC9002	32.594	0,6
30	CV6654	27.910	0,5
Outras		676.934	12,8
Total geral		5.286.619	

Fonte: Oliveira et al. (2021).

Tabela 3.24. Área de cultivo na região Centro-Sul, por estado, na safra 2018/2019 (Conab/IAC), e percentual das principais variedades.

Variedade	Estado						
	Espírito Santo	Goiás	Mato Grosso	Mato Grosso do Sul	Minas Gerais	Paraná	São Paulo
	Área (ha)						
	47.245	640.171	166.402	611.696	613.284	513.565	3.823.369
	(%)						
RB867515	3,7	22,6	50,0	35,8	19,4	45,3	18,3
RB966928	1,4	8,4	1,7	11,3	6,2	14,6	15,1
CTC4	0,0	0,0	4,1	0,0	7,4	3,7	8,0
RB92579	4,4	4,5	10,1	2,4	7,3	1,5	7,3
RB855156	0,0	1,1	0,0	6,0	4,2	5,3	5,3
RB855453	0,0	4,2	0,5	3,3	7,7	2,4	4,5
CTC15	0,0	2,4	1,4	0,7	3,3	0,0	3,0
SP83-2847	0,3	1,0	0,0	5,2	1,8	0,6	2,9
RB855536	2,0	1,2	3,5	4,9	3,4	0,9	2,1
SP81-3250	1,7	5,7	0,4	4,1	2,9	1,2	2,1
IACSP955000	0,0	3,2	0,3	0,0	1,1	1,1	1,8
CTC2	0,9	1,2	0,3	0,7	1,8	0,0	1,7
SP80-3280	3,9	0,0	0,0	0,0	1,0	0,6	1,6
SP80-1816	0,8	2,7	0,0	0,0	7,2	0,0	1,6
CTC9001	0,4	0,0	0,3	0,0	2,3	1,4	1,5
SP80-1842	3,9	0,0	0,0	2,1	3,3	0,0	1,2
IAC91-1099	0,0	6,5	3,9	0,0	1,2	0,0	1,2
CTC20	0,0	0,0	0,3	0,8	1,6	0,0	1,1
RB937570	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RB925345	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SP83-5073	0,0	2,8	10,1	1,3	0,0	0,0	0,0
CTC9	0,0	1,3	1,9	0,7	1,3	0,0	0,0
IAC87-3396	0,0	1,8	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0
RB855054	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	3,1	0,0
RB928064	0,0	1,8	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Outras	3,7	3,1	6,3	3,6	0,0	12,8	2,1

Fonte: Acompanhamento... (2018) e Braga Junior (2021).

Tabela 3.25. Censo de variedades nas regiões Norte-Nordeste na safra 2018/2019 (Conab/IAC), e percentual das principais variedades.

Variedade	Estado				
	Alagoas	Bahia/Tocantins	Paraíba/ Rio Grande do Norte	Pernambuco	Piauí/Maranhão
	Área (ha)				
	200.109	43.481	92.341	115.879	25.662
	(%)				
RB92579	38,0	0,0	57,8	27,0	48,2
VAT90-212	12,0	0,0	0,0	4,4	4,8
SP79-1011	11,0	0,0	4,3	10,3	0,0
RB867515	8,0	21,0	0,0	13,0	0,0
RB951541	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RB931011	3,0	0,0	2,0	3,2	0,0
RB93509	3,0	0,0	1,7	2,7	0,0
SP81-3250	2,0	5,0	0,0	4,0	3,0
CTC2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RB962962	1,0	0,0	1,2	0,0	0,0
RB98170	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SP78-4764	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CTC15	0,0	11,0	0,0	0,0	0,0
CTC4	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0
CTC9003	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0
CV7231	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
IACSP95-5094	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0
RB031130	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
RB855536	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0
RB962962	0,0	0,0	0,0	1,6	1,0
RB966928	0,0	3,0	0,0	0,0	25,0
RB992506	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0
SP83-5073	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0
SP86-3129	0,0	0,0	3,5	2,2	12,0
SP91-1049	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0
SP93-3094	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0
Outras	13,0	15,0	8,0	29,0	6,0

Fonte: Acompanhamento... (2018) e Braga Junior (2021)

Tabela 3.26. Participação percentual das principais variedades nas áreas comerciais de cultivo no Brasil, com base nos dados do IBGE (2000 a 2011) e da Conab (2012 a 2017).

Variedade	Percentual anual da área cultivada no Brasil (%)																	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
CB45-3	1,9	0,9	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Co997	0,8	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
CP51-22	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CTC15	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,4	0,7	1,4	1,9	2,1	2,6	2,7	2,8
CTC2	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3	1,5	1,4	1,5
CTC20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
CTC4	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	1,7	2,4	3,5	4,0
IACSP95-5000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,4	0,7	1,0	1,2	1,4
NA56-79	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RB72454	18	15,2	13,6	12,5	12,2	11,7	10,3	9,5	8,2	6,8	5,7	4,0	2,3	1,4	0,7	0,3	0,2	0,1
RB765418	0,9	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RB785148	2,3	1,3	0,7	0,3	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RB806043	2,4	1,8	1,1	0,5	0,3	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RB825336	1,9	1,8	1,4	1,1	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
RB83102	1,5	1,2	0,9	0,6	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0
RB835054	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,4	1,8	1,8	2,0	2,0	2,1	2,0	1,9	1,6	1,3	1,3	1,3
RB835089	3,3	2,9	2,4	1,6	1,2	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0	0	0	0	0	0
RB835486	5,0	6,1	7,1	8,0	8,0	7,7	7,1	6,0	5,1	4,3	3,7	3,0	2,0	1,6	1,2	0,9	0,7	0,7
RB845210	0,2	0,6	0,8	0,9	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4

Continua...

Tabela 3.26. Continuação.

Variedade	Percentual anual da área cultivada no Brasil (%)																	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
RB845257	2,2	2,3	2,3	1,9	1,6	1,2	0,7	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0
RB855113	2,3	2,7	3,0	2,9	2,7	2,1	1,8	1,2	0,9	0,8	0,6	0,4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
RB855156	0,6	0,8	1,2	1,6	1,8	2,2	2,4	2,3	2,5	2,8	2,9	2,9	3,2	3,4	3,4	3,8	3,9	4,0
RB855453	0,6	0,9	1,1	1,9	2,4	3,2	3,8	4,7	5,2	5,7	5,9	6,1	5,9	5,6	5,5	4,3	4,5	4,6
RB855536	3,9	5,6	6,6	6,7	6,3	5,7	4,7	4,1	4,0	3,7	3,7	3,3	3,1	3,0	2,7	2,4	2,6	2,6
RB867515	0	0,1	0,5	1,7	3,0	5,5	8,9	13,9	17,3	19,7	21,1	23,3	24,6	25,2	26,9	26,9	25,8	26
RB92579	0	0	0	0,3	0,5	1,2	2,2	3,2	3,3	3,8	4,5	5,4	6,3	7,0	7,8	8,4	9,3	8,9
RB928064	0	0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,7	0,7
RB966928	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2	0,4	0,7	1,2	2,3	3,5	5,5	7,4	8,2	9,2
SP70-1143	6,4	4,3	2,4	1,2	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SP70-1284	0,8	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SP71-1406	2,9	2,2	1,7	1,2	1,0	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0
SP71-6163	0,9	0,3	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SP71-6949	2,2	1,8	1,2	1,1	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0	0
SP78-4764	1,2	1,7	2,1	2,1	2,3	2,0	1,6	1,5	1,2	0,9	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6
SP79-1011	11	11,1	10,5	11,1	10,2	9,7	8,7	6,9	5,3	4,4	3,8	3,3	2,2	1,7	1,2	0,9	0,9	0,9
SP79-2233	1,3	1,2	0,9	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0
SP80-1816	2,2	3,8	4,7	5,0	4,7	4,5	4,2	3,4	2,7	2,7	2,3	2,1	2,3	2,2	1,9	2,1	2,2	1,9
SP80-1842	5,8	6,4	5,9	5,1	4,4	3,7	3,3	2,8	2,4	2,3	2,1	1,9	1,9	1,8	1,8	1,5	1,4	1,4

Continua...

Tabela 3.26. Continuação.

Variedade	Percentual anual da área cultivada no Brasil (%)																	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
SP80-3280	0,5	0,8	1,2	1,6	1,9	2,0	2,3	2,1	2,2	2,0	2,0	1,8	1,7	1,5	1,2	1,2	1,1	1,1
SP81-3250	4,3	7,4	9,1	9,9	10,9	10,9	10,4	10,1	10,9	11,6	12,2	13	13,4	13,1	11,2	8,4	7,4	5,7
SP83-2847	0,2	0,4	1,0	1,8	2,6	3,6	4,4	5,1	4,9	4,7	4,3	3,7	3,1	2,7	2,6	2,5	2,4	2,5
SP83-5073	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9
SP89-1115	0	0	0	0	0,1	0,2	0,4	0,7	1,0	1,1	1,1	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0
SP91-1049	0	0	0,1	0,3	0,6	0,8	1,1	1,3	1,5	1,4	1,4	1,2	1,2	1,0	0,8	0,7	0,5	0,5
VAT90-212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0,9	0,8	1,2	0,8	0,7
Outras	11,4	11,5	13,1	13,5	14,2	14,8	15,0	14,7	15,0	14,8	15,0	14,7	14,4	14,2	14,2	14,9	14,4	14,5
Área total (mil ha)	5.474	5.869	5.956	6.207	6.285	6.734	7.267	8.053	9.427	9.371	9.978	9.817	9.606	9.673	9.834	9.363	9.676	10.200

Fonte: Machado Junior e Braga Junior (2019).

Com base no censo varietal de 293 unidades produtoras de cana-de-açúcar, na safra 2011/2012, coletado pelo Centro de Tecnologia Canavieira, diversos índices de eficiência no uso de variedades foram determinados e discutidos, bem como a análise dos riscos e das potencialidades de ganhos com exploração de cultivares de geração mais moderna (Raizer et al., 2013).

Em projeto detalhado e elaborado para avaliação de censo varietal, com análise em cada região do estado de São Paulo e suas características ambientais, tais como pluviosidade e temperaturas, o IAC coletou informações em seis principais regiões canavieiras (Braga et al., 2017). Em 2016/2017 foram recenseados um total de 3.701.945 ha de cana-de-açúcar cultivada. Foi adicionado também o censo de variedades dessas regiões, da safra 2018/2019, com intuito de comparar e verificar o crescimento e diminuição de algumas variedades. Como referência adotou-se a característica climática da região central do estado, representada pela cidade de Bauru, SP (Tabela 3.27).

Definiu-se como a distribuição das regiões no estado de São Paulo: Assis – Sul; Araçatuba – Oeste; Jaú – Centro; Piracicaba – Leste; São José do Rio Preto – Norte e Ribeirão Preto – Nordeste (Figura 3.28).

As médias climáticas do estado de São Paulo, como uma região do Centro-Sul do Brasil (média de 30 anos), são apresentadas seguidas dos

censos regionais entre as safras 2016/2017 e 2020/2021 (Braga Júnior, 2017, 2021). Com as áreas de cultivo, bem como o plantel varietal e a evolução da proporção de variedades nesses 4 anos, pode-se avaliar como os diferentes climas e nichos de cultivo influenciam a adoção e evolução das variedades em cada região. Variações regionais estão baseadas nas condições edafoclimáticas e de manejo cultural, evidenciando a troca de variedades melhores substituindo outras já não tão produtivas/adaptadas (Tabelas 3.28 a 3.34).

As variedades destacadas são as protegidas pela Lei da Proteção de Cultivares, sancionada em 1997 (Brasil, 2011), e, para obtê-las e iniciar a exploração comercial, é necessária autorização do respectivo programa de melhoramento, que desenvolveu e registrou a cultivar, visto que é detentor dos direitos dessa patente vegetal.



Figura 3.28. Regiões de produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

Fonte: Sachs (2015).

Tabela 3.27. Características climáticas da região central do estado de São Paulo (Localidade Bauru: alt. 537 m; lat. 22:19 S; long. 49:04 W; precipitação anual 1.357 mm).

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Maio	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temp. Média (°C)	24,1	24,1	23,2	21,2	18,5	17,4	17,3	18,8	20,2	21,5	22,8	23,5
Temp. Mínima (°C)	18,4	18,6	17,5	15,1	12,0	10,7	10,2	11,7	13,6	15,2	16,5	17,3
Temp. Máxima (°C)	29,8	29,6	29,0	27,4	25,1	24,2	24,4	26,0	26,9	27,9	29,2	29,7
Precipitação (mm): 1.357/ano	259	187	140	66	61	40	30	35	69	115	159	196
						Baixa <45	Regular 46–69	Média 70–100	Alta 101–159	Muito alta >160		

Tabela 3.28. Participação das principais variedades nas áreas de cultivo do estado de São Paulo, com base nos dados da Conab e do Censo Varietal IAC, nas últimas cinco safras.

Variedade	Ano safra					Tendência
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	
	Área total (ha)					
	3.617.437	3.700.029	3.823.369	3.375.511	3.466.511	
(%)						
RB966928 ⁽¹⁾	11,2	13,0	15,1	17,0	17,0	≈
RB867515	22,5	21,0	18,3	14,0	12,0	↓
CTC4	4,3	5,8	8,0	11,0	12,0	↑
RB92579	7,1	6,9	7,3	6,0	6,0	≈
RB855156	5,3	5,4	5,3	6,0	5,0	≈
CTC9001 ⁽¹⁾	0,0	0,0	1,5	3,0	5,0	↑
RB855453	5,6	0,0	4,5	4,0	3,0	↓
SP83-2847	3,3	3,2	2,9	2,0	2,0	≈
CTC9003 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	↑
RB975201 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	↑
CV8770	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	↑
CTC9002 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	↑
CTC15 ⁽¹⁾	3,9	3,7	3,0	2,0	0,0	↓
CV7870	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	↓
RB855536	2,6	2,5	2,1	2,0	0,0	↓
SP81-3250	6,4	4,2	2,1	0,0	0,0	↓
SP80-1842	1,5	1,4	1,2	0,0	0,0	↓
CTC2	1,9	1,9	1,7	0,0	0,0	↓
IACSP95-5000 ⁽¹⁾	1,6	1,8	1,8	2,0	0,0	↓
SP80-3280	1,6	1,6	1,6	2,0	0,0	↓
CTC9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
SP83-5073	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
CTC20 ⁽¹⁾	0,9	1,1	1,1	0,0	0,0	↓
CTC17 ⁽¹⁾	1,1	0,9	0,0	0,0	0,0	↓
SP80-1816	2,1	1,8	1,6	0,0	0,0	↓
RB965902 ⁽¹⁾	0,0	1,0	1,1	0,0	0,0	↓
RB935744 ⁽¹⁾	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	↓
IAC91-1099 ⁽¹⁾	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	↓
Outras	14,6	21,1	17,6	29,0	30,0	↑

⁽¹⁾ Protegidas.

Fonte: Braga Junior et al. (2018, 2019, 2021) e Brunini e Carvalho (2018).

Tabela 3.29. Participação das principais variedades nas áreas de cultivo da região de Assis, no estado de São Paulo, com base nos dados da Conab e do Censo Varietal IAC, nas últimas cinco safras.

Variedade	Ano safra					Tendência
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	
	Área (ha) região Assis					
	372.979	373.963	413.053	399.078	359.953	
(%)						
RB966928 ⁽¹⁾	12,3	13,1	16,2	17,0	17,0	≈
RB867515	20,6	21,4	18,0	16,0	15,0	↓
RB92579	13,1	10,3	13,4	12,0	10,0	↓
CTC4	9,9	10,8	10,1	10,0	9,0	≈
CTC9001 ⁽¹⁾	0,0	0,9	1,8	4,0	6,0	↑
SP83-2847	6,5	7,0	6,8	6,0	5,0	↓
RB855156	5,0	5,3	5,0	5,0	5,0	≈
CTC9003 ⁽¹⁾	0,0	0,0	1,7	3,0	4,0	↑
CTC9004AM ⁽¹⁾	0,0	1,3	1,4	2,0	4,0	↑
IACSP95-5000 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,9	0,0	2,0	↑
RB975201 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,8	1,0	1,0	↑
CTC9002 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	↑
CTC15 ⁽¹⁾	4,7	4,0	2,7	2,0	0,0	↓
RB855536	2,1	1,5	1,0	1,0	0,0	≈
SP81-3250	3,5	1,6	0,0	0,0	0,0	↓
RB855453	2,5	2,1	1,3	0,0	0,0	↓
SP80-1842	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	↓
CTC2	1,2	1,6	1,3	0,0	0,0	↓
SP80-3280	0,0	1,0	0,9	0,0	0,0	↓
CTC9	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
SP83-5073	1,5	0,0	0,8	0,0	0,0	↓
CTC20 ⁽¹⁾	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	↓
CTC17 ⁽¹⁾	1,2	1,0	0,0	0,0	0,0	↓
CTC7	1,4	1,3	1,0	0,0	0,0	↓
RB965518 ⁽¹⁾	1,3	2,2	1,3	0,0	0,0	↓
CTC11	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
CTC16 ⁽¹⁾	0,7	0,9	0,8	0,0	0,0	↓
Outras	9,4	11,1	12,8	21,0	26,0	↑

⁽¹⁾ Protegidas.

Fonte: Braga Junior et al. (2018, 2019, 2021) e Brunini e Carvalho (2018).

Tabela 3.30. Participação das principais variedades nas áreas de cultivo da região de Araçatuba, no estado de São Paulo, com base nos dados da Conab e do Censo Varietal IAC, nas últimas cinco safras.

Variedade ⁽¹⁾	Ano safra					Tendência
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	
	Área (ha) região Araçatuba					
	894.542	899.279	992.837	723.453	731.974	
	(%)					
RB867515	36,2	34,6	29,8	23,0	19,0	↓
RB966928 ⁽¹⁾	10,0	11,6	13,8	17,0	17,0	↑
CTC4	4,5	5,5	8,4	15,0	15,0	↑
RB92579	10,9	9,8	10,8	10,0	10,0	≈
CTC9001 ⁽¹⁾	0,0	0,9	0,0	4,0	8,0	↑
RB975201 ⁽¹⁾	0,0	0,0	1,0	3,0	4,0	↑
CTC15 ⁽¹⁾	3,6	3,8	3,6	2,0	2,0	↓
RB975242 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	↑
RB975033 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	↑
RB855156	1,6	1,1	1,2	1,0	1,0	≈
RB855453	3,8	4,8	3,8	3,0	1,0	↓
CTC9002 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	↑
SP83-2847	0,9	0,7	0,7	0,0	0,0	↓
CTC9003 ⁽¹⁾	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	↓
RB855536	0,6	1,1	1,3	0,0	0,0	↓
SP81-3250	7,9	6,3	3,4	1,0	0,0	↓
SP80-1842	1,6	1,8	1,6	0,0	0,0	↓
CTC2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
IACSP95-5000 ⁽¹⁾	0,0	0,7	0,9	0,0	0,0	↓
SP80-3280	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	≈
CTC9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
RB928064 ⁽¹⁾	0,7	1,1	1,6	2,0	0,0	↑
SP91-1049	0,8	0,8	1,2	1,0	0,0	≈
RB835054	0,9	1,1	1,3	0,0	0,0	↓
RB937570 ⁽¹⁾	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
RB835486	1,3	1,1	0,0	0,0	0,0	↓
RB965902 ⁽¹⁾	0,0	0,7	1,0	0,0	0,0	↓
RB935744 ⁽¹⁾	0,9	1,4	1,2	0,0	0,0	↓
RB855035	1,6	1,0	0,9	0,0	0,0	↓
Outras	9,9	10,1	10,6	17,0	18,0	↑

⁽¹⁾ Protegidas.

Fonte: Braga Junior et al. (2018, 2019, 2021) e Brunini e Carvalho (2018).

Tabela 3.31. Participação das principais variedades nas áreas de cultivo da região de Jau, no estado de São Paulo, com base nos dados da Conab e do Censo Varietal IAC, nas últimas cinco safras.

Variedade	Ano safra					Tendência
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	
	Área (ha) região Jau					
	634.583	638.518	632.162	522.893	589.463	
(%)						
RB966928 ⁽¹⁾	13,5	16,0	17,7	18,0	17,0	↑
RB867515	23,2	21,8	21,0	18,0	17,0	↓
RB855156	10,9	11,0	10,7	11,0	9,0	≈
SP83-2847	9,5	8,8	8,1	8,0	6,0	↓
CTC4	1,2	2,1	3,0	4,0	5,0	↑
CTC9001 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,9	2,0	5,0	↑
CV7870	0,0	1,7	0,0	4,0	5,0	↓
RB92579	5,9	6,0	5,4	5,0	4,0	≈
SP80-3280	1,8	2,1	2,7	3,0	3,0	≈
CTC2	2,5	2,6	2,5	0,0	2,0	↓
RB855035	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0	↑
IACSP04-6007 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	↓
CTC15 ⁽¹⁾	4,0	3,3	2,3	0,0	0,0	↓
RB855536	1,2	1,0	1,0	0,0	0,0	↓
SP81-3250	3,9	1,9	0,0	0,0	0,0	↓
RB855453	1,9	1,4	1,0	0,0	0,0	↓
SP80-1842	1,4	1,1	0,0	0,0	0,0	↓
IACSP95-5000 ⁽¹⁾	1,6	2,0	1,8	2,0	0,0	↓
CTC9	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
CTC20 ⁽¹⁾	1,0	1,1	1,2	0,0	0,0	↓
CTC17 ⁽¹⁾	1,9	1,6	1,0	0,0	0,0	↓
CTC11	0,0	0,6	0,8	0,0	0,0	↓
CV6654 ⁽¹⁾	1,9	1,8	1,3	1,0	0,0	↓
SP80-1816	0,7	0,8	0,0	0,0	0,0	↓
RB965902 ⁽¹⁾	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
RB935744 ⁽¹⁾	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	↓
Outras	10,1	11,3	13,9	22,0	23,0	↑

⁽¹⁾ Protegidas.

Fonte: Braga Junior et al. (2018, 2019, 2021) e Brunini e Carvalho (2018).

Tabela 3.32. Participação das principais variedades nas áreas de cultivo da região de Piracicaba, no estado de São Paulo, com base nos dados da Conab e do Censo Varietal IAC, nas últimas cinco safras.

Variedade	Ano safra					Tendência
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	
	Área (ha) região Piracicaba					
	305.754	275.979	269.123	249.584	232.801	
(%)						
RB966928 ⁽¹⁾	11,1	13,0	15,6	17,0	16,0	≈
CTC4	3,6	4,8	6,4	9,0	10,0	↑
RB855156	11,4	11,9	11,7	11,0	10,0	≈
RB867515	18,0	14,1	12,7	10,0	9,0	↓
CTC9001 ⁽¹⁾	0,0	0,0	1,4	3,0	6,0	↑
SP80-3280	5,5	5,4	5,1	5,0	4,0	≈
RB855035	0,0	1,0	1,8	3,0	4,0	↑
CTC20 ⁽¹⁾	2,4	3,1	3,1	3,0	3,0	≈
CV6654 ⁽¹⁾	7,5	5,6	4,7	4,0	3,0	≈
RB855453	4,7	4,3	3,7	4,0	2,0	↓
SP80-1842	1,2	1,5	1,6	0,0	2,0	≈
CTC11	2,8	3,6	3,2	3,0	2,0	↓
SP83-2847	2,2	2,3	2,1	0,0	0,0	↓
CTC15 ⁽¹⁾	4,4	4,1	3,2	0,0	0,0	↓
RB855536	2,4	2,3	2,1	0,0	0,0	↓
SP81-3250	2,2	0,9	0,0	0,0	0,0	↓
CTC2	2,0	1,9	1,6	0,0	0,0	↓
IACSP95-5000 ⁽¹⁾	1,5	2,0	2,2	2,0	0,0	↓
CTC9	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
CTC17 ⁽¹⁾	3,5	3,5	2,7	0,0	0,0	↓
SP80-1816	1,0	1,4	1,5	0,0	0,0	↓
CV8770	2,7	2,6	2,3	0,0	0,0	↓
Outras	8,8	10,7	11,3	26,0	29,0	↑

⁽¹⁾ Protegidas.

Fonte: Braga Junior et al. (2018, 2019, 2021) e Brunini e Carvalho (2018).

Tabela 3.33. Participação das principais variedades nas áreas de cultivo da região de São José do Rio Preto, no estado de São Paulo, com base nos dados da Conab e do Censo Varietal IAC, nas últimas cinco safras.

Variedade	Ano safra					Tendência
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	
	Área (ha) região São José do Rio Preto					
	823.224	853.083	811.925	783.901	885.491	
(%)						
RB966928 ⁽¹⁾	10,8	12,7	15,4	18,0	17,0	≈
CTC4	3,0	5,6	10,0	14,0	16,0	↑
RB867515	19,2	17,0	13,6	11,0	11,0	≈
RB92579	8,2	9,3	8,9	8,0	6,0	↓
RB855453	10,0	9,6	8,4	8,0	6,0	↓
CTC9001 ⁽¹⁾	0,0	0,0	2,1	3,0	5,0	↑
CV7870	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	↑
CTC9003 ⁽¹⁾	0,0	1,0	1,7	3,0	3,0	≈
RB975201 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,9	0,0	3,0	↑
RB855156	1,3	1,7	1,9	2,0	2,0	≈
RB855536	3,5	3,3	2,6	3,0	2,0	≈
SP83-2847	2,2	1,8	1,4	0,0	0,0	↓
CTC15 ⁽¹⁾	4,7	4,6	3,8	3,0	0,0	↓
SP81-3250	10,3	7,1	3,9	0,0	0,0	↓
SP80-1842	1,4	1,2	0,0	0,0	0,0	↓
CTC2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
IACSP95-5000 ⁽¹⁾	1,5	1,5	1,3	0,0	0,0	↓
SP80-3280	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
SP91-1049	1,6	1,4	1,1	0,0	0,0	↓
RB835054	1,4	1,3	1,2	0,0	0,0	↓
RB937570 ⁽¹⁾	0,0	1,3	1,4	0,0	0,0	↓
RB835486	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
SP80-1816	1,2	1,0	0,0	0,0	0,0	↓
RB965902 ⁽¹⁾	0,0	1,2	1,5	2,0	0,0	↓
RB935744 ⁽¹⁾	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	↓
CV8770	0,0	0,0	1,6	3,0	0,0	↓
IAC87-3396	1,1	1,2	0,0	0,0	0,0	↓
Outras	15,4	15,0	17,3	22,0	25,0	↑

⁽¹⁾ Protegidas.

Fonte: Braga Junior et al. (2018, 2019, 2021) e Brunini e Carvalho (2018).

Tabela 3.34. Participação das principais variedades nas áreas de cultivo da região de Ribeirão Preto, no estado de São Paulo, com base nos dados da Conab e do Censo Varietal IAC, nas últimas cinco safras.

Variedade	Ano safra					Tendência
	2016/2017	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	
	Área (ha) região Ribeirão Preto					
	670.863	659.207	704.269	696.603	666.830	
(%)						
RB966928 ⁽¹⁾	10,6	12,5	13,6	14,0	15,0	↑
CTC4	5,8	7,7	8,9	11,0	12,0	↑
RB855156	7,5	7,7	8,0	8,0	8,0	≈
RB867515	10,9	9,5	7,4	6,0	4,0	↓
CTC9001 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	↑
RB855453	8,1	7,4	6,1	5,0	4,0	↓
IAC91-1099 ⁽¹⁾	0,0	1,7	4,8	5,0	4,0	≈
CTC2	4,2	4,4	4,0	4,0	3,0	≈
IACSP95-5000 ⁽¹⁾	3,8	4,4	4,2	4,0	3,0	≈
SP80-1816	4,3	4,2	4,3	4,0	3,0	≈
SP80-3280	2,7	2,8	2,4	2,0	2,0	≈
CTC20 ⁽¹⁾	1,8	2,6	2,3	2,0	2,0	≈
RB92579	1,1	1,3	1,2	0,0	0,0	↓
SP83-2847	0,0	1,3	1,3	0,0	0,0	↓
CTC15 ⁽¹⁾	2,9	2,4	1,6	0,0	0,0	↓
RB855536	6,0	5,4	4,7	4,0	0,0	↓
SP81-3250	5,7	2,4	1,2	0,0	0,0	↓
SP80-1842	2,3	1,7	1,3	0,0	0,0	↓
CTC9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	↓
CTC7	1,6	1,3	0,0	0,0	0,0	↓
RB835054	1,2	0,0	1,2	0,0	0,0	↓
CV6654 ⁽¹⁾	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	↓
RB965902 ⁽¹⁾	1,2	1,4	1,7	0,0	0,0	↓
CTC14 ⁽¹⁾	1,4	1,4	0,0	0,0	0,0	↓
CTC9005HP ⁽¹⁾	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	↓
Outras	15,9	16,5	18,5	29,0	36,0	↑

⁽¹⁾ Protegidas.

Fonte: Braga Junior et al. (2018, 2019, 2021) e Brunini e Carvalho (2018).

Considerações finais

Todo o conhecimento botânico da cana-de-açúcar, aliado aos estudos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, e os desenvolvimentos da genética e métodos de melhoramento, têm contribuído significativamente para determinar manejos diferenciados quando os ambientes produtivos exigem incrementos de produtividade.

Entende-se que também se faz necessário que estudos versem sobre o desenvolvimento de raízes de cana-de-açúcar, sendo mais efetivos e menos incipientes. Isso é resultado, certamente, da dificuldade para uma avaliação padronizada e eficiente do sistema radicular, principalmente devido ao uso intensivo da mecanização da lavoura, além da demanda de novas tecnologias de sensoriamento e avaliação da disponibilidade hídrica, nutrição orgânica e mineral no sistema de cana crua. No entanto, é preciso que se determinem diagnósticos e estratégias operacionais que possibilitem avaliações com considerável nível de sucesso, estabelecendo-se padrões que possam ser mais universalizados, principalmente no que diz respeito a métodos de amostragem e estimativas de crescimento e concentração de raízes.

Os programas de melhoramento genético dedicam bastante atenção e investem muitos recursos e capital humano nos estágios finais de seleção, quando as variedades já estão locadas em ambientes diversos, nos ensaios de validação instalados nas usinas e fornecedores de cana-de-açúcar. A maioria das usinas conta com profissionais para cuidar da parte de pesquisa e desenvolvimento, pois as variedades de cana-de-açúcar são a espinha dorsal da produção, cujos resultados estão atrelados ao clima da região, tipo e fertilidade dos solos, época em que são plantadas e colhidas, e pela melhor estimativa da interação genótipo-ambiente no manejo adotado na unidade.

É indispensável também um manejo fitossanitário adequado pois as doenças prevalentes devem ser mantidas sob controle, como no caso da quantidade e dispersão de inóculo, mecanismos de disseminação das doenças, ambientes de estresse em certas condições climáticas, e época e idade da planta nos momentos de maior agressividade das doenças, entre outras. O Brasil já teve surtos de doenças que inviabilizaram excelentes variedades de cana-de-açúcar, como tivemos o mosaico no passado (por volta de 1920), o amarelinho (vírus da síndrome do amarelecimento) na SP71-6163 na década de 1990, a ferrugem-marrom que comprometeu a SP79-1011 e a RB835486 (décadas de 1980 e 1990), a ferrugem-laranja que mais recentemente inviabilizou a SP81-3250 e a RB72454 e principalmente o carvão, que até hoje é preocupante em algumas regiões, e que no passado já desbancou variedades ótimas como a NA56-79, campeã de cultivo nos anos 1970 e 1980. Quanto às pragas, a broca tem sido a campeã em causar danos nos canaviais, assim como as cigarrinhas, o *Sphenophorus levis*, outras pragas de solo, além dos cupins, formigas, nematoides, entre outras.

As pesquisas em biotecnologia já conseguiram lançar quatro variedades BT resistentes à broca (CTC20BT, CTC9001BT, CTC9003BT e 7515BT), fruto de manipulação genética utilizando o gene inseticida do *Bacillus thuringiensis* com grande sucesso. A empresa CTCCanaveira já tem outras variedades transgênicas em experimentação para diversos tipos de ambiente e que são resistentes à broca.

Em outro contexto, os programas de melhoramento genético têm contribuído significativamente para o desenvolvimento da cana-de-açúcar no Brasil, principalmente porque genética moderna e plantas melhoradas são a forma mais econômica e prática de incrementar produtividade. Ano após ano, e após sucessivos ciclos de seleção, com uso de genitores com genética

cada vez melhor para produção e resistência, os ganhos genéticos são transformados em novas e melhores cultivares. Para avançar geneticamente em cana-de-açúcar, a transgenia é também ferramenta e caminho estratégico necessário para que se possa resolver questões relacionadas a susceptibilidade das variedades a problemas entomológicos e fitopatológicos, aliados a melhores eficiências nutricionais e de uso da água, visando um melhor aproveitamento em ambientes de produção desfavoráveis, além de incrementar a eficiência em cultivos nos bons ambientes produtivos e com novas técnicas agronômicas.

Há outras tendências aplicadas ao manejo varietal usando novas ferramentas, associadas a processos de fenotipagem (*high throughput*, automatização em larga escala), com o uso de sensores espectrais e termais não invasivos embarcados em drones, equipamentos que permitem análise quantitativa e/ou qualitativa de metabólitos, da estrutura e do funcionamento das plantas. A sua integração com a genômica permitirá a obtenção de resultados mais rápidos na pesquisa. A fenotipagem, neste caso, funcionaria como um suporte essencial aos programas de melhoramento genético e biotecnologia.

Referências

- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] CANA-DE-AÇÚCAR: safra 2017/18: quarto levantamento, v. 4, n. 4, p. 1-73, abr. 2018. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/17026_e0504d08aca77ee13e86c2e7e7f43424. Acesso em: 2 mar. 2022.
- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] CANA-DE-AÇÚCAR: safra 2020/21: quarto levantamento, v. 7, n. 4, p. 1-57, maio 2021. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/37136_b3e7df44d7d5e801238498af6b39d254. Acesso em: 2 mar. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2012**. Brasília, DF: ANA, 2012. 215 p. Edição especial.
- AGUIRRE JUNIOR, J. M. de. **Criação de novas variedades de cana no Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1936. 64 p. (Boletim técnico, 34).
- AMORIN, L.; BERGAMIN FILHO, A.; SANGUINO, A.; CARDOSO, C. O. N.; MORAES, V. A.; FERNANDES, C. R. Metodologia de avaliação da ferrugem da cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*). **Boletim Técnico Copersucar**, n. 39, p. 13-16, nov. 1987.
- ANDRADE, M. C. de. **Modernização e pobreza: a expansão da agroindústria canavieira e seu impacto ecológico e social**. São Paulo: Ed. da Unesp, 1994. 250 p.
- ARANHA, C.; YAHN, C. A. Botânica da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 4-31.
- ARTSCHWAGER, E.; BRANDES, E. W. **Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.): origin, classification, characteristics and description of representative clones**. Washington, DC.: United States Department of Agriculture, 1958. (Agriculture handbook, 122).
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; MARIN, F. R.; PELLEGRINO, G. Q. Mudanças climáticas e a produção de grãos no Brasil: avaliação dos possíveis impactos. **Revista Plenarium**, ano 5, n. 5, p. 96-117, out. 2008.
- ASTSCHWAGER, E. Anatomy of the vegetative organs of sugarcane. **Journal of Agricultural Research**, v. 30, n. 2, p. 197-221, Feb. 1925.
- BACCHI, O. O. S. Botânica da cana-de-açúcar. In: ORLANDO FILHO, J. (coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983. p. 24-37. (Coleção Planalsucar, 2).
- BARBER, C. A. **Studies in Indian sugarcane: sugarcane seedlings, including some correlations between morphological characters and sucrose in the juice**. Calcuttá: Thacker Spink, 1916. (Memoirs of the Department of Agriculture in India. Botanical series, v. 8, n. 3).
- BARBOSA, G. V. de S. **Contribuição do melhoramento genético da cana-de-açúcar para a agroindústria canavieira de Alagoas**. 2014. 113 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V. de; PETERNELLI, L. A.; SILVEIRA, L. C. I. da; DONDA, L. R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. de A.; FIGUEIREDO, I. C. R. de. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 4, p. 195-203, dez. 2007.
- BERDING, N.; ROACH, B. T. Germoplasm collection, maintenance and use. In: HEINZ, D. J. (ed.). **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier Press, 1987. p. 143-210. (Developments in crop science,

11). DOI: [10.1016/B978-0-444-42769-4.50009-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42769-4.50009-6). [10.1016/B978-0-444-42769-4.50009-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42769-4.50009-6).

BIOETANOL de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: BNDES, 2008. 314 p.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 186 p.

BORÉM, A. Interação genótipo x ambiente. In: BORÉM, A. **Melhoramento de plantas**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 1998. p. 105-116.

BRAGA JUNIOR, R. L. do C.; LANDELL, M. G. de A.; SILVA, D. N. da; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, T. N. da; THOMAZINHO JUNIOR, J. R.; SILVA, V. H. P. da. **Censo varietal IAC de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil - safra 2016/17**. Campinas: Instituto Agronômico, 2017. 40 p. (Série tecnologia APTA. Boletim técnico IAC, 217).

BRAGA JUNIOR, R. L. do C.; LANDELL, M. G. de A.; SILVA, D. N. da; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, T. N. da; THOMAZINHO JÚNIOR, J. R.; SILVA, V. H. P. da. **Censo varietal IAC de cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil: safra 2017/18**. Campinas: Instituto Agronômico, 2018. 50 p. (Série tecnologia APTA. Boletim técnico IAC, 219).

BRAGA JUNIOR, R. L. do C.; LANDELL, M. G. de A.; SILVA, D. N. da; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, T. N. da; THOMAZINHO JÚNIOR, J. R.; SILVA, V. H. P. da; ANJOS, I. A. dos. **Censo varietal IAC de cana-de-açúcar no Brasil - safra 2017/18 e na região Centro-Sul - safra 2018/19**. Campinas: Instituto Agronômico, 2019. 64 p. (Série tecnologia APTA. Boletim técnico IAC, 221).

BRAGA JUNIOR, R. L. do C.; LANDELL, M. G. de A.; SILVA, D. N. da; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, T. N. da; SILVA, V. H. P. da; LUZ, A. M.; ANJOS, I. A. dos. **Censo varietal IAC de cana-de-açúcar no Brasil - safra 2018/19 e na região Centro-Sul - safra 2019/20**. Campinas: Instituto Agronômico, 2021. 64 p. (Série tecnologia APTA. Boletim técnico IAC, 225).

BRANDES, E. W. Origin, dispersal and use in breeding of the Melanesian garden sugarcane and their derivatives, *Saccharum officinarum* L. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, v. 9, p. 709-750, 1956.

BRASIL. Decreto nº 2.366, de 5 de novembro de 1997. Regulamenta a Lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997, que institui a Proteção de Cultivares, dispõe sobre o Serviço Nacional de Proteção de Cultivares - SNPC, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 25162, 6 nov. 1997a.

BRASIL. Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996. Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 8353, 16 maio 1996.

BRASIL. Lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997. Institui a Lei de Proteção de Cultivares e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 8241, 28 abr. 1997b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **CultivarWeb**: Serviço Nacional de Proteção de Cultivares – SNPC. Disponível em: https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_protegidas.php. Acesso em: 3 mar. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. **Anuário estatístico da agroenergia**. Brasília, DF, 2009. 160 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Proteção de cultivares no Brasil**. Brasília, DF, 2011. 204 p.

BREMER, G. On the somatic chromosome numbers of sugar-cane forms and the chromosome numbers of indigenous Indian cane. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, v. 4, n. 20, p. 1-3, 1932. Disponível em: <https://issct.org/wp-content/uploads/proceedings/1932/1932%20Bremer,On%20the%20somatic%20chromosome%20numbers%20of%20sugar%20cane%20forms.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2022.

BRESSIANI, J. A. **Seleção sequencial em cana-de-açúcar**. 2001. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

BRIEGER, F. O. Início da safra: como determinar a maturação. **Boletim Informativo Copereste**, v. 4, p. 1-3, 1968. Número único.

BROWN, D. A.; UPCHURCH, D. R. Minirhizotron: a summary of methods and instruments in current use. In: TAYLOR, H. M. (ed.). **Minirhizotron observation tubes: methods and applications for measuring rhizosphere dynamics**. Madison: American Society of Agronomy, 1987. p. 15-30. (ASA special publication, no. 50). DOI: [10.2134/asapecpub50.c2](https://doi.org/10.2134/asapecpub50.c2).

BRUCH, K. L.; DEWES, H. Limites do direito de propriedade industrial de plantas: um estudo de caso na videria. In: SIMPÓSIO DE GESTÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 24., 2006, Gramado. **Anais...** Gramado: Anpad, 2006. 1 CD-ROM.

BRUNINI, O.; CARVALHO, J. P. de. **Zoneamento agroambiental para o setor florestal: zoneamento edafoclimático: orientações técnicas e viabilidade de cultivo**. Campinas: Instituto Agronômico, 2018. 39 p. (Série Tecnologia APTA. Boletim técnico IAC, 218).

BUFON, V. B.; MESQUITA, J.; ZUKETTA, R.; TELLES, L.; DOMINGOS, I. E.; MARIN, F. Sugarcane in the Brazilian

- Savanna (Cerrado): effects of irrigation on biomass production and partitioning. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2013, Kansas City. [Proceedings...]. Kansas City: Asabe, 2013.
- CALMON, P. O açúcar, sua história e influência na civilização brasileira. *Anuário Açucareiro*, v. 1, p. 7-12, 1935.
- CÂMARA, G. M. S. Ecofisiologia da cultura da cana-de-açúcar. In: CAMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. **Produção da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Fealq, 1993. p. 31-64.
- CAMPOS, P. F.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; FONTOURA, P. R.; EVANGELISTA, A. W. P.; VELLAME, L. M. Response of varieties of sugarcane to deficit irrigation in Brazilian Savanna. *Water Resources and Irrigation Management*, v. 3, n. 1, p. 31-36, jan./abr. 2014. DOI: [10.12702/ii.inovagri.2014-a148](https://doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-a148).
- CARVALHO-NETTO, O. V.; BRESSIANI, J. A.; SORIANO, H. L.; FIORI, C. S.; SANTOS, J. M.; BARBOSA, G. V. S.; XAVIER, M. A.; LANDELL, M. G. A.; PEREIRA, G. A. G. The potential of the energy cane as the main biomass crop for the cellulosic industry. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 1, n. 20, Oct. 2014. DOI: [10.1186/s40538-014-0020-2](https://doi.org/10.1186/s40538-014-0020-2).
- CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 1991. 157 p.
- CASAGRANDE, A. A.; GODOY, O. P. Cultivo mecânico e adubação na soqueira da cana-de-açúcar: efeito na planta. Científica: *Revista de Ciências Agrárias*, v. 3, p. 95-106, 1975.
- CASTRO, P. R. C. Curso da fisiologia vegetal aplicada a cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISILOGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Stab, 2000. 10 p. 1 CD-ROM.
- CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Novas variedades CTC9000 aptas para o cerrado**. Piracicaba, 2013. 34 p.
- CORRÊA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1926.
- COSTA, C. Primeiras canas e primeiros açúcares no Brasil. *Brasil Açucareiro*, ano 36, v. 52, n. 3, p. 160-168, set. 1958.
- COX, M.; HOGARTH, M.; SMITH, G. Cane breeding and improvement. In: HOGARTH, M.; ALLSOPP, P. (ed.) **Manual of canegrowing**. Indooroopilly: Bureau of Sugar Experiment Stations, 2000. p. 91-108.
- CRONQUIST, A. J. **An integrated system of classification of flowering plants**. New York: Columbia University Press, 1981. 1262 p.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. Interação Genótipos x Ambientes. In: CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2003. v. 2, p. 435-529.
- DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In: HEINZ, D. J. (ed.). **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 7-84. (Developments in crop science, 11). DOI: [10.1016/B978-0-444-42769-4.50007-2](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42769-4.50007-2).
- DILLEWIJN, C. van. **Botany of sugarcane**. Waltham: The Chronica Botanica, 1952. 371 p.
- DINARDO-MIRANDA, L. L. Manejo de nematóides em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de. (org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 281-292.
- DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise "AMMI"**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p. (Série monografia, 9).
- EARLE, F. S. Sugarcane and its culture. New York: John Wiley & Sons, 1928. 355 p.
- EBERHART, S. A.; RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, v. 6, n. 1, p. 36-40, Jan./Feb. 1966. DOI: [10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x](https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x).
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional 2012: ano base 2011: relatório final**. Brasília, DF: EPE, 2012. 281 p.
- FAO. **Food and agriculture data**. 2022. Disponível em: <http://faostat.fao.org/default.aspx>. Acesso em: 11 mar. 2022.
- FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Quantificação de raízes metabolicamente ativas de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 6, p. 1007-1013, jun. 2006. DOI: [10.1590/S0100-204X2006000600017](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000600017).
- FAUCONNIER, R. **La canne à sucre**. Paris: Agence de coopération culturelle et technique, 1991. 165 p. (Le technicien d'agriculture tropicale, 17).
- FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La caña de azúcar**. Barcelona: Blume, 1975. 433 p.
- FERNANDES, A. C. **Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar**. 2. ed. Piracicaba: Stab, 2003. 240 p.
- FERNANDES, J. **Subsolagem no controle da compactação do solo na cana-soca (*Saccharum spp*) variedade CB 41-76 e seus efeitos no rendimento agrícola e no sistema radicular**. 1979. 158 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- FERNANDES JÚNIOR, A. R.; ANDRADE, J. A. C.; SANTOS, P. C.; HOMANN, H. P.; CHAPOLA, R. G.; CARNEIRO, M. S.;

- CURSI, D. E. **Adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar**. *Bragantia*, v. 72, n. 3, p.208-216, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/brag.2013.033>.
- FERRAUDO, G. M. **Comparação de modelos mistos, AMMI e Eberhart-Russell via simulação no estudo da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar**. 2013. 103 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.
- FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agrônomo no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONELAS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. (ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 31-44.
- FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 14, n. 6, p. 742-754, 1963. DOI: [10.1071/AR9630742](https://doi.org/10.1071/AR9630742).
- FRANCO, C. M.; INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia: Boletim Técnico da Divisão de Experimentação e Pesquisas*, v. 6, n. 9, p. 443-478, set. 1946.
- FUCK, M. P.; BECALTCHUK, B.; BONACELLI, M. B. M. Produção brasileira de sementes de soja, trigo e milho. *Seed News*, v. 10, n. 6, p. 28-30, 2006.
- FUCK, M. P.; BONACELLI, M. B.; CARVALHO, S. P. de. Propriedade intelectual em melhoramento vegetal: o que muda com a alteração na Lei de Proteção de Cultivares no Brasil? *Economia & Tecnologia*, ano 3, v. 11, p. 89-97, out./dez. 2007.
- GAUCH JUNIOR, H. G. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, v. 46, n. 4, p. 1488-1500, July/Aug.2006. DOI: [10.2135/cropsci2005.07-0193](https://doi.org/10.2135/cropsci2005.07-0193).
- GOES, T.; MARRA, R. **A expansão da cana-de-açúcar e sua sustentabilidade**. [2008]. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Expansao_cana_Goes_000fd7bwaq02wyiv809gkz51l7qf66.pdf. Acesso em: 20 jan. 2022.
- GOMES, F. P.; LIMA, U. A. A cana-de-açúcar no mundo. In: MALAVOLTA, E.; SEGALLA, A. L.; GOMES, F. P.; BRIEGER, F. O.; PARANHOS, S. B.; RANZANI, G.; VALSECHI, O.; JUNQUEIRA, A. A. B.; CAMARGO, A. P. de; BERGAMIN, J.; TOFANNO, W. B.; PEIXOTO, A. M.; LIMA, U. de A.; DANTAS, B.; ORTOLANI, A. A.; HAAG, H. P.; LIMA, C. C. A.; OLIVEIRA, E. R. (ed.). **Cultura e adubação da cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa, 1964. p. 11-26.
- GORNALL, J.; BETTS, R.; BURKE, E.; CLARK, R.; CAMP, J.; WILLET, K.; WILTSHIRE, A. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 365, n. 1554, p. 2973-2989, Sept. 2010. DOI: [10.1098/rstb.2010.0158](https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0158).
- GOSS, M. J.; MILLER, M. H.; BAILEY, L. D.; GRANT, C. A. Root growth and distribution in relation to nutrient availability and uptake. *European Journal of Agronomy*, v. 2, n. 2, p. 57-67, 1993. DOI: [10.1016/S1161-0301\(14\)80135-4](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(14)80135-4).
- HEINZ, D. J.; OSGOOD, R. V.; MOORE, P. M. Sugarcane. In: ANRTZEN, C. J.; RITTER, E. M. (ed.). **Encyclopedia of Agricultural Science**. San Diego: Academic Press, 1994. v. 4, p. 225-238.
- HENDERSON, C. R. Sire evaluation and genetic trends. *Journal of Animal Science*, v. 1973, p. 10-41, 1973. Issue Symposium. DOI: [10.1093/ansci/1973.Symposium.10](https://doi.org/10.1093/ansci/1973.Symposium.10).
- HUMBERT, R. P. The nutrition of sugar cane. In: HUMBERT, R. P. (ed.). **The growing of sugar cane**. Amsterdam: Elsevier, 1968. p. 133-212.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://ibge.gov.br>. Acesso em: 18 mar. 2022.
- IDE, B. Y. **Sistema radicular**. Piracicaba: Copersucar, 1981. 20 p. Relatório Copersucar.
- INFORZATO, R.; ALVAREZ, R. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar var. co. 290, em solo tipo terra roxa legítima. *Bragantia: Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo*, v. 16, n. 1, p. 1-13, out. 1957. DOI: [10.1590/S0006-87051957000100001](https://doi.org/10.1590/S0006-87051957000100001).
- INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL. **Brasil/açúcar**. Rio de Janeiro: IAA, 1972. 243 p. (Coleção canavieira, 8).
- INTERNATIONAL UNION FOR THE PROTECTION OF NEW VARIETIES OF PLANTS. **Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability: sugarcane (*Saccharum* L.)**. Geneva: Upov, 2005. 36 p. TG/186/1.
- IRVINE, J. E. *Saccharum* species as horticultural classes. *Theoretical and Applied Genetics*, v. 98, n. 2, p. 186-194, Feb. 1999. DOI: [10.1007/s001220051057](https://doi.org/10.1007/s001220051057).
- JACKSON, P. A.; HOGARTH, D. M. Genotype x environment interactions in sugarcane. I. Patterns of response across sites and crop-years in North Queensland. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 43, n. 7, p. 1447-1459, 1992. DOI: [10.1071/AR9921447](https://doi.org/10.1071/AR9921447).
- JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; BURGOS, N.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. da. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. Recife: Divisão de Pesquisa Pedológica: Sudene-DRN, 1972-1973. 2 v. (Brasil. Divisão de Pesquisa

Pedológica. Boletim técnico, 26; Sudene-DRN. Série Pedologia, 14).

JESWIET, J. The development of selection and breeding of the sugarcane in Java. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, v. 3, p. 44-57, 1929.

JUNQUEIRA, A. A. B.; DANTAS, B.; MALAVOLTA, E. A cana-de-açúcar no Brasil. In: MALAVOLTA, E.; SEGALLA, A. L.; GOMES, F. P.; BRIEGER, F. O.; PARANHOS, S. B.; RANZANI, G.; VALSECHI, O.; JUNQUEIRA, A. A. B.; CAMARGO, A. P. de; BERGAMIN, J.; TOFANNO, W. B.; PEIXOTO, A. M.; LIMA, U. de A.; DANTAS, B.; ORTOLANI, A. A.; HAAG, H. P.; LIMA, C. C. A.; OLIVEIRA, E. R. (ed.). **Cultura e adubação da cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa, 1964. p. 27-60.

KORNDÖRFER, G. H.; PRIMAVEZI, O.; DEUBER, R. **Crescimento e distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho Amarelo**. São Paulo: Copersucar, 1989. p. 32-36. (Boletim técnico Copersucar, 47).

LANDELL, M. G. A.; ALVAREZ, R. Cana-de-açúcar. In: FURLANI, A. M. C.; VIÉGAS, G. P. (ed.). **O melhoramento de plantas no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p. 77-93.

LANDELL, M. G. A.; VASCONCELOS, A. C. M.; Melhoramento genético da cana-de-açúcar: 25 anos de evolução. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v. 25, n. 2, p. 30-32, 2006.

LANDELL, M. G. de A. **Comportamento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), frente a níveis de alumínio, em solução nutritiva**. 1989. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia— Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal).

LANDELL, M. G. de A. Método experimental: ensaios de competição em cana-de-açúcar. In: MARTINS, A. L. M.; LANDELL, M. G. de A. **Conceitos e critérios para avaliação experimental em cana-de-açúcar utilizados no Programa Cana IAC**. Pindorama: Instituto Agrônomo, 1995. p. 2-14.

LANDELL, M. G. de A.; BRESSIANI, J. A. Melhoramento genético e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. (ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 101-156.

LANDELL, M. G. de A.; MACHADO, R. S.; SILVA, D. N. da; SCARPARI, M. S.; XAVIER, M. A.; CRESTE, S.; ANJOS, I. A. dos; PRADO, H. do; PINTO, L. R.; BIDÓIA, M. A. P. A interação entre a cana-de-açúcar e ambientes de produção estressantes. In: CRUSCIOL, C. A. C.; SILVA, M. de A.; ROSSETTO, R.; SORATTO, R. P. (ed.). **Tópicos em**

ecofisiologia da cana-de-açúcar. Botucatu: Fepaf, 2010. p. 34-42.

LANDELL, M. G. de A.; PINTO, L. R.; CRESTE, S.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A. dos; VASCONCELOS, A. C. M.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N. da; SILVA, M. de A. Seleção de novas variedades de cana-de-açúcar e seu manejo de produção. **Informações Agrônomicas**, n. 110, p. 18-24, jun. 2005. Encarte.

LANDELL, M. G. de A.; PRADO, H. do; VASCONCELOS, A. C. M. de; PERECIN, D.; ROSSETTO, R.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, M. de A.; XAVIER, M. A. Oxisol subsurface chemical attributes related to sugarcane productivity. **Scientia Agrícola**, v. 60, n. 4, p. 741-745, Dec. 2003. DOI: [10.1590/S0103-90162003000400020](https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000400020).

LANDELL, M. G. de A.; SILVA, M. de A. As estratégias de seleção da cana em desenvolvimento no Brasil. **Visão Agrícola**, n. 1, p. 18-23, jan./jun. 2004.

LIN, C. S.; BINNS, M. R.; LEFKOVITCH, L. P. Stability analysis: where do we stand? **Crop Science**, v. 26, n. 5, p. 894-900, Sept./Oct. 1986. DOI: [10.2135/cropsci1986.0011183X002600050012x](https://doi.org/10.2135/cropsci1986.0011183X002600050012x).

LIPPMAN, E. O. **História do açúcar**: desde a época mais remota até o começo da fabricação do açúcar de beterraba. Rio de Janeiro: IAA, 1942. 910 p.

LYNCH, M.; WALSH, B. Genotype x environment interaction. In: LYNCH, M.; WALSH, B. **Genetics and analysis of quantitative traits**. Sunderland: Sinauer, 1997. p. 657-686.

MACCHERONI, W.; MATSUOKA, S. Manejo das principais doenças da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de (org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP2, 2006. p. 239-256.

MACEDO, I. de C. (org.) **A energia da cana-de-açúcar**: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Unica, 2005. 235 p.

MACHADO JUNIOR, G. R. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 165-186.

MACHADO JUNIOR, G. R. Sugarcane varieties. **Sugar Journal**, v. 65, n. 2, p. 6-7, 2002.

MACHADO JUNIOR, G. R.; BRAGA JUNIOR, R. L. C. Sugarcane cultivars grown from 1991 to 2017 in the Brazilian industry. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS' CONGRESS, 30., 2019, Tucumán. [Proceedings...]. Tucumán: SATCA, 2019.

- MACHADO JUNIOR, G. R.; SILVA W. M. da; IRVINE, J. E. Sugarcane breeding in Brazil: the Copersucar program. In: COPERSUCAR INTERNATIONAL SUGARCANE BREEDING WORKSHOP, 1987, Piracicaba. [Proceedings...]. São Paulo: Copersucar, 1987. p. 217-232.
- MAJDI, H.; SMUCKER, A. J. M.; PERSSON, H. A comparison between minirhizotron and monolith sampling methods for measuring root growth of maize (*Zea mays* L.). **Plant and Soil**, v. 147, n. 1, p. 127-134, Nov. 1992.
- MANGELSDORF, A. J. Sugarcane breeding in Hawaii. Part II – 1921-1952. **Hawaiian Planters' Record**, v. 54, p. 101-137, 1953.
- MARGARIDO, F. B. Planejamento agrícola em cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. de S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. de (org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 69-78.
- MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 232-239, 2013. DOI: [10.1590/S1415-43662013000200015](https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200015).
- MARTINEZ, M. B.; LUGOZ-LÓPEZ, M. A. Influence of subsoil shattering and fertilization on sugarcane production and soil infiltration capacity. **Soil Science**, v. 75, n. 4, p. 307-316, Apr. 1953.
- MARTINS, L. G. C. **Contribuição nutricional do sistema radicular e do solo para o desenvolvimento e o crescimento de brotações de eucalipto**. 1995. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MATSUOKA, S. Free fiber level drives resilience and hybrid vigor in energy cane. **Journal of Scientific Achievements**, v. 2, n. 1, p. 1-35, Winter 2017.
- MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 1999. p. 205-251.
- MATSUOKA, S.; KENNEDY, A. J.; SANTOS, E. G. D. dos; TOMAZELA, A. L.; RUBIO, L. C. S. Energy cane: its concept, development, characteristics, and prospects. **Advances in Botany**, v. 2014, p. 1-13, 2014. DOI: [10.1155/2014/597275](https://doi.org/10.1155/2014/597275).
- MEREDITH, H. L.; PATRICK JUNIOR, W. H. Effects of soil compaction on subsoil root penetration and physical properties of three soils in Louisiana. **Agronomy Journal**, v. 53, n. 3, p. 163-167, May/June 1961. DOI: [10.2134/agronj1961.00021962005300030011x](https://doi.org/10.2134/agronj1961.00021962005300030011x).
- MIOQUE, J. Y. L.; MACHADO JUNIOR, G. R. Review of sugar cane varieties and breeding in Brazil. **Sugar Journal**, v. 40, n. 7, p. 9-13, 1977.
- MONTALVÁN, R.; MONTAÑO-VELASCO, J. C. Interação Genótipo x Ambiente: Aspectos básicos. In: DESTRO, D.; MONTALVÁN, R. (org.). **Melhoramento genético de plantas**. Londrina: UEL, 1999. p. 131-140.
- MONTEITH, N. H.; BANATH, C. L. The effects of soil strength on sugarcane root growth. **Tropical Agriculture**, v. 42, n. 4, p. 293-296, 1965.
- MOORE, P. H. Breeding for stress resistance. In: HEINZ, D. J. (ed.). **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier Press, 1987. p. 503-542. (Developments in crop science, 11). DOI: [10.1016/B978-0-444-42769-4.50018-7](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42769-4.50018-7).
- MOORE, P. H.; BOTHA, F. C. (ed.). **Sugarcane: physiology, biochemistry and functional biology**. Ames: Wiley-Blackwell, 2014.
- NAMORATO, H.; MIRANDA, G. V.; SOUZA, L. V.; OLIVEIRA, L. R.; LIMA, R. O. de; MANTOVANI, E. E. Comparing biplot multivariate analysis with Eberhart and Russel's method for genotype x environment interaction. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 9, p. 299-307, 2009. DOI: [10.12702/1984-7033.v09n04a03](https://doi.org/10.12702/1984-7033.v09n04a03).
- NASTARI, P. M. Safra 2007/08: considerações sobre o balanço oferta/demanda de açúcar e álcool. **JornalCana**, n. 163, p. 18-27, 2007.
- NUNES, D.; RIBEIRO, A.; CHAPOLA, R.; LANDELL, M. G. A.; VIOLANTE, M.; BRESSIANI, J. A. **Guia para manejo de novas variedades de cana-de-açúcar**. Grupo Idea, 2020.
- OLIVEIRA, R. A. de; BARBOSA, G. V. de S.; DAROS, E. (org.). **50 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 30 anos de RIDESA**. Curitiba: Ed. da UFPR: Ridesa, 2021. 199 p.
- OTTO, R. **Desenvolvimento de raízes e produtividade de cana-de-açúcar relacionados à adubação nitrogenada**. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.
- PERSSON, H. Methods of studying root dynamics in relation to nutrient cycling. In: HARRISON, A. F.; INESON, P.; HEAL, O. W. (ed.). **Nutrient cycling in terrestrial ecosystems: field methods, application, and interpretation**. London: Elsevier, 1990. p. 198-217.
- PIEPHO, H. P. Stability analysis using the SAS system. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 1, p. 154-160, Jan./Feb. 1999. DOI: [10.2134/agronj1999.00021962009100010024x](https://doi.org/10.2134/agronj1999.00021962009100010024x).
- PIEPHO, H. P.; MÖHRING, J.; MELCHINGER, A. E.; BÜCHSE, A. BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. **Euphytica**, v. 161, n. 1-2, p. 209-228, May 2008. DOI: [10.1007/s10681-007-9449-8](https://doi.org/10.1007/s10681-007-9449-8).
- PRADO H.; LANDELL, M. G. A.; ROSSETTO, R.; CAMPANA, M. P.; ZIMBACK, L.; SILVA, M. A. Relation between

- chemical sub surface conditions of subsoils and sugarcane yield. In: WORLD SOIL SCIENCE CONGRESS, 16., 1998, Montpellier. [Proceedings...]. Montpellier: ISSS, 1998. v. 1, p. 232.
- RAIZER, A. J. **Interações genótipos x ambientes e estabilidade fenotípica em cana-de-açúcar no Estado de São Paulo**. 1998. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- RAIZER, A. J.; BRAGA JUNIOR, R. L. C.; SELEGATO, S. M. Índices de eficiência no uso de variedades de cana-de-açúcar. *Revista RPAnews: Cana & Indústria*, ano 12, n. 151-152, p. 25-29, jul./ago. 2013.
- RAIZER, A. J.; VENCOSKY, R. Estabilidade fenotípica de novas variedades de cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 12, p. 2241-2246, dez. 1999. DOI: [10.1590/S0100-204X1999001200010](https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999001200010).
- RAMBURAN, S.; ZHOU, M.; LABUSCHAGNE, M. Interpretation of genotype x environment interactions of sugarcane: identifying significant environmental factors. *Field Crops Research*, v. 124, n. 3, p. 392-399, Dec. 2011. DOI: [10.1016/j.fcr.2011.07.008](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.07.008).
- RESENDE, M. D. V. de. Estimativa e predição de modelos lineares mistos. In: RESENDE, M. D. V. de. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. p. 101-172.
- REVISTA VARIEDADES CTC. Piracicaba: CTC, 2011. 51 p.
- RIBEIRO, N. V.; FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C. Expansão da cana-de-açúcar no Bioma Cerrado: uma análise a partir da modelagem perceptiva de dados cartográficos e orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., 2009, Natal. *Anais...* São José dos Campos: Inpe, 2009. p. 4287- 4293.
- ROCHA, A. T. da. **Gesso mineral na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial**. 2007. 69 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. Eficiência de utilização de uréia-15N por cana-planta e três socas em tabuleiro costeiro de Pernambuco. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 4.; CONVENÇÃO DA ACTALAC, 7., 1987, Olinda. *Anais...* Olinda: STab, 1987. p. 46-49.
- SACHS, R.C.C. **Contribuição das inovações biológicas para a produtividade da cana-de-açúcar no estado de São Paulo, 1998-2009**. 2015. 137 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- SANTOS, J. de M. dos; RODRIGUES, S. B. S.; FONTOURA, P. R.; BUFON, V. Z.; FEITOZA, W. de M.; SAGGIN, F.; SANTOS, R. S.; BUFON, V. B. Sugarcane production in Brazil: effects of water regime on biomass accumulation and partitioning. In: ASA, CSSA & SSSA INTERNATIONAL ANNUAL MEETING, 2014, Long Beach. [Abstracts...]. Long Beach: American Society of Agronomy, 2014.
- SANTOS, W. G. dos; MARTINS, J. I. F. O Zoneamento Agrícola de Risco Climático e sua contribuição à agricultura brasileira. *Revista de Política Agrícola*, ano. 25, n. 3, p. 73-94, jul./ago./set. 2016.
- SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. de; MARCHIORI, L. F. S.; GARCIA, J. C. Planejamento otimizado do plantio e colheita da cana-de-açúcar. In: SILVA, F. C. da; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. de. (ed.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. v. 1, p. 548-561.
- SCARPARI, M. S.; LANDELL, M. G. A.; BEAUCLAIR, E. G. F. de. Optimised agricultural planning of sugarcane using linear programming. *Proceedings of the Internacional Society of Sugar Cane Technologists*, v. 26, p. 185-189, 2007.
- SEGALLA, A. L. Botânica, melhoramento e variedades. In: MALAVOLTA, E.; SEGALLA, A. L.; GOMES, F. P.; BRIEGER, F. O.; PARANHOS, S. B.; RANZANI, G.; VALSECHI, O.; JUNQUEIRA, A. A. B.; CAMARGO, A. P. de; BERGAMIN, J.; TOFANNO, W. B.; PEIXOTO, A. M.; LIMA, U. de A.; DANTAS, B.; ORTOLANI, A. A.; HAAG, H. P.; LIMA, C. C. A.; OLIVEIRA, E. R. (ed.). **Cultura e adubação da cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa, 1964. p. 61-98.
- SILVA, F. C. da; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. de. (ed.). **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. v. 1. 586 p.
- SILVA, F. C. da; DIAZ-AMBRONA, C. G. H.; BUCKERIDGE, M. S.; SOUZA, A.; BARBIERI, V.; DOURADO NETO, D. Sugarcane and climate change: effects of CO² on potential growth and development. *Acta Horticulturae*, v. 802, p. 331-335, 2008. DOI: [10.17660/ActaHortic.2008.802.43](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.802.43).
- SILVA, F. C. da; DÍAZ-AMBRONA, C. G. H.; ITURRA, A. R. (ed.). **Desarrollo sostenible de la producción de bioetanol y azúcar: a partir de la caña de azúcar**. Madrid: Editorial Académica Española, 2013. 428 p.
- SINGELS, A.; DONALDSON, R. A.; SMIT, M. A. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. *Field Crops Research*, v. 92, n. 2-3, p. 291-303, June 2005. DOI: [10.1016/j.fcr.2005.01.022](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.022).
- SOUTH AFRICAN SUGAR ASSOCIATION. **Plant breeding crossing and selection programmes**. SASA, 2004. Disponível em: www.sugar.org.za. Acesso em: 20 nov. 2021.
- SOUZA JUNIOR, C. L. de. **Melhoramento de espécies de reprodução vegetativa**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Genética, 1995. 41 p.

- SOUZA, A. P. de, LEITE, D. C. C.; PATTATHIL, S.; HAHN, M. G.; BUCKERIDGE, M. S. Composition and structure of sugarcane cell wall polysaccharides: implications for second-generation bioethanol production. **Bioenergy Research**, v. 6, p. 564-579, June 2013. DOI: [10.1007/s12155-012-9268-1](https://doi.org/10.1007/s12155-012-9268-1).
- STEVENSON, G. C. **Genetics and breeding of sugar cane**. London: Longmans, 1965. 284 p.
- SUMMARY for policymakers. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2013: the physical science basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p. 3-29. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf. Acesso em: 20 jan. 2022.
- TAI, G. C. C. Genotype stability analysis and its application to potato regional trials. **Crop Science**, v. 11, n. 2, p.184-190, Mar./Apr. 1971. DOI: [10.2135/cropsci1971.0011183X001100020006x](https://doi.org/10.2135/cropsci1971.0011183X001100020006x).
- TEIXEIRA, P. C. **Dinâmica de crescimento radicular e suprimento de nutrientes pelas raízes e pelo solo em brotações de *Eucalyptus urophylla***. 1996. 37 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- TEW, T. L.; COBILL, R. M. Genetic improvement of sugarcane (*Saccharum* spp.) as an energy crop. In: VERMERRIS, W. (ed.). **Genetic improvement of bioenergy crops**. New York: Springer, 2008. p. 249–272. DOI: [10.1007/978-0-387-70805-8_9](https://doi.org/10.1007/978-0-387-70805-8_9).
- TROUSE JUNIOR, A. C.; HUMBERT, R. P. Some effects of soil compaction on the development of sugar cane roots. **Soil Science**, v. 91, n. 3, p. 208-217, Mar. 1961.
- URATA, R. Seedling propagation and bunch size for field transplanting. In: EXPERIMENT Station, Hawaiian Sugar Planters' Association. **Annual Report**, 1969. p. 12.
- VASCONCELOS, A. C. M. de. **Desenvolvimento do sistema radicular da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual**. 2002. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.
- VASCONCELOS, A. C. M.; CASAGRANDE, A. A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M. G. A. Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 849-858, out. 2003. DOI: [10.1590/S0100-06832003000500009](https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500009).
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.
- VENKATRAMAN, T. S.; THOMAS, R. Sugarcane root systems: studies in development and anatomy. **The Agricultural Journal of India**, v. 17, p. 381-388, 1922.
- VERMA, M. M.; CHAHAL, G. S.; MURTY, B. R. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modifications. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 53, p. 89-91, 1978. DOI: [10.1007/BF00817837](https://doi.org/10.1007/BF00817837).
- WALKER, D. I. T. Manipulating the genetic base of sugarcane. In: COPERSUCAR INTERNATIONAL SUGARCANE BREEDING WORKSHOP, 1987, Piracicaba. [Proceedings...]. São Paulo: Copersucar, 1987. p. 321-334.
- WEAVER, J. E. **Root development of field crops**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1926.
- WEAVER, J. E.; BRUNER, W. E. **Root development of vegetable crops**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1927.
- WIERSUM, L. K. The relationship of the size and structural rigidity of pores to the penetration by roots. **Plant and Soil**, v. 9, n. 1, p. 75-85, Sept. 1957. DOI: [10.1007/BF01343483](https://doi.org/10.1007/BF01343483).
- XAVIER, M. A.; LANDELL, M. G. de A.; PIRES, R. C. de M.; ROSSETTO, R.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; PERECIN, D.; PRADO, H. do; GARCIA, J. C.; VITTI, A. C.; FRACASSO, J.; AZANIA, C. A. M.; ANJOS, I. A. dos; SUGUINO, E.; SCARPARI, M. S.; AFERRI, G.; KANTHACK, R. A. D.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N. da; MATSUO, R. S.; NEVES, J. C. T.; PERRUCCO, D.; SILVA, V. H. P. da; SILVA, T. N. da; OHASHI, A. Y. P.; OLIVEIRA JUNIOR, G. B. de; MENDONÇA, J. R.; PETRI, R. H.; REIS, V. B. V. dos; BORGES, I. S.; RODRIGUES, P. E.; LUZ, A. M. da. **Gemas brotadas de cana-de-açúcar: produção sustentável e utilização experimental na formação de áreas de multiplicação**. Campinas: Instituto Agronômico, 2020. 52 p. (Documentos IAC, 115).
- YAN, W.; KANG, M. S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P. L. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. **Crop Science**, v. 47, n. 2, p. 643-653, Mar. 2007. DOI: [10.2135/cropsci2006.06.0374](https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374).
- YANG, R. C.; CROSSA, J.; BURGUEÑO, J. Reply. **Crop Science**, v. 50, n. 4, p. 1123, July/Aug. 2010. **Letter to the Editor**. DOI: [10.2135/cropsci2010.1123](https://doi.org/10.2135/cropsci2010.1123).
- YANG, R. C.; CROSSA, J.; CORNELIUS, P. L.; BURGUEÑO, J. Biplot analysis of genotype x environment interaction: proceed with caution. **Crop Science**, v. 49, n. 5, p. 1564-1576, Sept. 2009. DOI: [10.2135/cropsci2008.11.0665](https://doi.org/10.2135/cropsci2008.11.0665).
- YATES, R. A. The environment for sugarcane. In: FAO. **Land evaluation standards for rainfed agriculture: report of an expert consultation held in Rome, 25-28 October, 1977**. Rome, 1978. p. 58-72. (World soil resources report, 49).