

Sistemas 23 **de Produção**

ISSN 1676-7683
Novembro, 2016

Sistema de Produção da Cana-de-açúcar para o Rio Grande do Sul



ISSN 1676-7683
Novembro, 2016

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Clima Temperado
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Sistemas de Produção 23

Sistema de Produção da Cana-de-açúcar para o Rio Grande do Sul

Sérgio Delmar dos Anjos e Silva
Cândida Raquel Scherrer Montero
Renato Cougo dos Santos
Dori Edson Nava
Cesar Bauer Gomes
Ivan Rodrigues de Almeida
Editores Técnicos

Embrapa Clima Temperado
Pelotas, RS
2016

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Clima Temperado

Endereço: BR 392, Km 78

Caixa Postal 403, CEP 96010-971 - Pelotas/RS

Fone: (53) 3275-8100

www.embrapa.br/clima-temperado

www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da Embrapa Clima Temperado

Presidente: *Ana Cristina Richter Krolow*

Vice-Presidente: *Enio Egon Sosinski Junior*

Secretária: *Bárbara Chevallier Cosenza*

Membros: *Ana Luiza Barragana Viegas, Fernando Jackson, Marilaine Schaun Pelufê, Sonia Desimon*

Revisão de texto: *Eduardo Freitas de Souza e Bárbara C. Cosenza*

Normalização bibliográfica: *Marilaine Schaun Pelufê*

Editoração eletrônica: *Nathália Coelho (estagiária)*

Foto de capa: *Paulo Lanzetta*

1ª edição

2ª impressão (2017): 150 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Clima Temperado

S623 Sistema de produção de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul / editores técnicos Sérgio Delmar dos Anjos e Silva, Cândida Raquel Scherrer Montero, Renato Cougo dos Santos, Dori Edson Nava, Cesar Bauer Gomes, Ivan Rodrigues de Almeida. – Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 247 p. (Sistemas de Produção / Embrapa Clima Temperado, ISSN 1676-7683; 23).

1. Cana-de-açúcar. I. Silva, Sérgio Delmar dos Anjos e. II. Montero, Cândida Raquel Scherrer. III. Santos, Renato Cougo dos. IV. Nava, Dori Edson. V. Gomes, Cesar Bauer. VI. Almeida, Ivan Rodrigues de. VII. Série.

Autores

Adilson Härter

Engenheiro-agrônomo, mestrando em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, UFPel, Pelotas, RS.

Alberi Noronha

Engenheiro-agrônomo, analista da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Alencar Paulo Rugeri

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, extensionista Rural da Ascar - Emater/RS, Porto Alegre, RS.

Alexssandra Soares de Campos

Tecnóloga em Geoprocessamento, mestranda em Ciências, UFPel, Pelotas, RS.

Andréa Chaves Fiuza Porto

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitopatologia, professora da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

Andrea D. Hildebrandt Noronha

Engenheira-agrônoma, mestre em Desenvolvimento, Gestão e Cidadania, analista da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Bernardo Ueno

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Cândida R. Scherrer Montero

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia, analista da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Carlos Alberto Flores

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Carlos Augusto Posser Silveira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Cesar Bauer Gomes

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Cláudia Fernanda Lemons e Silva

Engenheira-agrônoma, doutora em Fitotecnia, professora da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS.

Cristiano Bellé

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, doutorando em Fitossanidade, UFPel, Pelotas, RS.

Dori Edson Nava

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Edelclaiton Daros

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, professor da UFPR, Curitiba, PR.

Edenara De Marco

Engenheira sanitária e ambiental, mestre em Agronomia, Pelotas, RS.

Eliana Casco Sarmento

Pesquisadora associada ao Centro de Ecologia da UFRGS, Porto Alegre, RS.

Elis D. Timm Simon

Bióloga, mestre em Agronomia, doutoranda em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, UFPel, Pelotas, RS.

Eliseu Weber

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, professor/pesquisador da UFRGS, Porto Alegre, RS.

Esmael Rickes de Souza

Engenheiro-agrônomo, UFPel, Pelotas, RS.

Ester Schiavon Matoso

Engenheira-agrônoma, mestre em Agronomia, doutoranda em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, UFPel, Pelotas, RS.

Francis Radael Tatto

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, doutorando em Agronomia, UFPel, Pelotas, RS.

Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia,
professor da Ufal, Rio Largo, AL.

Heinrich Hasenack

Geógrafo, mestre em Ecologia, professor da
UFRGS, Porto Alegre, RS.

Heroldo Weber

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia,
engenheiro-agrônomo da UFPR e pesquisador do
Programa Nacional de Melhoramento da Cana-
de-açúcar, Curitiba, PR.

Ivan Rodrigues de Almeida

Geógrafo, doutor em Geografia, pesquisador da
Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Jailton Carneiro

Zootecnista, doutor em Ciência Animal,
pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de
Fora, MG.

Jerson Vanderlei Carus Guedes

Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia,
professor da UFSM, Santa Maria, RS.

João Carlos Bernaldo Filho

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agricultura,
professor da UFPR, Curitiba, PR.

José Luis Camargo Zambon

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia,
professor da UFPR, Curitiba, PR.

José Maria Filippini Alba

Químico, doutor em Geociências, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS.

Juliana Silva Lemões

Química, mestre em Química Tecnológica e Ambiental, doutoranda em Química, UFRGS, Porto Alegre, RS.

Lorena Pastorini Donini

Bióloga, doutora em Ciências, Pelotas, RS.

Lucas Silva Lemões

Engenheiro-agrônomo, mestrando em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, UFPel, Pelotas, RS.

Luis Cláudio Inácio da Silveira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da UFV, Viçosa, MG.

Luize Silva Mascarenhas

Graduanda em Biotecnologia, bolsista IC/CNPq, UFPel, Pelotas, RS.

Mariana Teixeira da Silva

Gestora ambiental, mestre em Agronomia, doutoranda em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, UFPel, Pelotas, RS.

Mário Álvaro Aloísio Veríssimo

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, doutorando em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, UFPel, Pelotas, RS.

Marcos A. Pavan

Doutor em Solos Pesquisador do Iapar, Londrina, PR.

Milena Moreira Peres

Engenheira-agrônoma, estudante de mestrado,
UFPel, Pelotas, RS.

Raul da Cunha Borges Filho

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitossanidade,
UFPel, Pelotas, RS.

Renato Cougo dos Santos

Engenheiro de alimentos, mestre em Engenharia
de Alimentos, extensionista rural da Ascar -
Emater/RS, Pelotas, RS.

Ricardo Augusto de Oliveira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia,
professor da UFPR, Curitiba, PR.

Rosane Martinazzo

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência
do Solo, pesquisadora da Embrapa Clima
Temperado, Pelotas, RS.

Sandro José Giacomini

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do
Solo, professor da UFSM, Santa Maria, RS.

Santiago Vianna Cuadra

Meteorologista, doutor em Meteorologia
Agrícola, pesquisador da Embrapa Clima
Temperado, Pelotas, RS.

Sérgio D. dos Anjos e Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia,
pesquisador da Embrapa Clima Temperado,
Pelotas, RS.

Veronica Massena Reis

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia,
pesquisadora da Embrapa Agrobiologia,
Seropédica, RJ.

Vinícius Soares Sturza

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia,
doutorando em Entomologia, UFPel, Pelotas, RS.

Wildon Panziera

Engenheiro agrônomo, mestre em Manejo e
Conservação do Solo e da Água, Pelotas, RS.

William R. Antunes

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia,
doutorando em Agronomia, UFPel, Pelotas, RS.

Apresentação

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), cultura de grande importância socioeconômica a nível nacional, no Rio Grande do Sul está tradicionalmente relacionada às atividades desenvolvidas em propriedades familiares. Entre as atividades de grande importância na socioeconomia gaúcha, a cana está associada a criação de gado, ao processamento artesanal de produtos como melado, açúcar mascavo, rapadura, cachaça e, em pequena escala, à produção de etanol.

Atendendo a demanda de produtores gaúchos, a Embrapa desenvolveu vários trabalhos de pesquisa com o objetivo de indicar este sistema de produção de cana-de-açúcar para as condições do Rio Grande do Sul, em parceria com várias instituições públicas e privadas, as quais formaram a Rede de Pesquisa em Cana-de-açúcar para o Sul do Brasil.

Esta publicação está organizada em 12 capítulos, abrange clima, solos, adubação e calagem, zoneamento edafoclimático, recomendação de cultivares, produção de mudas, manejo de pragas e doenças, bem como os diversos usos da cana-de-açúcar.

Espera-se que esta publicação contribua para o desenvolvimento sustentável da cana-de-açúcar para o Sul do Brasil, gerando melhorias tanto econômicas como na qualidade de vida dos agricultores. Boa leitura.

Clenio Nailto Pillon
Chefe-Geral
Embrapa Clima Temperado

Sumário

Introdução e importância econômica da cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul	17
Zoneamento edafoclimático	19
Zoneamento edáfico (solos)	19
Características edáficas importantes na definição da escolha da área para implantação do canavial	19
Áreas indicadas para produção de cana no RS	44
Zoneamento climático	49
Manejo da fertilidade do solo	58
Nutrição e adubação	58
Uso de fontes alternativas de nutrientes combinadas com fontes solúveis para a cultura da cana-de-açúcar	63
Bioecologia e manejo de pragas	75
Pragas da cultura	77

Nematoides fitoparasitas da cana-de-açúcar:	
ocorrência, danos e manejo	98
Doenças da cana-de-açúcar	104
Variedades de cana-de-açúcar recomendadas para o	
Rio Grande do Sul	113
Variedades de ciclo de maturação precoce	115
Variedades de ciclo de maturação médio-tardio	122
Produção de mudas	130
Produção de mudas a partir de minitoletes.....	132
Substratos.....	135
Micropropagação de cana-de-açúcar	143
Fixação biológica de nitrogênio	147
Enfoques tecnológicos na produção do açúcar mascavo,	
melado e rapadura em propriedades rurais de	
agricultores familiares	151
A presença dos açúcares na cana	151
A influência das condições de cultivo no processamento dos	
derivados da cana-de-açúcar	160
Variáveis no processamento que influenciam a qualidade final	
dos produtos derivados da cana-de-açúcar	168
Matéria-prima	168
Instalações	180

Dos equipamentos	188
Processamento	202
Alimentação animal	206
Etanol de segunda geração	215
Transferência de tecnologia	225
Referências	229

Introdução e Importância Econômica da Cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul

Sergio Delmar dos Anjos e Silva

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma espécie pertencente à família Poaceae, de grande importância socioeconômica, por ser uma cultura de pequenos, médios e grandes produtores, e por apresentar enorme capacidade de agregação de valor à produção. A partir da cana-de-açúcar uma grande quantidade de produtos podem ser gerados, sendo o álcool e o açúcar os mais importantes. Outros produtos que também merecem destaque são o melado, o açúcar mascavo, a rapadura e a aguardente. A vinhaça, subproduto da produção de álcool e rica em macro (N, P e K) e micronutrientes, também pode ser utilizada como fertilizante orgânico ou adicionada à ração de animais. O bagaço, resultante do esmagamento dos colmos, pode ser utilizado para alimentação de gado, fabricação de papel, cogeração de energia ou mesmo para produção de etanol de segunda geração.

A produção de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul, apesar de pequena em relação à produção nacional, tem importância por estar tradicionalmente associada às atividades desenvolvidas em

áreas de pequena propriedade, relacionadas à criação de gado e ao processamento artesanal de vários produtos. Conforme dados do IBGE de 2015, a produção de cana-de-açúcar contribui em aproximadamente R\$ 70 milhões e está entre as sete principais culturas de valor econômico depois dos grãos soja, arroz, milho e trigo.

Nesse sentido, os vários estudos com cana-de-açúcar realizados pela Rede de Pesquisa em Cana-de-açúcar para o Sul do Brasil, desde o ano de 2007, vêm contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias as quais são apresentadas nesta publicação, em que estão incluídos aspectos da cultura que vão desde o zoneamento até a agroindústria da cana.

Zoneamento Edafoclimático

Carlos Alberto Flores
José Maria Filippini Alba
Eliseu Weber
Heinrich Hasenack
Eliana Casco Sarmento
Ivan Rodrigues de Almeida
Santiago Vianna Cuadra

Zoneamento Edáfico (Solos)

Características edáficas importantes na definição da escolha da área para implantação do canavial

A cana-de-açúcar é uma gramínea semiperene, de sistema radicular fasciculado e muito dependente das condições físicas e químicas dos solos até a profundidade de 80-100 cm. Nos primeiros dois anos de cultivo, sua produtividade está mais relacionada às características químicas e físicas dos horizontes superficiais do solo e do manejo agrícola (calagem e adubações). Após o terceiro corte, as características dos horizontes subsuperficiais influenciam mais a produção e produtividade da cultura (maior exploração do solo – maior disponibilidade hídrica), a estabilidade da produção e a produtividade da cultura.

Portanto, a disponibilidade de água nos ambientes produtivos é um dos fatores que mais interferem no crescimento e desenvolvimento da cultura. Vasconcelos (2002) relata que em condições de déficit hídrico,

há redução do crescimento radicular. Nessa condição, a produtividade pode reduzir-se significativamente mesmo em solos com horizontes férteis abaixo da camada arável, se ocorrer forte limitação hídrica em estádios de desenvolvimento que requerem maior demanda da cultura por água.

Assim, três fatores são considerados na disponibilidade de água para a cana-de-açúcar: o solo, o clima e a planta. Portanto, a interação solo e clima em relação à disponibilidade hídrica para a cultura definem as diferenças de produtividade dos diferentes ambientes de produção. Ou seja, sendo a oferta hídrica pelo regime climático e/ou retenção de água no solo maior ou menor, respectivamente, será a produtividade da cultura. Quanto à planta, deve-se considerar seu ciclo vegetativo conjugado com a programação do plantio, ajustando-se os meses em que ocorrerá o período de maior demanda por água (fase de desenvolvimento vegetativo). A melhor estratégia é procurar fazer coincidir o mês de maior demanda hídrica com os períodos mais úmidos do ano, ou recorrer à irrigação suplementar, reservando-se os meses de déficit hídrico para a fase de maturação da cultura e a sua colheita.

Características intrínsecas e extrínsecas de cada classe de solo, tais como sequência de horizontes no perfil, tipo de horizontes superficial e subsuperficial, transição entre horizontes, profundidade efetiva, textura, estrutura, susceptibilidade à erosão, infiltração, permeabilidade, capacidade de armazenamento de água, drenagem e disponibilidade de nutrientes, devem ser levadas em conta juntamente com o relevo em que ocorrem e a presença de pedregosidade e/ou rochiosidade quando da avaliação do potencial desses para uso com a cultura da cana-de-açúcar. Essas características que lhes são próprias são herdadas em parte do material que lhes deu origem – “rocha-mãe” –, mas também do clima da região onde ocorre, condicionado pelo relevo com a interação com os organismos num determinado período de tempo.

Parâmetros edáficos

Devem ser abordados vários aspectos relacionados aos solos ocorrentes na região a ser avaliada. Para tanto, julga-se conveniente agrupá-los por semelhanças (classe de solos, tipos de horizontes, drenagem, textura, condutividade hidráulica, suscetibilidade à erosão, saturação por bases e relevo), além de outras características acessórias, como: caráter abrupto, plíntico, planossólico, gleico, fase pedregosa, etc. Características essas de grande relevância quando da interpretação dos solos para uso principalmente na agricultura. Uma vez agrupados, os solos são analisados em relação às principais exigências de cada uma das culturas propostas, cana-de-açúcar no caso, através do uso de um quadro-guia.

De maneira resumida, os solos mais adequados para o cultivo de cana-de-açúcar são aqueles de moderadamente a fortemente drenados, isto é, solos com textura média em que a água é removida rapidamente do solo ou ainda aqueles argilosos com permeabilidade lenta no solum (horizontes superiores não consolidados), que permanecem umedecidos durante algum tempo e podem apresentar-se mosqueados na parte inferior do horizonte B. O mosqueado é representado pela ocorrência de manchas escuras imitando “moscas”. A profundidade efetiva, que se refere ao conjunto de horizontes onde há circulação de água, deve ser superior a 50 cm, sendo que acima de 100 cm derivará em melhor produtividade. A ocorrência de sequência de horizontes A-B-C-(R), sendo A e B não consolidados, C com estrutura lembrando a rocha mãe ou presença de seixos (fragmentos de rocha superiores a 6 cm de diâmetro) e R a rocha de base (rocha compacta), que poderá ser ou não o material de procedência. A composição do solo pode variar de textura média a muito argilosa, mas neste último caso para argila 1:1, isto é argila de baixa atividade (pouca troca de cátions), também conhecida como argila caulinítica. Solos argilosos 2:1, de alta atividade, siltosos ou arenosos não são recomendados. O relevo deverá ser de plano a moderadamente

ondulado, o que significa variação de declividade de 0% a 13%, principalmente para agricultura mecanizada. Nunca acima de 45% por aspectos de proteção ambiental. A fertilidade poderá ser baixa, média ou alta, lembrando que, se for muito baixa como único parâmetro negativo, é possível a correção por via tecnológica, elevando a aptidão para “recomendável” depois da correção (classe identificada como PR rf). Finalmente, o percentual de pedras (seixos, blocos e calhaus) ou rochas (afloramentos) deverá ocupar menos de 3% da lavoura.

Maior detalhamento se apresenta no texto à continuação.

Sequência e mudança textural abrupta de horizontes

A mudança textural abrupta é um dos atributos diagnósticos dos solos de maior relevância do ponto de vista agrônomo, pois indica a presença de horizontes com comportamento físico contrastante, especialmente o relacionado à dinâmica da água e enraizamento das plantas (Figura 1).

Em geral, os solos com esse atributo apresentam horizonte A de textura arenosa ou franco-arenosa e elevada condutividade hidráulica, em decorrência da grande quantidade de macroporos. O contrário ocorre no horizonte B, que lhe segue. Neste, há predominância de microporos sobre os macroporos, em geral, associada a uma redução da porosidade total, determinando uma condutividade hidráulica acentuadamente menor do que a do horizonte suprajacente (A).



Fotos: Carlos A. Flores

Figura 1. Exemplo de Argissolo Vermelho espessarênico.

A drástica redução da condutividade hidráulica saturada que ocorre no topo do horizonte B determina e caracteriza esses solos. A textura mais arenosa do horizonte A determina uma rápida infiltração e percolação da água da chuva até que o horizonte B seja atingido, quando a velocidade do fluxo descendente da água é drasticamente reduzida. A redução da infiltração provoca acúmulo da água que se acumula na superfície do solo, favorecendo a formação de enxurradas. Em consequência temos dois processos: a perda de coesão entre as partículas do solo e o fluxo lateral entre a base do horizonte superficial e o topo do horizonte B, criando aí um ambiente mais redutor. Dependendo da profundidade em que esse fenômeno ocorre – excesso de umidade – poderá haver efeitos nocivos ao

desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA, 2005). As classes conforme a sequência de horizontes consideradas se apresentam na Tabela 1.

Tabela 1. Classes conforme a sequência de horizontes.

Classe	Sequência de horizontes	Característica do solo
Preferencial	A – B – C	Sem gradiente textural
Recomendável	A – B – C – R	Pequeno gradiente textural
Pouco recomendável	A – C – R	Grande gradiente textural
Não recomendável	A – R	Contato lítico

Fonte: Oliveira (2005).

Na Figura 2 se ilustram as condições mencionadas acima, as duas colunas à esquerda do leitor representam condição Não ou Pouco Recomendável. Observe-se a maior produtividade das colunas à direita do leitor, devido à maior capacidade de armazenamento de água e nutrientes.

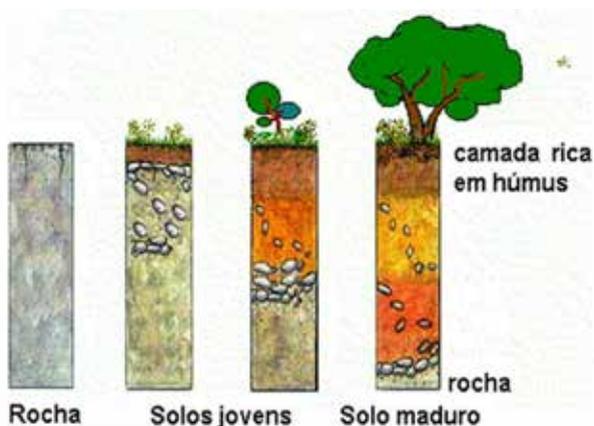


Figura 2. Sequências de horizontes: A-R, A-C-R, A-B-C-R e A-B-BC-C-R. Fonte: <https://marianaideiasforadacaixa.files.wordpress.com/2010/10/camadas-horizontes-do-solo.jpg>

Porosidade (permeabilidade)

O solo é constituído por partículas de vários tamanhos, desde muito pequenas, como as de argila (tamanho $<0,02\text{mm}$), até as de tamanho dessimétrico, como os cascalhos, e as muito grandes, como os matacões. O volume de espaços vazios existentes entre as partículas individuais e agregados constitui a porosidade do solo, e esta é que determina a capacidade de armazenar e transmitir líquidos e gases. O volume e o diâmetro dos poros, as formas e a tortuosidade desses são de grande importância, pois afetam diretamente o fluxo interno dos gases e da água, bem como o armazenamento dessa pelo solo.

Os dados de granulometria dos horizontes, juntamente com a cor (Figura 3), possibilitam inferir, respectivamente, a porosidade do solo e sua permeabilidade respectivamente. Poros grandes e médios são importantes, respectivamente, na aeração e infiltração de água e na condução dessa através do solo; os de tamanho pequeno são importantes no armazenamento da água (IBGE, 1990). Considerando o material de origem, uma rocha compacta como o granito apresenta pequena porosidade, inferior a 1,5%; já uma rocha sedimentar como o arenito possui porosidade acima de 10%, sendo ela superior a 15% para sedimentos não consolidados (LEINZ; LEONARDOS, 1977).



Figura 3. Exemplo de Latossolo Vermelho.

Como a capacidade do solo de armazenar e transmitir líquidos está diretamente relacionada com a geometria do sistema poroso, considera-se que, quanto maior o diâmetro dos poros, maior a permeabilidade interna. Portanto, solos de textura arenosa apresentam boa permeabilidade interna, e pequena capacidade de retenção de água, por apresentarem predominância de poros com tamanhos médios e grandes. Solos argilosos intemperizados, ricos em óxidos de ferro e alumínio (Latosolos em geral), apresentam porosidade total em torno de 65%, o que também lhes confere boa permeabilidade. Por outro lado, solos argilosos, com altos conteúdos de argilas 2:1 (esmectitas) e pouca matéria orgânica, como os Vertissolos, quando úmidos apresentam baixíssima permeabilidade, pois nesse há predominância de microporos, além de baixa porosidade total. Vale destacar ainda a falsa ideia de que quando esses solos estão secos apresentam alta condutividade hidráulica. Tal

fato deve-se ao grande número de fendas que se formam neles nessas condições, mas apenas nesse caso.

Como exemplo, Oliveira (2005) menciona que, entre os Argissolos, pode-se encontrar solos com seção arenosa pouco espessa (20-30 cm de horizonte A+E de textura arenosa), apresentando permeabilidade alta, seguida de horizonte B (textura argilosa) de pouca permeabilidade, até solos que apresentam a mesma permeabilidade nessas duas seções, mas cujo horizonte B situa-se a 150 centímetros ou mais de profundidade. Considerando as mesmas condições de clima e de relevo, o comportamento hídrico desses dois tipos de Argissolos será completamente diferente, apesar de ambos terem sido identificados como de permeabilidade rápida no horizonte superficial e lenta na subsuperficial. Essas observações, entre muitas outras, tais como léptico, litoplíntico, abrúptico, plânico, sódico, fragipânico, ressaltam a necessidade de um acurado conhecimento do comportamento do solo como um todo, e deixam evidente a necessidade de considerar-se não apenas a camada superficial quando se trata de estabelecer critérios de manejo baseado em seu comportamento hídrico. É importante ainda considerar, nessas interpretações, os fatores climáticos regionais, assim como o fato de que o fluxo de água interna do solo se inicia pela entrada de água na superfície dele (infiltração), a qual está diretamente relacionada com a porosidade que o solo apresenta na superfície. Exemplo de classes de permeabilidade na Tabela 2.

Tabela 2. Classes de permeabilidade do solo adaptadas do sistema Brasileiro.

Classe	Fluxo (cm.h-1)	Características do solo
Muito lenta	< 0,15	Solos argilosos, pouco porosos: Gleissolos, Vertissolos, Planossolos Nátricos.

Classe	Fluxo (cm.h-1)	Características do solo
Lenta	0,15 – 0,50	Solos argilosos. CTC elevada: Planossolos
Moderadamente lenta	0,50 – 1,5	Solos argilosos. CTC elevada e média: caracteres vértico, planossólico, abrupático.
Moderada a Moderadamente rápida	1,5 – 15,0	Solos argilosos porosos e de textura média.
Rápida	15,0 – 50,0	Solos de textura média e arenosa.
Muito rápida	> 50,0	Solos muito arenosos e/ou cascalhentos.

Fonte: Serviço de Conservação de Solos, U.S.

* A classe de drenagem de um solo é comandada pela permeabilidade de seu horizonte menos permeável.

Profundidade efetiva

A profundidade efetiva refere-se à profundidade máxima na qual as raízes penetram no solo em número razoável, sem impedimento de qualquer natureza, proporcionando às plantas suporte físico e meio para absorção de água e nutrientes, além de ar às mesmas. Nem sempre a profundidade efetiva se limita à profundidade do solum (A + B), podendo ultrapassá-lo (Figura 4), principalmente quando o material de origem dos solos é mais facilmente intemperizável e/ou muito fraturado (basalto, arenito, etc).



Figura 4. Exemplo de Cambissolo Háplico.

Os fatores que determinam a livre penetração das raízes no solo podem ser de ordem física ou química. Entre os físicos temos o contato lítico, o horizonte litoplântico e o duripã. Também o fragipã, a compactação de horizontes subsuperficiais, a presença de horizontes adensados ou de cascalheiras espessas podem restringir o desenvolvimento das raízes. Tanto o fragipã como os horizontes compactados ou adensados têm sua penetrabilidade ao sistema radicular associado à condição de umedecimento do perfil.

Entre as barreiras químicas, a presença do alumínio (Al^{3+}), manganês (Mn^{2+}) e deficiências nutricionais, especialmente de fósforo (P) e cálcio (Ca^{2+}), são muito citadas na bibliografia.

A Embrapa (SISTEMA, 1999) assinala, além do contato lítico, a presença de lençol freático permanente entre os critérios definidores de classes de profundidade do solo, a qual a rigor não constitui um impedimento físico ou químico, mas sim fisiológico.

No caso da profundidade efetiva, os Neossolos Litólicos (Figura 5), juntamente com os solos com caráter lítico, apresentam, portanto, sérias limitações para as plantas, especialmente as permanentes, devido ao pequeno volume do solo explorado por unidade de área.



Figura 5. Exemplo de Neossolo Litólico.

Quando as plantas não conseguem fazer penetrar seu sistema radicular em profundidade, tombam com facilidade pela falta de ancoragem. Mesmo em regiões relativamente úmidas, essa limitação pode se manifestar com relativa intensidade, porém sendo muito mais restritiva nas regiões secas. Muitos desses solos são classificados como eutróficos, mas a reserva de nutrientes por unidade de volume é baixa, além de serem muito susceptíveis à erosão. Os solos que apresentam o caráter léptico associado ao contato lítico apresentam

as mesmas limitações, embora com menor intensidade. As classes de profundidade efetiva utilizadas se apresentam na Tabela 3.

Tabela 3. Classes de profundidade efetiva do solo.

Classe	Profundidade (cm)
Muito profundo	> 200
Profundo	$100 \leq 200$
Pouco profundo	$> 50 \leq 100$
Raso	≤ 50

Fonte: SANTOS (2006).

Textura

A textura, uma das mais importantes características físicas do solo, foi considerada por relacionar-se diretamente com a infiltração e capacidade de retenção de água, permeabilidade do solo, capacidade de retenção e troca de cátions, arabilidade do solo e suscetibilidade à erosão. As classes de textura aqui consideradas correspondem aos grupamentos texturais constantes em SANTOS (2006), com modificações, e são: arenosa, média argilosa (1:1), muito argilosa (1:1), argilosa (2:1), siltosa e orgânica. A expressão orgânica foi atribuída aos solos que apresentam constituição predominantemente orgânica.

Relevo

Como mencionado, nas diretrizes do zoneamento, foi estabelecido que as áreas para expansão do cultivo de cana-de-açúcar deverão utilizar colheita mecânica. Atualmente, as colheitadeiras disponíveis no mercado são adaptadas apenas a terrenos com declividade máxima de 12%. Essa orientação implica a exclusão de terras de

maior declividade, independentemente de seu potencial produtivo relacionado a outras características de solos. No presente trabalho, optou-se pela declividade de 13%, em razão das fases de relevo em levantamentos mais detalhados de solos utilizarem essa como limite para relevo moderadamente ondulado.

Embora as cartas de solos informem o relevo das unidades taxonômicas, optou-se por utilizar um modelo de elevação do terreno para avaliar a sua declividade, como forma inclusive de melhorar a qualidade das informações pedológicas, ao excluir das unidades de mapeamento dos mapas pedológicos, as associações relacionadas ao relevo, em face de escala estratégica dos mapas utilizados.

Assim, os mapas de declividade foram gerados a partir da junção de DEMs em mosaicos de 5 x 5 graus da versão SRTM-3 (JARVIS et al., 2008). As imagens foram importadas para um programa específico, em que foram elaborados mapas de declividade em percentagem, sendo gerado um mapa contendo três classes de declividade abaixo de 13%: 0-3%, 3-8% e 8-13%. A partir dessa base foram gerados mapas para o Estado do Rio Grande do Sul.

Sua ação se reflete diretamente sobre o clima do solo e sobre a dinâmica da água, tanto a superficial como a que transita no interior do solo. A ação sobre o clima do solo se dá diretamente, através da incidência diferenciada da radiação solar, segundo a inclinação e a posição das vertentes (Figura 6), e do decréscimo da temperatura com o aumento da altitude, e indiretamente sobre os seres vivos, especialmente os tipos de vegetação natural, que são dependentes das condições climáticas locais.



Figura 6. Exemplo de relevo suave ondulado.

O relevo regula os movimentos da água ao longo da vertente, tanto na superfície como no interior do solo, agindo sobre seu regime hídrico e, conseqüentemente, sobre os fenômenos de percolação interna e ações correlatas – lixiviação de solutos, transporte de partículas coloidais em suspensão no meio líquido – e ainda naqueles fenômenos em que a presença da água é imprescindível – hidrólise, hidratação, dissolução.

Quanto mais íngreme for o terreno, menor a possibilidade de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, do fluxo interno dela, e maior a quantidade de água que escoar na superfície (enxurrada) e a energia cinética produzida, potencializando o processo erosivo. Solos situados em relevo íngreme geralmente são menos profundos e mais secos que aqueles situados em uma mesma situação climática, porém em declive menos acentuado.

A concavidade ou convexidade da vertente modifica o poder erosivo das enxurradas e influencia a direção do movimento da água no interior do solo. Em igualdade de condições climáticas e de cobertura vegetal, os solos nas posições côncavas, devido à convergência dos fluxos de água, são mais úmidos do que os das posições convexas.

Nas partes baixas de áreas com relevo mais suave, além da água de precipitação pluvial que incide sobre ela diretamente, há contribuição tanto da água proveniente das enxurradas das áreas mais altas, como da que se movimenta lateralmente e internamente no solo das vertentes contíguas a elas.

Na avaliação da maior ou menor facilidade de infiltração da água no solo de uma vertente, é necessário levar em conta, além da forma da vertente, seu comprimento, a rugosidade e a cobertura vegetal do terreno, além dos fatores intrínsecos do solo (Figura 7).

Buol et al. (1973) relacionam à influência do relevo os seguintes atributos do solo: 1) profundidade das camadas de solo; 2) espessura e conteúdo de matéria orgânica do horizonte superficial; 3) umidade relativa do perfil; 4) cor do perfil; 5) grau de diferenciação dos horizontes; 6) reação do solo; 7) conteúdo de sais solúveis; 8) espécie e grau de desenvolvimento de horizontes adensados ("pan"); 9) temperatura; 10) caráter do material inicial. Na Tabela 4 se apresentam as classes de relevo consideradas.



Figura 7. Exemplo de relevo forte ondulado.

Tabela 4. Adaptação das classes de relevo (%).

Plano	0 – 3
Suave ondulado	3 – 8
Moderadamente ondulado	8 – 13
Ondulado	13 – 20
Forte ondulado	20 – 45
Montanhoso	45 – 75
Escarpado	> 75

Fonte: SANTOS (2006).

Drenagem

O principal problema com relação à drenagem dos solos versus desenvolvimento e produção vegetal não é propriamente o excesso de água, mas sim a aeração inadequada, o que aumenta a resistência da difusão dos gases do solo para a atmosfera e vice-versa. O oxigênio necessário na respiração metabólica é rapidamente consumido

pelos microrganismos e plantas, inibindo o crescimento do sistema radicular. Isso acarreta a diminuição da absorção de água, podendo em casos extremos ocorrer o murchamento de plantas (WILLEY, 1970), em vista do aumento da resistência das raízes para extrair água do solo (KRAMER, 1969) e do aumento da resistência dos estômatos para transpirar água (SOJKA; STOLZY, 1980), o que por sua vez acarreta diminuição da fotossíntese. Quando a falta de oxigênio é muito acentuada, pode-se acumular compostos como etanol, etileno e metano, os quais são tóxicos quando presentes em teores elevados. O ferro e o manganês, uma vez reduzidos para as formas bivalentes, apresentam também toxicidade para as plantas. Esse somatório de fenômenos limita bastante o uso de solos com horizonte glei (Gleissolos) e/ou caracteres tais como: gleico, plíntico, abruptico, lítico, litoplíntico, sendo tanto mais limitantes quanto mais superficial for sua posição no perfil.

Desses, o horizonte glei definidor da classe dos Gleissolos (Figura 2.8) é formado em ambiente palustre. Nessa condição, o solo se mantém em condições de umidade excessiva por período suficientemente prolongado e sem renovação da água, de modo que a atividade microbiana possa reduzir significativamente a taxa de oxigênio livre nela dissolvido. Os nitratos e depois os compostos de manganês são os primeiros a serem reduzidos; porém, como eles geralmente não são abundantes, rapidamente esgotam seu papel de receptores de elétrons. O ferro (Fe), portanto, muito mais abundante, constitui a maior reserva de receptores de elétrons nas reações de oxirredução. Neste ambiente, o íon férrico (Fe^{3+}) passa a íon ferroso (Fe^{2+}), adquirindo grande mobilidade, sendo removido e causando, conseqüentemente, despigmentação do solo, o qual adquire cores acinzentadas, oliváceas ou azuladas.



Figura 8. Exemplo de Gleissolo Háplico.

A condição de redução não é necessariamente produzida apenas nas camadas saturadas pela presença do lençol freático. É necessário considerar a franja capilar, a qual é tanto mais elevada acima do lençol freático quanto mais argiloso é o solo.

A maior parte das propriedades morfométricas que são relacionadas com ambiente redutor (mosqueado e croma baixo) pode mudar com o tempo, devido à atividade biológica (homogeneização) e ao intemperismo. No entanto, essas mudanças são muito lentas e, em solos argilosos de regiões temperadas, a cor acinzentada permanece por vários séculos. Porém, em solos de textura grosseira, aquelas características morfométricas podem desaparecer em poucas décadas após drenagem, estabelecendo então uma melhor relação com as atuais condições de drenagem.

Por outro lado, é necessário assinalar que as cores acinzentadas, típicas de ambiente redutor, em certas condições, ainda que o solo

esteja saturado por longos períodos do ano, não se manifestam. Isso está relacionado a certas condições da paisagem em que há constante flutuação do lençol de água, permitindo um contínuo fornecimento de oxigênio (O_2) e, conseqüentemente, impedindo os fenômenos de oxirredução.

Esses fatos demonstram que apesar de a morfologia dos solos poder, em geral, ser usada para inferir sobre as condições de pedogênese (ambiente redutor versus ambiente oxidante) ou classes de drenagem, uma correlação consistente entre as feições morfológicas e o grau e a duração do umedecimento do solo não pode ser generalizada. Tais inferências são válidas quando feitas localmente, usando dados suplementares como observações sobre o conteúdo da água do solo e suas flutuações sazonais aliadas à avaliação da quantidade, intensidade e distribuição da precipitação pluviométrica, escoamento superficial e determinações de evapotranspiração.

As classes de drenagem referem-se à quantidade e rapidez com que a água recebida pelo solo escoar, afetando as condições hídricas do solo, isto é, duração do período em que permanece umido ou encharcado (Tabela 5).

Tabela 5. Classes de drenagem para levantamentos de solos relacionados ao zoneamento de culturas. Fonte: Santos (2006).

Classe de drenagem	Descrição
Excessivamente a fortemente drenado	A água é removida do solo rapidamente. Solos muito porosos, de textura média a arenosa e bem permeáveis.
Acentuadamente drenado	A água é removida rapidamente do solo. Solos de textura média ou argilosa, porém com atividades baixas (Tb), muito porosos e bem permeáveis.

Classe de drenagem	Descrição
Bem drenado	<p>A água é removida com facilidade do solo, porém não rapidamente. Os solos geralmente apresentam textura argilosa ou média, sem mosqueados ou, se presentes, localizam-se a mais de 150 cm de profundidade e também a mais de 30 cm do topo do horizonte B ou do horizonte C, se não existir B.</p>
Moderadamente drenado	<p>A água é removida um tanto lentamente do solo, de modo que o perfil permanece molhado por uma pequena porém significativa parte do tempo. Os solos geralmente apresentam camada de permeabilidade lenta no <i>solum</i> ou imediatamente abaixo dele. O lençol freático acha-se imediatamente abaixo do <i>solum</i> ou afetando a parte inferior do horizonte B por adição de água através de translocação lateral interna ou alguma combinação dessas condições. Algum mosqueado de redução na parte inferior do horizonte B ou no topo dele associado à diferença textural acentuada entre o horizonte A ou E e o horizonte B.</p>
Imperfeitamente drenado	<p>A água é removida lentamente do solo, de modo que esse permanece molhado por período significativo, mas não durante a maior parte do ano. Os solos apresentam geralmente camada de permeabilidade lenta no <i>solum</i>, lençol freático alto, adição de água através de translocação lateral interna ou alguma combinação dessas condições e algum mosqueado de redução no perfil, notando-se na parte baixa indícios de gleização.</p>
Mal drenado a muito mal drenado	<p>A água é removida do solo tão lentamente que o lençol freático permanece na superfície ou próximo dela durante a maior parte do ano. Os solos ocupam áreas planas ou depressões onde há, frequentemente, estagnação de água. Solos com gleização e comumente com horizonte hístico.</p>

Fonte: Santos (2006).

Fertilidade

A fertilidade natural do solo é uma variável bastante complexa, que está relacionada com fatores extrínsecos às propriedades físicas e químicas do solo e à existência de determinados elementos nutritivos, o que, em última análise, depende fundamentalmente do material que deu origem a determinado solo. Neste trabalho de zoneamento edáfico, foi empregado como parâmetro de fertilidade dos solos a saturação por bases (V%), a qual é variável para cada cultura analisada.

Ainda, no contexto deste livro, foi incorporada a classe “pouco recomendável (rf)”, que agrupa solos com aptidão recomendável para todas as variáveis, com a exceção da fertilidade, restrição edáfica por fertilidade (rf), pois trata-se de uma restrição fácil de ser corrigida devido ao potencial tecnológico da cultura. Assim, essa classe foi tratada separadamente, mas representa aptidão praticamente “recomendável”.

Pedregosidade e/ou rochiosidade

Refere-se à proporção de calhaus, matações e/ou exposição de rochas do embasamento, quer sejam afloramentos de rochas, lajes de rochas, camadas delgadas de solos sobre rochas e/ou predominância de “boulders” com mais de 100 cm de diâmetro, presentes na superfície e/ou massa do solo (Figura 9), que interferem diretamente na utilização de implementos e máquinas agrícolas, que são discriminados em classes (Tabela 6).



Figura 9. Exemplos de pedregosidade (*esquerda*) e rochosidade (*direita*) abundantes.

Tabela 6. Classes de pedregosidade ou rochosidade usadas na avaliação da aptidão edáfica do Eucalipto, na região do Corede Sul, RS.

Classes	Pedras ou rochas (g/Kg)	Tipo de restrição
Ausente	0 a 1	Sem restrições
Pouca	1 a 30	Ligeira a moderada
Moderada	30 a 150	Forte
Abundante	Maior que 150	Muito forte

Fonte: Flores; Filippini-Alba; Wrege (2009).

Avaliação da aptidão edáfica para a cultura da cana-de-açúcar

Nos levantamentos detalhados (escala > 1:50.000), as classes de solos componentes das unidades de mapeamento a serem avaliadas tenderão a fornecer mais subsídios à interpretação. Com isso, o enquadramento das unidades de mapeamento em uma determinada classe de aptidão edáfica apresentará maior discriminação e precisão; como exemplo: gleico, abrupático, plíntico, lítico, léptico, etc.

Entretanto, quando as informações estão contidas em mapas de solos com escala menor (escala < 1:50.000), as unidades de mapeamento apresentam composições mais heterogêneas, tornando-se necessário o agrupamento das unidades de mapeamento em categorias, definindo, em cada uma, classes distintas de utilização, como solos com horizonte B latossólico, relevo suave ondulado, tipo de argila, saturação por bases, etc.

Numa categoria superior, se definem classes em função das características de profundidade efetiva, fertilidade, drenagem interna, relevo, grupamento textural, e pedregosidade/rochiosidade dos solos, entre outras características analisadas. O procedimento utilizado para a avaliação da aptidão edáfica para a cana-de-açúcar considera a avaliação isolada de atributos como textura, profundidade, permeabilidade, etc. (Tabela 7). Tal metodologia não trata de atributos interpretados conjuntamente em termos de qualidade do ambiente (disponibilidade de nutrientes, água e oxigênio e susceptibilidade à erosão e impedimento à mecanização), mas das necessidades básicas da cultura. Neste caso, como o alvo é uma cultura específica, procurou-se, tentativamente, dentro de cada fator limitante, analisar e dar pesos diferentes a atributos do solo que a afeta.

Tabela 7. Critérios de avaliação da aptidão edáfica da cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul.

Parâmetros edáficos	Classes de aptidão edáfica			
	Preferencial	Recomendável	Pouco recomendável	Não recomendável
Drenagem	Fortemente, acentuadamente ou bem drenado	Moderadamente drenado	Imperfeitamente ou excessivamente drenado	Mal ou muito mal drenado
Profundidade efetiva	Muito profundo ou profundo	Pouco profundo	Raso	Muito raso

Parâmetros edáficos	Classes de aptidão edáfica			
	Preferencial	Recomendável	Pouco recomendável	Não recomendável
Grupamento textural	Média ou argilosa (1:1)	Muito argilosa (1:1)	Argilosa (2:1), arenosa ou siltosa	Orgânica
Relevo	Plano ou Suave	Moderadamente Ondulado	Ondulado ou Forte	Montanhoso ou escarpado
Fertilidade	Ondulado	Baixa	Muito baixa	Presença de sais
Pedregosidade/ Rochosidade	Alta e média	Moderada	Acentuada	Abundante
	Ausente ou pouca			

Fonte: Flores, Garrastazú; Filippini-Alba (2009).

Classes de aptidão edáfica para a cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul

As classes de aptidão edáfica expressam a adequação das terras para a cultura da cana-de-açúcar, em relação ao nível de manejo tecnificado e o grau de intensidade das limitações que afetam as terras. A variável com classe de aptidão mínima define a condição.

Preferencial: Terras sem limitações significativas para a produção sustentada da cultura, observando as condições de manejo considerado. Há um mínimo de restrições que não reduza a produtividade ou benefícios expressivamente, e não aumenta os insumos acima de um nível aceitável.

Recomendável: Terras que apresentam limitações moderadas para a produção sustentada da cultura, observando as condições do manejo considerado. As limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, elevando a necessidade de insumos de forma a aumentar

as vantagens globais a serem obtidas do uso. Leves desvantagens em relação à classe “preferencial”.

Pouco recomendável¹: Terras que apresentam limitações fortes para a produção sustentada da cultura da cana-de-açúcar, observando as condições do manejo considerado. Essas limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, ou então aumentam os insumos necessários de tal maneira que os custos só seriam justificados restritamente.

Não recomendável: Terras não adequadas para a produção sustentada da cana-de-açúcar, por existir pelo menos um parâmetro edáfico na classe “Não recomendável”. Isto é, solos mal ou muito mal drenados, profundidade efetiva muito rasa, textura orgânica, relevo montanhoso ou escarpado, presença de sais ou pedregosidade/rochosidade abundante.

Áreas indicadas para produção de cana no RS

O RS caracteriza-se por uma grande diversidade de tipos de solo, tendo em vista as mais variadas combinações dos fatores de formação que ali ocorrem. Sendo o solo um produto da interação dos seus fatores, ele pode ser considerado como o produto de uma combinação complexa de clima, material de origem, relevo, organismos e tempo de formação. Assim, toda vez que um ou mais fatores forem alterados, teremos solos diferentes. Portanto, em razão das características que cada indivíduo (solo) apresentar, deverá ser considerado um tratamento diferenciado (manejo) da maneira a

¹Transforma-se na classe “Pouco recomendável (rf)” quando a única limitação é a fertilidade (todos os restantes parâmetros edáficos pertencem à classe “Recomendável”).

expressar toda a potencialidade do solo sem comprometer o meio ambiente.

O zoneamento edáfico da cana-de-açúcar para o Estado do Rio Grande do Sul foi realizado considerando o levantamento de solos do Projeto RADAM Brasil (FILIPPINI-ALBA; FLORES, 2013), sendo estruturado em ambiente de sistema de informação geográfica na escala 1:250.000.

A composição de planos de informação necessários à geração do zoneamento pedológico foi executada com o auxílio de operações de análise espacial em SIG, sendo considerados classes de solos, profundidade efetiva, textura, fertilidade, drenagem, relevo e impedimento à mecanização.

O mapa do zoneamento edáfico foi elaborado através do cruzamento entre as características dos solos e as exigências da cultura da cana-de-açúcar quanto a solos, utilizando operações de análise espacial em ambiente de sistema de informação geográfica.

Cabe ressaltar que esse zoneamento destaca as potencialidades e restrições ambientais de grandes áreas, em um elevado nível de generalização. O caráter regional deste trabalho se deve à base de interpretação dos solos e às informações sobre uso da terra. Nesses estudos em geral agrupam-se três ou quatro classes de solos diferentes, delimitados por polígonos com área em geral superior a 0,5 km².

Portanto, para se conhecer mais detalhadamente as condições locais de solo, são necessários estudos adicionais, típicos das análises de viabilidade e projeto executivo para novos empreendimentos industriais. Para o caso dos solos, sugere-se uma observação direta para cada 20 hectares, através de um levantamento semidetalhado em escala 1:50.000 ou menor.

O mapa de distribuição das classes de aptidão edáfica sugere uma forte influência do relevo (Figura 10), em que áreas com altitude inferior a 100 m e acima de 900 m podem ser descartadas. Em parte, isso se deve ao limiar de 13% para avaliação da declividade, dando ênfase a uma agricultura empresarial (diferentemente da geralmente praticada na área). No entanto, existem outros fatores que afetam a aptidão edáfica para a cana-de-açúcar, como a capacidade de armazenamento de água (região Noroeste, Fronteira Oeste) ou a influência da drenagem ou salinidade (Litoral).

A pequena área com classe de aptidão edáfica “Preferencial” se concentra na zona Sul, quando todos os parâmetros do solo atingem condição máxima. No entanto, ocorrem extensas áreas nas classes “Recomendável” e “Pouco recomendável com restrição por fertilidade” ou “Pouco recomendável (rf)”, cobrindo uma área relativa de 46,3% para todo o estado e área absoluta acima de 13 milhões de hectares (Tabela 8). A última classe depende do grau de tecnificação da lavoura para se transformar em “Recomendável”. Porém, além da restrição por outras ocupações agrícolas, deve-se destacar a restrição climática, em função do regime de geadas que afeta principalmente o extremo sul e as áreas de maior altitude do estado.

Assim, existe um grande número de municípios com pelo menos 40% de área recomendável para o cultivo de cana-de-açúcar (Tabela 9), sendo que, em ocasiões, essa área aumenta, inclusive sendo complementada pela classe antes mencionada, “Pouco Recomendável (rf)” ou PR rf. O primeiro grupo, 40% a 60% R, deve ser considerado com extremo cuidado no momento de implantar uma área produtiva, principalmente na metade sul do estado, pois há grande alternância com áreas não recomendáveis.

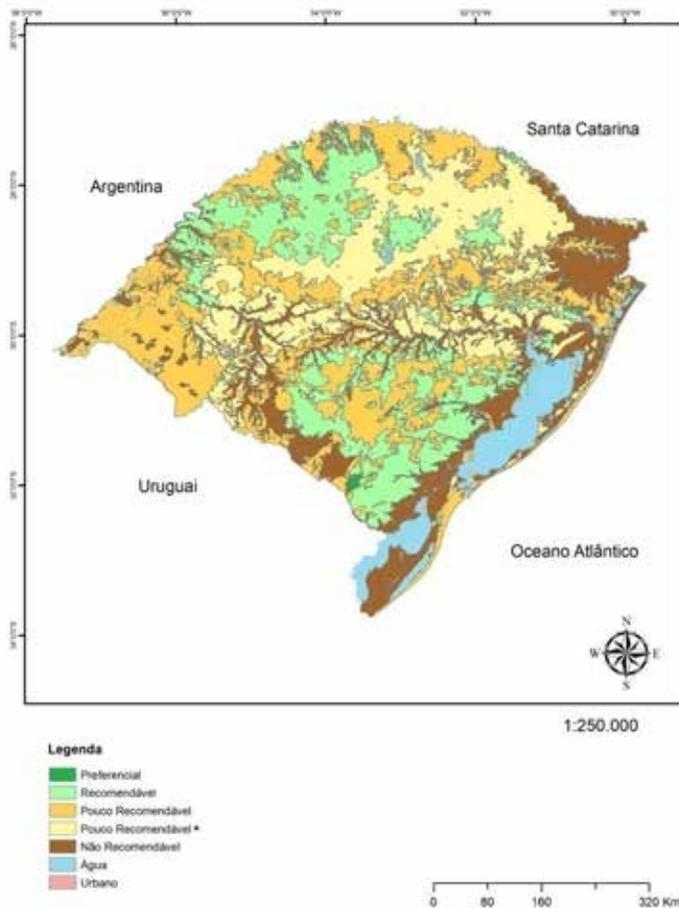


Figura 10. Mapa de aptidão edáfica de cana-de-açúcar para o Estado do Rio Grande do Sul. Fonte: IBGE/UFRGS/Embrapa

Tabela 8. Área das classes de aptidão edáfica para cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul.

Classe de aptidão edáfica	Área absoluta (ha)	Área relativa (%)
Preferencial	32.167	0,1
Recomendável	6.105.440	21,6
Pouco Recomendável	8.777.780	31,1
Pouco Recomendável (rf)	6.984.120	24,7
Não Recomendável	4.468.020	15,8
Água	1.784.640	6,3
Urbano	88.928	0,3
Total	28.241.096	99,9

Fonte: IBGE/UFRGS/Embrapa.

Tabela 9. Classificação dos municípios do Rio Grande do Sul conforme sua aptidão edáfica para o cultivo de cana-de-açúcar. Os municípios não mencionados têm pouca área recomendável para o cultivo (abaixo de 40%).

Condição	Municípios
40% a 60% R	Arroio do Padre, Barracão, Bagé, Bom Retiro do Sul, Bossoroca, Bozano, Caçapava do Sul, Cachoeira, Candiota, Canguçu, Cerrito, Catuipé, Condor, Coronel Bicaço, Cruzeiro do Sul, Dom Feliciano, Dom Pedrito, Encruzilhada do Sul, Fazenda Vilanova, Guaporé, Ibirubá, Independência, Jaguarão, Garruchos, Lavras do Sul, Machadinho, Marata, Panambi, Paverama, Pedras Altas, Pelotas, Pinheiro Machado, Piratini, Santa Rosa, Santana da Boa Vista, Santo Antônio das Missões, São Gabriel, São Borja, São Lourenço do Sul, São Nicolau, Sapiranga, São Sepé, Seberi, Tenente Portela, Três de Maio, União da Serra, Vila Nova do Sul.
90% a 100% PR rf	Alpestre, Casca, Cacequi, Capão Bonito do Sul, Capão do Cipó, Caseiros, Constantina, Coxilha, Gentil, Ibiaça, Ibirapuitã, Ipê, Ipiranga do Sul, Iraí, Júlio de Castilho, Lagoa Vermelha, Liberato Salzano, Marau, Muitos Capões, Rio dos Índios, Rio Pardo, Rodeio Bonito, Santa Cecília do Sul, São José das Missões, São Vicente do Sul, Soledade, Vicente Dutra

Condição	Municípios
80 % a 100% R ou 100% na soma de (R + PR rf)	Boa Vista do Cadeado, Bom Progresso, Chiapetta, Chувиска, Colorado, Coronel Barros, Cruz Alta, Dilermando de Aguiar, Dois Irmãos, Dois Irmãos das Missões, Entre Ijuis, Estrela, Eugênio de Castro, Fortaleza dos Valos, Giruá, Herval, Ibiraiaras, Ijuí, Itapuca, Mata Leitão, Morro Redondo, Nova Alvorada, Nova Araçá, Nova Bossano, Parai, Parobé, Pejuçara, Santa Bárbara do Sul, Santo Augusto, São Domingos do Sul, São Francisco de Assis, São Jorge, São Luiz Gonzaga, São Valério do Sul, Serafina Correa, Taquara, Tenente Portela, Teutônia, Tupanciretã, Varrini.

Zoneamento Climático

Exigências climáticas

A cana-de-açúcar é umas das plantas mais antigas cultivadas pela humanidade. Com diversos centros de origem, a região equatorial do sudeste da Ásia apresenta-se como a mais provável para surgimento da espécie *Saccharum officinarum* (L). A partir de sua difusão e adaptação pelo mundo, atualmente tem sua produção concentrada nas regiões tropicais e subtropicais, com destaque para países como Brasil, Índia, China e Tailândia. Em regiões subtropicais, a temperatura aparece como o principal elemento meteorológico que oferece restrições ao desenvolvimento econômico do cultivo da cana-de-açúcar. No entanto, em regiões produtoras de países como Uruguai, Argentina, África do Sul, Austrália e Estados Unidos são desenvolvidas estratégias que viabilizam a produção de etanol e açúcar em níveis competitivos.

É importante salientar que ao se considerar as exigências climáticas de uma cultura, as limitações ou condições preferenciais de desenvolvimento serão diferentes em cada fase de crescimento,

podendo haver uma grande escala de comparação sobre qualquer elemento meteorológico. Portanto, a análise do potencial de cada ambiente agrícola para introdução de uma espécie cultivada deve coincidir com as dimensões temporais compatíveis com as atividades agrícolas e com a fenologia das plantas, ou seja, as necessidades das plantas em cada fase de desenvolvimento devem ser atendidas com a melhor condição que o ambiente e seus recursos podem oferecer.

Temperatura

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) é o que apresenta maior amplitude térmica durante o ano quando comparado a outros estados do Brasil. Nos meses mais frios, julho e agosto, a temperatura média pode variar de 12 °C a 16 °C na maior parte de seu território (Figura 1), enquanto nos meses mais quentes, dezembro a fevereiro, a temperatura média se situa entre 22 °C e 26 °C, assemelhando-se às demais regiões do país.

Na brotação da cana-de-açúcar ocorre o estímulo ao crescimento das raízes primordiais e o crescimento e perfilhamento da gema que estão localizados nos nós dos colmos. Nesse processo, a velocidade da brotação pode ser favorecida (entre outros fatores como a maturidade dos colmos e características varietais) pela umidade do solo e por temperatura superior a 12 °C, sendo que a temperatura ideal para uma brotação uniforme e rápida (30 a 35 dias) deve variar entre 25 °C e 32 °C. Plantios realizados no outono e inverno apresentam um adiamento/prolongamento desse processo, mantendo as mudas em crescimento lento, porém o crescimento das raízes se mostra mais estável devido à menor variação da temperatura do solo do que a temperatura do ar. Desse modo, com um sistema radicular mais desenvolvido, a partir da primavera, as mudas de primeiro ano de plantio podem apresentar um desenvolvimento mais rápido. Essa é uma condição peculiar do RS, visto que nesse período os solos

mantêm um nível de umidade que não atinge deficiência hídrica e não desidrata as mudas, ao contrário de regiões onde o inverno é seco.

A temperatura do ar tem forte correlação com a velocidade do desenvolvimento vegetativo, sendo a faixa ideal para o perfilhamento e crescimento a compreendida por temperaturas entre 28 °C e 34 °C. Ocorrências de temperatura superior a 38 °C diminuem a taxa de crescimento devido à redução da taxa fotossintética e pelo aumento da respiração, enquanto temperatura inferior a 16 °C reduz o crescimento pela desaceleração do metabolismo. Porém, em fase final de pleno desenvolvimento quando diminui a emissão de novos perfilhos e o dossel promove um autossombreamento (aproximadamente após oito meses), há um efeito positivo na redução da temperatura para indução da maturação.

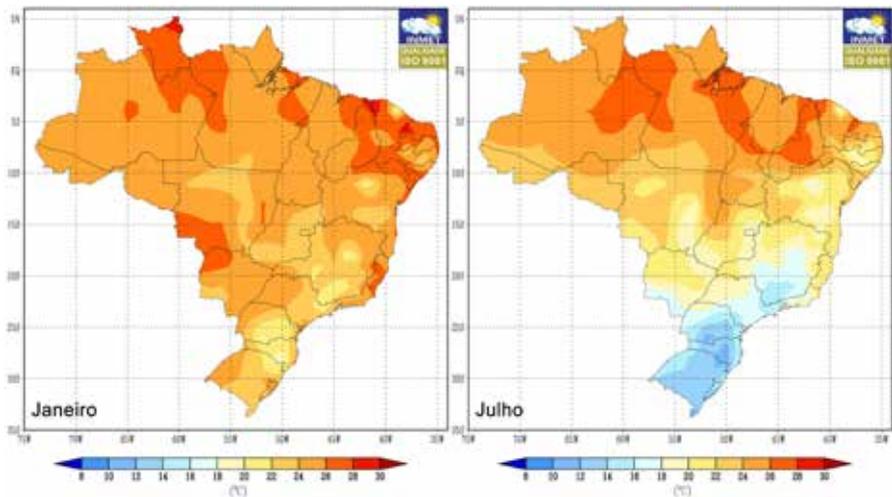


Figura 1. Temperatura média compensada (°C).

Fonte: INMET - Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990.

Enquanto na maioria das regiões produtoras, no Brasil e no mundo, o ciclo da cultura da cana-de-açúcar seja manejado para que a maturação ocorra aproveitando-se condições de deficiência hídrica (fator vantajoso para operações de colheita), no Rio Grande do Sul, na província de Artigas no Uruguai e no Estado da Flórida nos Estados Unidos, regiões onde não há um período característico de diminuição do número de dias com chuva e dos totais pluviométricos, a maturação é atingida pela redução da temperatura durante o outono e inverno (e possivelmente também pelo menor fotoperíodo).

Geadas

O fator mais negativo associado a baixas temperaturas para a cana-de-açúcar é a ocorrência de geadas. Esse fenômeno meteorológico e suas consequências são mais complexas do que apenas a determinação do valor de temperatura mínima para sua ocorrência ou para formação de gelo sobre partes das plantas causando injúrias e morte de tecidos, pois um conjunto combinado de variáveis são necessárias para que ocorram danos aos canaviais.

Entre essas variáveis a intensidade, a duração e a frequência das condições de frio são os fatores mais diretos que permitem quantificar níveis de perda por geadas. A intensidade dada pelo registro de temperatura, em geral abaixo de 3 °C até temperaturas negativas de -6 °C, combinada com a duração do tempo de exposição das plantas sob tal condição térmica, permite atribuir diversos graus de severidade às geadas. Conforme a frequência ou o número de vezes que ocorre e o nível de dano nos tecidos das plantas, provocado por queimadura pelo frio, as geadas podem ser classificadas desde suaves, quando as folhas sofrem queimaduras sem afetar o meristema apical e permite que a planta continue a emitir novas folhas, até muito severa, quando além das folhas, outros tecidos mais sensíveis como o meristema apical e as gemas laterais nos colmos também são atingidos.

Outras variáveis podem contribuir para o grau de severidade ser mais ou menos intenso dependendo do estágio de desenvolvimento. A localização dos talhões em áreas que não acumulem ar frio e o conhecimento do histórico da região quanto à ocorrência e à frequência de geadas, são estratégias de planejamento que permitem a convivência com fatores adversos. A adoção de cultivares precoces ou mais tolerantes ao frio é uma alternativa para locais de maior risco e frequência de ocorrência de geadas. As cultivares tardias, por serem menos sensíveis a baixas temperaturas, devem ser manejadas para que se tenha o ponto de colheita em pleno inverno e início de primavera.

Para um empreendimento agroindustrial e, de acordo com seu porte de processamento, essas considerações devem ser mais bem planejadas, visando, além do escalonamento de colheita dos talhões e maior período de utilização industrial, também à possibilidade de rápido ajuste de logística na colheita e transporte da cana em áreas mais atingidas pelas geadas para que se mantenha o rendimento. Essa medida ainda pode ser amenizada com o uso de cultivares que apresentam tolerância à deterioração, devido à lenta degradação da sacarose, dependendo do grau de impacto da geada e das condições climáticas posteriores à sua ocorrência.

O padrão habitual para ocorrência de geadas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil está associado às passagens de frentes frias que provocam chuvas no avanço da borda de deslocamento da frente fria e, posteriormente, ocorre a invasão da massa de ar polar que pode ter uma incursão mais pelo interior do continente (em geral, o frio é mais intenso) ou mais próxima à zona litorânea. Sob um mesmo evento atmosférico desse tipo, impactos diferentes podem ser produzidos dependendo das condições de aclimação sazonal de cada região. No Rio Grande do Sul, onde as estações climáticas do ano apresentam um padrão mais característico, o declínio da temperatura é gradual a partir de março e é pouco frequente a ocorrência de períodos

quentes durante o inverno, ou grande amplitude térmica diurna mais expressiva.

Na região Sudeste a característica do inverno é Tropical, representada por deficiência hídrica e temperatura amena, mas com amplitude térmica mais alta, especialmente nesses eventos, quando ocorre em sequência um aquecimento pré-frontal, eventualmente chuvas, resfriamento intenso e o retorno de temperatura amena ou novo aquecimento, enquanto no Sul há uma estabilidade maior entre as temperaturas máximas e mínimas absolutas. Por essas razões se verifica um impacto negativo maior de geadas sobre a cultura da cana-de-açúcar na região Sudeste do que no Rio Grande do Sul, mesmo que a temperatura apresente registros abaixo de zero, pois a aclimação gradual promovida na transição das estações confere um nível superior de tolerância para estresses por frio, pois também não ocorrem simultaneamente outros estresses por calor e deficiência hídrica.

Precipitação pluviométrica

Como uma cultura de ciclo semiperene, a cana-de-açúcar é colhida com sucessivos cortes anuais até que o rendimento industrial se mostre economicamente viável. Sob condição não irrigada a disponibilidade hídrica fica condicionada ao padrão e desvios da distribuição da precipitação pluviométrica da região de cultivo.

Em geral, é desejável que a oferta de água pelas chuvas seja distribuída em quantidade, de modo uniforme ao longo do tempo de desenvolvimento e crescimento da cana-de-açúcar conforme as exigências para cada fase: da brotação à emergência, do perfilhamento ao fechamento do dossel e entrelinhas, até o alongamento dos colmos e maturação. No entanto, em condição de sequeiro, essa é uma situação que não ocorre com frequência.

Cultivos de cana-de-açúcar podem requerer uma disponibilidade hídrica de 700 mm a 2.000 mm por safra. Na maior parte do Estado do Rio Grande do Sul essa demanda é atendida (Figura 2), pois na maior parte de seu território a precipitação pluviométrica se situa entre 1.100 mm a 2.000 mm. A evapotranspiração anual pode variar entre 700 mm a 1.000 mm, para regiões de temperaturas mais amenas, como na serra, e regiões mais quentes, como a Fronteira Oeste, respectivamente. Desse modo, em anos com ocorrência de desvios negativos da precipitação, especialmente entre os meses de dezembro a março, período que coincide com o máximo desenvolvimento da cana-de-açúcar, o crescimento da cultura pode ser prejudicado.

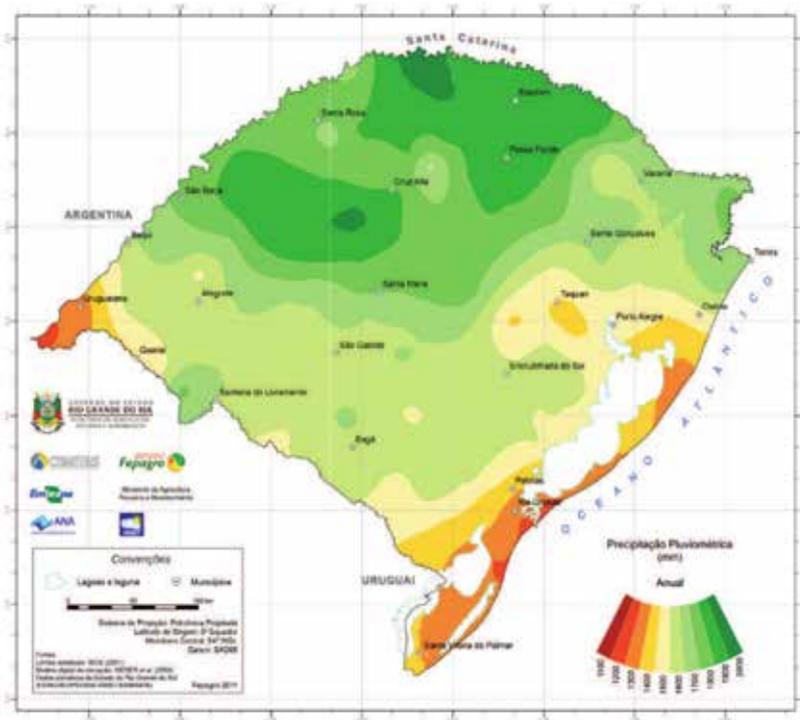


Figura 2. Precipitação pluviométrica anual no estado do Rio Grande do Sul.

Fonte: Atlas Climático: Rio Grande do Sul (CEMETRS)

Radiação solar e fotoperíodo

A radiação solar é a base para todo desenvolvimento da cana-de-açúcar por influenciar a atividade fotossintética e, conseqüentemente a acumulação de matéria seca, além dos efeitos que tem sobre a temperatura e a evapotranspiração. O Rio Grande do Sul, por ser o estado mais ao sul do País, é o que apresenta a maior disponibilidade de horas de brilho solar durante a primavera e verão (Figura 3b), ou seja, o fotoperíodo, que é uma condição astronômica da posição da Terra em relação ao sol e da latitude mais ao sul no hemisfério. Isso atribui ao estado uma posição vantajosa em relação a essas variáveis de ambiente.

Somada a essa condição, e neste mesmo período, a nebulosidade é um fator menos aparente sobre o estado, visto que está em menor grau sob a influência de outras dinâmicas da atmosfera que promovem um aumento da fração de cobertura de nuvens que ocorrem no Centro-Sul do Brasil durante a primavera e verão (Figura 3a).

Desse modo, mesmo que o fotoperíodo seja menor entre março a setembro, essa variável não tem efeito negativo, porque coincide com as fases em que ocorrem a intensificação da maturação e das operações de colheita, e a máxima disponibilidade de radiação que se concentra entre os meses de novembro a fevereiro, superior a outras regiões do País, é um diferencial bem aproveitado pela cultura, que é considerada uma das mais eficientes na conversão de radiação fotossinteticamente ativa em biomassa.

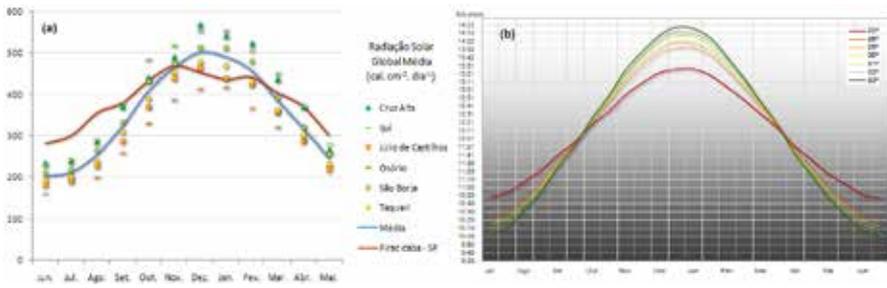


Figura 3. Distribuição da radiação global média ($\text{cal. cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) (a), e duração do fotoperíodo (horas e minutos) (b) sob latitudes que cobrem os estados de São Paulo e Rio Grande do Sul.

Manejo da Fertilidade do Solo

Sandro José Giacomini

Carlos Augusto Posser Silveira

Rosane Martinazzo

Alexssandra Soares de Campos

Esmael Rickes Souza

Milena Moreira Peres

Nutrição e Adubação

Calagem

Adicionar a quantidade de calcário indicada pelo índice SMP para o solo atingir pH 6,0 (Tabela 1).

Tabela 1. Quantidade de calcário (PRNT 100%), em toneladas por hectare, necessária para elevar o pH do solo da camada de 0-20 cm até o pH 6,0, referência para a cultura da cana-de-açúcar, de acordo com o índice SMP.

Índice SMP	pH de referência para a cana-de-açúcar: pH 6,0
<4,4	21,00
4,5	17,3
4,6	15,1
4,7	13,3
4,8	11,9
4,9	10,7
5,0	9,9

Índice SMP	pH de referência para a cana-de-açúcar: pH 6,0
5,1	9,1
5,2	8,3
5,3	7,5
5,4	6,8
5,5	6,1
5,6	5,4
5,7	4,8
5,8	4,2
5,9	3,7
6,0	3,2
6,1	2,7
6,2	2,1
6,3	1,8
6,4	1,4
6,5	1,1
6,6	0,8
6,7	0,5
6,8	0,3
6,9	0,2
7,0	0,0

Fonte: Adaptado de CQFS-RS/SC, 2016. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul - Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

Adubação em cana-planta

Nitrogênio

Aplicar de 10 kg a 20 kg de N/ha no plantio no fundo do sulco e o restante em cobertura, conforme Tabela 2, antes do fechamento do canavial (aproximadamente entre 90 e 100 dias após o plantio).

Tabela 2. Recomendação de nitrogênio, para a cana-planta, em kg ha⁻¹, aplicado em cobertura, em função do teor de matéria orgânica do solo.

Teor de matéria orgânica no solo	Nitrogênio
%	kg de N/ha
≤ 2,5	60
2,5-5,0	50
≥ 5,0	40

A cana-planta apresenta normalmente baixas respostas à adubação nitrogenada. Entre os fatores que contribuem para isso está à ocorrência da fixação biológica de N na cultura em função da associação da planta com bactérias endofíticas fixadoras de N. No mercado já existe inoculante para a cana que pode ser aplicado nos toletes no momento do plantio. A resposta da cultura a inoculação é dependente da variedade e pode variar em função do ambiente.

Fósforo e potássio

Aplicar o fósforo e o potássio juntamente com o N no plantio, no fundo do sulco. Em solos arenosos, recomenda-se fracionar a adubação potássica, tanto na cana-planta como na cana-soca, aplicando-se 2/3 por ocasião do plantio ou após o corte e o restante em cobertura, juntamente com o nitrogênio.

Tabela 3. Recomendações de fósforo (P) e de potássio (K), em kg ha⁻¹, para a cana-planta, aplicados no plantio, em função do teor de P e K no solo e da expectativa de produtividade do canavial.

Interpretação do teor de P ou de K no solo	Cana-planta					
	Fósforo			Potássio		
	Produtividade					
	< 90	90 a 120	> 120	< 90	90 a 120	> 120
MB	90	100	120	90	110	130
B	70	80	100	70	80	100
M	50	60	80	50	60	70
A	30	40	60	30	40	50
MA	≤30	≤40	≤60	≤30	≤40	≤50

Utilização da vinhaça

Esse resíduo da destilação deve ser aplicado no solo, em quantidades entre 50 m³ ha e 200 m³ ha; a quantidade de potássio adicionado pela mesma deve ser subtraída das quantidades indicadas na tabela de adubação.

Adubação de cana-soca

Incorporar o fertilizante contendo nitrogênio, fósforo e potássio próximo da linha da cana (20 cm) antes do fechamento do canavial. A colheita sem queima deixa grande quantidade de palha na superfície do solo, dificultando a incorporação dos fertilizantes. Nessa condição o fertilizante normalmente é aplicado sobre a palha ou sobre o solo quando a palha é enleirada. No entanto, caso o fertilizante nitrogenado não seja incorporado, perdas de N por volatilização de amônia são esperadas quando a ureia for utilizada como fonte de N.

Nitrogênio

Tabela 4. Recomendação de nitrogênio, para a cana-soca, em kg ha⁻¹, aplicado em cobertura, em função do teor de matéria orgânica do solo e da expectativa de produtividade do canavial.

Teor de matéria orgânica no solo	Nitrogênio		
	Rendimento		
	< 60	60 - 90	> 90
%	kg de N/ha		
≤ 2,5	60	80	100
2,5 - 5,0	50	70	90
≥ 5,0	40	60	80

Fósforo e potássio

Tabela 5. Recomendações de fósforo (P) e de potássio (K), em kg ha⁻¹, para a cana-soca, aplicados no plantio, em função do teor de P e K no solo e da expectativa de produtividade do canavial.

Interpretação do teor de P ou de K no solo	Cana-soca					
	Fósforo			Potássio		
	Produtividade					
	< 60	60 a 90	> 90	< 60	60 a 90	> 90
MB	30	40	50	80	100	120
B	30	30	40	50	70	90
M	30	30	30	30	50	60
A	30	30	30	≤ 30	30	30
MA	0	0	0	0	≤ 30	≤ 30

Observação: as indicações apresentadas destinam-se a cultivos para processamento industrial, com emprego de alta tecnologia e visando obter altos rendimentos de colmos. As informações regionais de pesquisa são ainda limitadas, podendo ser diminuídas as quantidades de adubo para tetos mais baixos de rendimento.

Uso de fontes alternativas de nutrientes combinadas com fontes solúveis para a cultura da cana-de-açúcar

Resumo de três experimentos

I – FAZENDA MONTE CRISTO/COOPCANA – PARAÍSO DO NORTE-PR
Em parceria com o IAPAR/Petrobras-SIX

II – FAZENDA NOVA PRODUTIVA – ASTORGA-PR
Em parceria com o IAPAR/Petrobras-SIX

III – EMBRAPA CLIMA TEMPERADO – PELOTAS-RS
Em parceria com Petrobras-SIX

Responsáveis

Carlos A.P. Silveira – Embrapa Clima Temperado
Marcos A. Pavan - IAPAR

Experimento I

O experimento foi realizado na Fazenda Monte Cristo da COOPCANA (Paraíso do Norte-PR). A área experimental foi cultivada com cana-de-açúcar durante cinco anos após incorporação de *Crotalaria juncea*. O solo foi classificado como um Neossolo Quartzarênico. A análise de solo indicou os seguintes parâmetros: pH 5,3; MO 1,2%; V 44,4%; Ca 1,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg 0,97 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; P 4,75 mg dm^{-3} ; K 28,3 mg dm^{-3} . Em abril de 2007 foram abertos os sulcos de plantio e aplicados os fertilizantes. Utilizou-se a variedade de cana-de-açúcar SP 832847, colocando-se em média 15 toletes por sulco de 11 m. As mudas de cana-de-açúcar foram distribuídas com palha e cortadas dentro do sulco. Foram realizadas quatro colheitas de cana, sendo uma de

cana planta (2008) e cinco socas (2009, 2010 e 2011). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições e dez tratamentos (Tabela 6). Cada parcela experimental foi composta por cinco linhas de cana-de-açúcar (sulcos), sendo as três linhas centrais úteis. Cada linha apresentava 11 m de comprimento, sendo 9 m úteis e 1 m de cada extremidade como bordaduras.

Tabela 6. Descrição dos tratamentos.

Tratamentos	Subprodutos de xisto (kg ha ⁻¹)		Fontes e doses das fontes de N, P e K (kg ha ⁻¹)						
	FX	XR	N - Uréia		Fontes de P		Fonte de K	Enxofre elemental	Torta de filtro
			Planta	Soca	SFT	Fosfato Arad	KCl		
T1	0	0	20 + 80	80	85	0	67	0	0
T2	250	250	20 + 80	80	85	0	67	15	0
T3	250	250	20 + 80	80	85	0	67	0	10.000
T4	0	0	20 + 80	80	85	0	67	15	10.000
T5	250	250	20 + 80	80	0	85	67	0	0
T6	0	0	20 + 80	80	0	85	67	15	0
T7	0	0	20 + 80	80	0	85	67	15	10.000
T8	250	250	20 + 80	80	0	85	67	15	10.000
T9	0	0	20 + 80	80	125	0	100	0	0
T10	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FX - Finos de xisto: 2,14% de K₂O, 3,57% de CaO, 2,11% de MgO, 3,68% de S; XR - Xisto retornado: 2,47% de K₂O, 2,88% de CaO, 1,79% de MgO, 3,51% de S; Torta de filtro: não analisada

Experimento II

O experimento foi realizado na Fazenda Nova Produtiva (Astorga-PR), sendo iniciado em 2008 com aplicações dos tratamentos no sulco de plantio da cana-de-açúcar. O solo foi classificado como um Nitossolo Vermelho. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 4 repetições e 11 tratamentos (Tabela 7). Utilizou-se a variedade de cana-de-açúcar SP 832847. Cada parcela foi composta por cinco linhas de plantio da cana com 14 m de comprimento. Foram avaliadas as três linhas centrais de 10 m cada. Foram realizadas três colheitas de cana, sendo uma de cana planta (2009) e duas socas (2010 e 2011). O composto orgânico utilizado no experimento foi produzido na indústria canavieira Nova Produtiva e apresentou teor de N de 3,0 %.

Tabela 7. Descrição dos tratamentos.

Tratamentos	Subprodutos de xisto (kg ha ⁻¹)		Fontes e doses das fontes de N, P e K (kg ha ⁻¹)						
	CX	FX	N		Fórmula 20-05-20 (Cana planta)	Fonte de P		Fonte de K	Composto orgânico
			Planta	Soca (Uréia)		Fosforita Alvorada	Migmatito		
T1	0	0	100	80	500	0	0	0	
T2	0	0	50	80	250	0	0	0	
T3	500	500	100	80	500	0	0	0	
T4	500	500	50	80	250	0	0	0	
T5	0	0	100	80	500	0	0	5.000	
T6	0	0	50	80	250	0	0	5.000	
T7	500	500	100	80	500	0	0	5.000	
T8	500	500	50	80	250	0	0	5.000	
T9	500	500	100	80	0	0	0	5.000	
T10	500	500	100	80	0	83	3.000	5.000	
T11	0	0	0	0	0	0	0	0	

CX - Calcário de xisto: 1,76% de K₂O, 7,28% de CaO, 5,35% de MgO, 2,75% de S; FX - Finos de xisto: 2,14% de K₂O, 3,57% de CaO, 2,11% de MgO, 3,68% de S; Migmatito: 3,67% de K₂O, 3,35% de CaO, 2,35% de MgO; Composto orgânico: 1,1% de N

Experimento III

A atividade foi implantada em 2010 em área de produtor rural, localizada no município de Pelotas-RS. O solo do local do experimento é classificado como um Argissolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 1999). A área, antes da implantação dos experimentos, encontrava-se em pousio, sob pastejo de bovinos e ovinos. Os atributos químicos para a camada de 0-20 cm, antes da implantação do experimento, estão listados na Tabela 8 e os tratamentos estão descritos na Tabela 9.

Tabela 8. Teores médios de alguns atributos químicos do solo. Pelotas-RS, 2014.

pH 5,7	MO	Argila	<i>m</i>	P		K		CTC _{pH}
	%	%	%	mg dm ⁻³	Interpret.	mg dm ⁻³	Interpret.	7,0
	1,9	17,9	0,4	3,48	Muito baixo (<7,0)	57,6	Médio (41,0-60,0)	8,6

Tabela 9. Descrição dos tratamentos. Pelotas-RS, 2014.

Tratamentos	Subprodutos de xisto (kg ha ⁻¹)	Variedade	Fontes e doses das fontes de N, P e K (kg ha ⁻¹)			
			Fontes de N		Fonte de P	Fonte de K
			TT + Uréia	TT	Fosforita Alvorada	Granodiorito
MBR11 S 3.0		Planta	Soca			
T1	0	RB 956911	1.200 + 133	2.400	625	1.875
T2	1.000	RB 956911	1.200 + 133	2.400	625	1.875
T3	0	SP 813250	1.200 + 133	2.400	625	1.875
T4	1.000	SP 813251	1.200 + 133	2.400	625	1.875

TT - Torta de tungue: 5,0% de N, 3,5% de P₂O₅, 3,0% de K₂O; Fosforita Alvorada: 24% de P₂O₅, sendo 3% solúvel em água; Granodiorito: 4,33% de K₂O, 2,42% de CaO, 0,99% de MgO; MBR11 S3.0: 13,7% de CaO, 11,0% de MgO, 3,0% de S

A adubação da cana-planta foi realizada no sulco de plantio sendo o fósforo (150 kg ha⁻¹), na forma de Fosforita Alvorada, o potássio (80 kg ha⁻¹) na forma do agromineral Granodiorito e metade da dose de N (60 kg ha⁻¹) na forma de torta de tungue. A outra metade do nitrogênio (60 kg ha⁻¹) foi aplicada em cobertura, na forma de ureia, sendo esta a única fonte solúvel e a única vez em que foi utilizada durante os quatro anos.

Como fator de tratamento, além da variedade, optou-se por utilizar uma matriz fertilizante composta de calcário sedimentar e folhelho betuminoso (MBR11 S3.0), ambos oriundos da Formação Irati, especificamente da Petrobras-SIX, São Mateus do Sul-PR. A constituição química dessa matriz possibilita fornecer os nutrientes Ca, Mg e S para a cultura da cana-de-açúcar.

Todas as aplicações foram realizadas manualmente, sendo distribuídas no sulco de semeadura por ocasião da implantação do experimento em 2010. Posteriormente, nas canas socas (safra 2011, 2012 e 2013), realizou-se a reaplicação apenas da torta de tungue em cobertura, ao lado de cada linha, sem incorporação. A dose de torta de tungue foi para fornecer 120 kg ha⁻¹ de N.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcela subdividida, sendo o fator variedade alocado na parcela, e o fator

MBR11 S3.0 alocado na subparcela. A parcela apresentava dimensões de 5,6 m x 5,0 m, comportando quatro linhas espaçadas de 1,4 m entre si e com 5,0 m de comprimento, sendo a área útil as duas linhas centrais com 5,0 m de comprimento. Em função da grande variabilidade de estande observada no experimento, considerou-se cada linha uma repetição como forma de controle local; assim, o número de repetições foi igual a 32. A análise estatística foi realizada utilizando-se o programa WINSTAT, sendo que, quando houve significância pelo Teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para os fatores qualitativos variedade e MBR 11 S3.0.

Avaliações para os três experimentos

Avaliou-se a produtividade de colmo de cana-de-açúcar, a qual foi determinada em função da pesagem total dos colmos da área útil da parcela. Os dados apresentados referem-se à produtividade média de colmos de todas as safras para os experimentos I e II e para o experimento III, separado para cana planta e cana soca.

Resultados

EXPERIMENTO I

Os resultados de produção média em função dos tratamentos estão apresentados na Tabela 9. A produtividade média do experimento foi de 136,5TCH, considerada muito boa. Porém, mesmo com produtividades elevadas, foi possível distinguir tratamentos que apresentaram produtividades maiores do que a testemunha padrão (T9 – Adubação solúvel). Esses tratamentos consistiram de fontes alternativas de nutrientes: o T8 proporcionou 36,0TCH e foi constituído de fosfato natural, torta de filtro, enxofre elementar e FX+XR. Já o T2

proporcionou 28,0TCH a mais do que o T9 e era constituído de enxofre elementar, FX e XR.

EXPERIMENTO II

Os resultados de produção média em função dos tratamentos estão apresentados na Tabela 11. A produtividade média do experimento foi de 125,2TCH, considerada muito boa. Todos os tratamentos apresentaram produtividades maiores do que a testemunha absoluta (T11), variando de 29 a 55TCH. Em relação à adubação padrão (T1 – Adubação solúvel, dose cheia – 500 kg ha⁻¹ de 20-05-20) o tratamento T7 proporcionou aumento de 15,0TCH e foi constituído composto orgânico, CX e FX, indicando sinergismo com a adubação convencional.

Tabela 10. Resultado de produção média de cana-de-açúcar em quatro safras, em Paraíso do Norte-PR.

Tratamentos	Subprodutos de xisto (kg ha ⁻¹)		Fontes e doses das fontes de N, P e K (kg ha ⁻¹)							TCH (ton ha ⁻¹)	Diferença em TCH (ton ha ⁻¹) para T10	Diferença em TCH (ton ha ⁻¹) para T9	
	FX	XR	N - Líquida		Fontes de P		Fonte de K		Enxofre elementar				Torta de Feno
			Planta	Soca	SFF	Fosfato Ácido	KCl						
T1	0	0	20 + 80	80	80	0	67	0	0	111,0	8,0	-27,0	
T2	250	250	20 + 80	80	80	0	67	15	0	156,0	42,0	25,0	
T3	250	250	20 + 80	80	80	0	67	0	10.000	133,0	30,0	-6,0	
T4	0	0	20 + 80	80	80	0	67	15	10.000	137,0	34,0	-1,0	
T5	250	250	20 + 80	80	0	85	67	0	0	131,0	38,0	-7,0	
T6	0	0	20 + 80	80	0	85	67	15	0	135,0	32,0	-3,0	
T7	0	0	20 + 80	80	0	85	67	15	10.000	137,0	34,0	-1,0	
T8	250	250	20 + 80	80	0	85	67	15	10.000	174,0	71,0	36,0	
T9	0	0	20 + 80	80	120	0	90	0	0	130,0	36,0	8,0	
T10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	133,0	8,0	-38,0	
Média										125,2			

Tabela 11. Resultado de produção média de cana-de-açúcar em quatro safras, em Astorga-PR.

Tratamentos	Subprodutos de xisto (kg ha ⁻¹)		Fontes e doses das fontes de N, P e K (g ha ⁻¹)						TCH (ton ha ⁻¹)	Diferença em TCH (ton ha ⁻¹) para T10	Diferença em TCH (ton ha ⁻¹) para T1
	CX	FX	N		Fórmula 20-60-60 (cana planta)	Fonte de P Fosforita Alvorca	Fonte de K Mígmatto	composto orgânico			
			Planta	Soca (Ureia)							
T1	0	0	100	30	500	0	0	0	130,0	40,0	0,0
T2	0	0	50	30	250	0	0	0	119,0	29,0	-11,0
T3	500	500	100	30	500	0	0	0	134,0	44,0	-6,0
T4	500	500	50	30	250	0	0	0	125,0	35,0	-8,0
T5	0	0	100	30	500	0	0	5.000	132,0	42,0	3,0
T6	0	0	50	30	250	0	0	5.000	120,0	30,0	-10,0
T7	500	500	100	30	500	0	0	5.000	145,0	55,0	18,2
T8	500	500	50	30	250	0	0	5.000	130,0	40,0	0,0
T9	500	500	100	30	0	0	0	5.000	125,0	35,0	-8,0
T10	500	500	100	30	0	83	3.000	6.000	132,0	42,0	3,0
T11	0	0	0	0	0	0	0	0	90,0	0,0	-40,0
Média									126,2		

EXPERIMENTO III

Para a cana planta houve efeito apenas para o fator variedade (Tabela 12) e, como esperado, a SP 813250 apresentou produtividade superior à da RB 956911. Tais resultados são condizentes com os potenciais produtivos dessas variedades e, ao mesmo tempo, indicam que as fontes alternativas de nutrientes foram eficientes e não comprometeram a expressão dos potenciais produtivos das duas variedades (considerando as produtividades obtidas em experimentos com fontes solúveis de N, P e K, nessa mesma área).

Tabela 12. Produtividade média (em TCH, toneladas de colmos por hectare) de duas variedades de cana-de-açúcar, em quatro safras, em Pelotas-RS.

Variedade	Produtividade média (TCH) de cada safra				Média
	Cana planta	1a soca	2a soca	3a soca	
	2010	2011	2012	2013	
SP 813250	120,3	87,0	100,8	63,7	92,9
RB 956911	89,9	74,4	102,1	68,7	83,8
Média	105,1	80,7	101,5	66,2	88,4

No segundo ciclo (primeira cana-soca), a SP 813250 foi novamente a mais produtiva. Porém, nesse segundo ciclo as produtividades das duas variedades foram menores, o que era esperado. No entanto, a diminuição da produtividade pode também ter sido influenciada pela má distribuição de chuvas.

No terceiro ciclo (segunda cana-soca), não houve efeito de nenhum dos dois fatores de tratamento e as produtividades das duas variedades aumentaram em relação à soca anterior, chegando quase aos mesmos níveis de produtividade da cana planta (safra 2010), provavelmente em função da quantidade e qualidade da distribuição de chuvas ao longo do ciclo da cultura. Vale destacar a elevada produtividade da RB 956911. Essa variedade tem se mostrado rústica e pouco responsiva à aplicação de fertilizantes solúveis. Nesse sentido, as fontes alternativas, de liberação gradual de nutrientes, podem ser recomendadas para essa variedade.

No quarto ciclo (terceira cana-soca), pela primeira vez houve efeito isolado dos dois fatores de tratamento e inclusive interação (Tabela 13) e as produtividades das duas variedades diminuíram drasticamente em relação à soca anterior. Muito provavelmente tal queda de produtividade seja função do esgotamento das reservas de nutrientes aplicados via adubação de base e via torta de tungue em cobertura. Neste ano não houve problemas climáticos e a quantidade e qualidade da distribuição de chuvas ao longo do ciclo da cultura foram adequados. Considerando que para uma produtividade média de 100TCH são extraídos em média 143 kg de N, 19 kg de P_2O_5 , 174 kg de K_2O , 87 kg de Ca, 49 kg de Mg e 44 kg de S, o aporte de nutrientes via adubação de base e de torta de tungue supriu parcialmente as necessidades das variedades para um período de quatro safras.

Tabela 13. Produtividade média de cana na 3ª soca (em TCH, toneladas de colmos por hectare) de duas variedades de cana-de-açúcar, em Pelotas-RS.

Variedade	MBR11 S3.0	
	Com	Sem
RB 956911	79,4 a A	58,0 a B
SP 813250	68,3 b A	59,1 a B

Letras distintas minúsculas, na coluna, e maiúsculas, na linha, indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey a 5%

Analisando conjuntamente as quatro safras acumuladas, houve efeito isolado dos dois fatores de tratamento e a produção acumulada de colmos da SP 813250 foi superior à da RB 956911 (Tabela 14), sendo tal superioridade advinda da produtividade obtida na cana-planta, já que nas socas, as produtividades das variedades foram semelhantes. Em relação à produtividade de colmos, as duas variedades apresentaram resultados superiores na presença da matriz fertilizante MBR 11 S3.0 (Tabela 13), e, na presença dessa matriz, a RB 956911 apresentou produtividade superior à da SP 813250, reforçando o que foi afirmado anteriormente, isto é, que as fontes alternativas, de liberação gradual de nutrientes, podem ser recomendadas para essa variedade.

Tabela 14. Produtividade média de colmos e produção acumulada (em TCH, toneladas de cana-de-açúcar) de duas variedades de cana-de-açúcar, em quatro safras, em Pelotas-RS

Variedade	Produtividade média de colmos (TCH) de cada safra				Produção acumulada (TCH)
	Cana-planta	1a soca	2a soca	3a soca	
	2010	2011	2012	2013	
SP 813250	120,3 a	87,0 a	100,8 a	63,7 a	371,8 a
RB 956911	89,9 b	74,4 b	102,1 a	68,7 a	335,1 b

Letras distintas, minúsculas, na linha, indicam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5%

Tabela 15. Produção acumulada de quatro safras (em TCH, toneladas de colmos por hectare) de duas variedades de cana-de-açúcar, em Pelotas-RS.

Variedade	TCH acumulada
SP 813250	371,8 a
RB 956911	335,0 b

Letras distintas na coluna indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey a 5%

Ao mesmo tempo, a aplicação de 1.000 kg ha⁻¹ da MBR11 S3.0, no sulco de semeadura, proporcionou um incremento significativo de 23,5 t ha⁻¹ de colmos (Tabela 16).

Tabela 16. Produção acumulada de duas variedades de cana-de-açúcar, em quatro safras (em TCH, toneladas de colmos por hectare) em função da presença e ausência da matriz fertilizante MBR11 S3.0. Pelotas-RS, 2014.

MBR11 S3.0	TCH acumulada
Com	365,2 a
Sem	341,7 b

Letras distintas na coluna indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey a 5%

Considerações

Vários fatores interferem na produtividade da cana-de-açúcar desde a implantação da cultura. Um fator determinante é a população de plantas. Nos três experimentos realizados, por mais que se atentasse para controlar esse fator, vários problemas foram detectados e interferiram com algum grau nos dados obtidos. Assim, atualmente, com o desenvolvimento de mudas em toletes, é possível eliminar esse problema. Outro fator que afeta enormemente a cultura é a pluviometria, principalmente a distribuição ao longo do ciclo da cultura. Em anos onde a ocorrência de chuvas é adequada, as produtividades obtidas são maiores; já em anos secos, apenas as

variedades mais rústicas mantêm produtividades adequadas. Os tipos de solos também afetam diretamente a produtividade da cana. Solos mais argilosos (caso dos Nitossolos e Argissolos) podem manter a umidade por maior tempo, ao mesmo tempo em que são naturalmente mais férteis do que Neossolos Quartzarênicos. Porém, com adubação adequada e com chuvas bem distribuídas as produtividades são equivalentes ou até maiores do que as obtidas em solos mais argilosos. Em anos chuvosos, problemas de umidade excessiva e dificuldade de colheita são observados em áreas de solos argilosos. Uma última constatação diz respeito aos nutrientes. A cultura da cana não é considerada exigente em fósforo, mas observações visuais, em experimentos de calibração de dose desse elemento, têm mostrado que com doses acima de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 , o estabelecimento da cultura é muito mais rápido. Ao mesmo tempo, os elementos Ca, Mg, S e K são determinantes para obter produtividades altas, tanto em solos arenosos quanto argilosos. Nesse sentido, o uso de fontes orgânicas (torta de filtro, composto orgânico, plantas de cobertura) são muito importantes para a melhoria da fertilidade desses solos e manutenção da umidade em anos secos.

Conclusões

É possível obter produtividades elevadas de cana-de-açúcar combinando fontes alternativas de nutrientes.

A combinação entre fontes alternativas de nutrientes e fontes solúveis pode aumentar a eficiência da adubação solúvel.

As variedades apresentam potenciais produtivos e necessidade de nutrientes distintos.

A RB 956911 é rústica e responde às fontes de nutrientes menos solúveis.

As fontes CX, FX e XR, mesmo em doses baixas no sulco (500 a 1.000 kg ha^{-1}) interferem positivamente na produtividade de colmos.

A MBR11 S3.0 promove aumento da produtividade de colmos de variedades rústicas.

Fotos: Carlos Augusto Posser Silveira



Figura 1. Implantação do Experimento na Fazenda Monte Cristo, Paraíso do Norte-PR.



Figura 2. Implantação do Experimento na Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS.

Bioecologia e Manejo de Pragas

Raul da Cunha Borges Filho

Vinícius Soares Sturza

Dori Edson Nava

Jerson Vanderlei Carus Guedes

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) cultiva 1,2 mil ha de cana-de-açúcar, o que representa uma produção de 61,2 mil toneladas da produção nacional, obtidas na safra 2015/16. Apesar disso, os recentes avanços no zoneamento agroclimático para a cultura e as novas recomendações técnicas, em especial de genótipos adaptados às condições locais, tendem a estimular o aumento da produção. No Brasil a produtividade média da cultura é estimada em 76,9 t ha⁻¹, enquanto no RS, é de 49,3 t ha⁻¹ (CONAB, 2016). Com a busca de novas fronteiras agrícolas para a produção de etanol, problemas fitossanitários têm surgido e dentre estes o registro de novos artrópodes ou de pragas secundárias que adquirem status de praga principal, tem preocupado o setor.

No RS o cultivo da cana-de-açúcar ocorre em pequena escala, com a finalidade de produzir alimentos para o consumo humano e animal. Porém, novas cultivares, adaptadas às condições edafoclimáticas do estado, foram desenvolvidas e também estão sendo avaliados os fatores relacionados à produtividade, como o ataque de insetos-

praga. O conhecimento da bioecologia dos principais insetos-praga, bem como época e local de ocorrência e monitoramento auxiliam no manejo adotado para a redução das perdas na cultura.

No estado são comuns períodos de baixas temperaturas, em especial nos meses que compreendem o outono e o inverno (Figura 1).

Dessa forma, a flutuação populacional dos insetos é diferente de outras regiões produtoras do Brasil, especialmente em função da temperatura e da chuva que é mais distribuída durante o ano. Essa condição climática, juntamente com uma maior quantidade de luminosidade durante os meses do verão, faz com que a cultura tenha o início das brotações por volta de setembro e a colheita de julho a agosto. Porém, as práticas agrícolas utilizadas na cultura nesse período fornecem resíduos como colmos, durante o plantio, e palhada, durante o corte, que servem como alimento e abrigo, além de gerar um microambiente favorável à sobrevivência dos insetos.

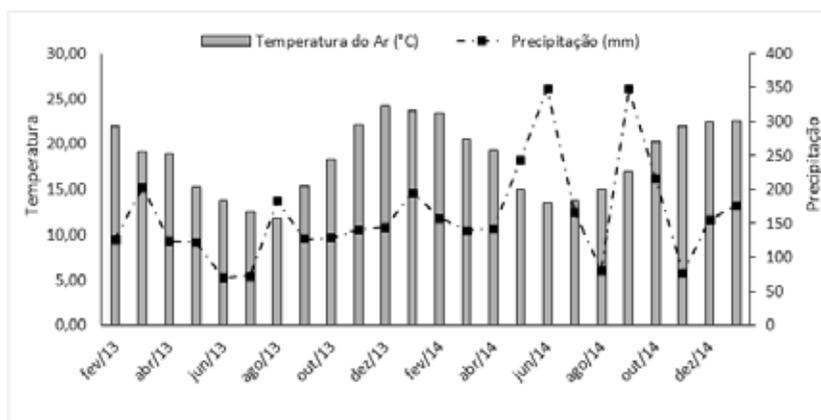


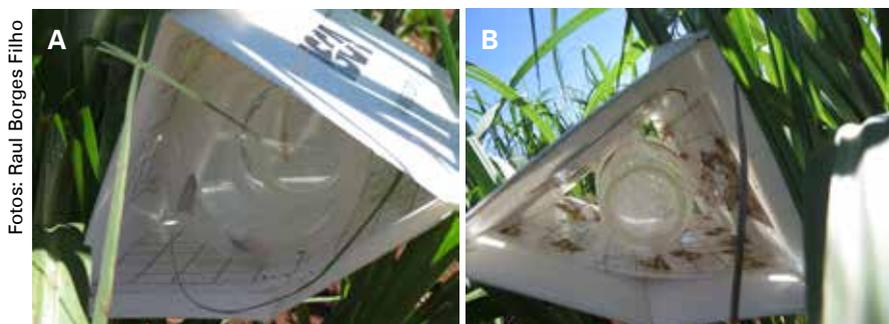
Figura 1. Temperatura e precipitação mensal durante o período de fevereiro de 2013 a janeiro de 2015 no Município de Cruz Alta, RS, Brasil.

Pragas da cultura

Diatraea saccharalis

Conhecida como “broca da cana-de-açúcar” ou “broca-do-colmo”, *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae), é considerada o principal inseto-praga da cultura no País, e nas condições do sul do Brasil, com potencial de ocasionar grandes prejuízos na cana-de-açúcar. Essa praga é encontrada também em lavouras de trigo, aveia, sorgo, arroz e milho, cultivadas em diversas regiões do estado, em épocas diferentes, o que proporciona fonte de alimento para a broca da cana-de-açúcar durante todo o ano.

O seu monitoramento pode ser realizado com amostragens realizadas por meio da captura dos machos adultos. Para isso, utilizam-se armadilhas do tipo Jackson™ com piso adesivo fixado em seu interior (Figura 2a), nas quais as fêmeas de *D. saccharalis* (com até 24 horas de idade) são mantidas em gaiolas confeccionadas em tela de náilon (6 cm de diâmetro x 6 cm de altura). Assim, os machos são atraídos pela fêmea virgem que libera o feromônio sexual, e ao entrarem em contato com a parte interna das armadilhas ficam presos (Figura 2b). As fêmeas presentes nas gaiolas são trocadas e os machos capturados nas armadilhas são contados e retirados, substituindo o piso adesivo. Recomenda-se utilizar de duas a quatro armadilhas por hectare, distribuídas aleatoriamente pelo canavial. As armadilhas são colocadas no final de cada dia e recolhidas na primeira hora do dia seguinte. Isso proporciona um acompanhamento mais preciso do provável início da ocorrência da praga na lavoura, e por meio do número de adultos coletados, uma estimativa de tendência populacional.



Fotos: Raul Borges Filho

Figura 2. A) Armadilha do tipo Jackson™, contendo fêmeas virgens de *D. saccharalis* em gaiolas elaboradas com potes plástico e tela de *voile* nas laterais. B) Machos adultos de *D. saccharalis* presos pelo piso adesivo da armadilha.

Pode-se realizar também o monitoramento de *D. saccharalis* por meio da avaliação de lagartas, quando ocorre o início da emissão dos internódios da planta na superfície do solo, avaliando todos os colmos presentes em um total de 20 metros lineares por hectare, dispostos em dois pontos compostos por duas fileiras paralelas de 5 metros lineares. Para a avaliação, os colmos são cortados rente ao solo e despontados. A retirada das folhas deve ser realizada com cuidado para a visualização de lagartas pequenas, que podem ser encontradas entre a superfície do colmo e a base das folhas. Posteriormente, os colmos devem ser abertos para a visualização da presença de lagartas, pupas e das galerias formadas em razão da alimentação (PINTO et al., 2009).

Para se estimar a intensidade de infestação de *D. saccharalis* em cada safra, é necessário quantificar o número total de internódios e internódios broqueados. O cálculo desse índice é realizado dividindo o número de internódios broqueados pelo número total de internódios e multiplicando o resultado por 100. Esse parâmetro determina a porcentagem de internódios atacados, sendo um indicativo de perdas ocorridas em toneladas de cana-de-açúcar/hectare, ocasionadas pela

D. saccharalis. Esse índice pode ser calculado também ao longo da safra, para auxiliar a escolha e utilização de métodos de controle, de acordo com a necessidade. Para isso, pesquisas foram realizadas com a finalidade de estabelecer um nível de controle, que varia de 3% a 5% de infestação, definindo o momento, no qual, o agricultor, adotando métodos adequados de controle, diminuirá seus prejuízos.

No momento da oviposição, as fêmeas (Figura 3a) de *D. saccharalis* são atraídas por compostos secundários voláteis liberados pelas folhas da cana de-açúcar, enquanto os machos (Figura 3b) são atraídos pelo feromônio emitido pelas fêmeas. Dessa forma, a presença da broca da cana-de-açúcar na cultura é iniciada a partir do momento em que ocorre a emissão das brotações. No RS, esse período ocorre geralmente nos meses de setembro e outubro. O adulto de *D. saccharalis* possui hábito noturno, período em que a fêmea realiza as posturas nas folhas da planta. Em levantamentos realizados no município de Salto do Jacuí, RS, nas safras 2012/13 e 2013/14, os primeiros adultos de *D. saccharalis* foram capturados no mês de outubro, após a brotação, variando entre 3,8 e 5,3 machos por armadilha, respectivamente, aumentando consideravelmente no mês de novembro, com 67,8 e 81,5 adultos capturados por armadilha, respectivamente.



Fotos: Raul Borges Filho

Figura 3. Adultos de *D. saccharalis*. A) fêmea; e B) macho.

As lagartas de *D. saccharalis* recém eclodidas iniciam a alimentação nas folhas, por serem mais tenras, deixando-as com aspecto de raspagem. Ao atingirem o segundo ínstar, se deslocam em busca de um alimento com maior valor energético, até encontrar o colmo da planta, local rico em sacarose. Dessa maneira, o seu surgimento pode ocorrer simultaneamente quando a planta emite o primeiro internódio para a parte externa do solo, entre os meses de dezembro e janeiro.

Por ser a parte mais tenra do colmo, as lagartas se alimentam do internódio, abrindo galerias na base em direção ao ápice; assim, devido à gravidade, suas fezes não entram em contato com a parte da planta da qual a lagarta se alimentará, além de se depositarem de maneira irregular no orifício de abertura da galeria, permitindo trocas gasosas e servindo de obstáculos, que dificultam as possíveis entradas de inimigos naturais. Ao se alimentar de plantas muito jovens, a lagarta acaba atacando a região do meristema apical, impossibilitando o desenvolvimento do colmo, tornando as folhas mais jovens da planta, murchas, retorcidas e até secas, sintoma conhecido como “coração morto” (Figura 4).

Foto: Vrnicius S. Sturza



Figura 4. Sintoma de dano conhecido por “coração morto”, com folhas centrais secas, em decorrência de injúrias causada no meristema apical da planta da cana-de-açúcar. O canivete indica o orifício ocasionado pela lagarta de *D. saccharalis*.

A broca da cana-de-açúcar pode completar seu desenvolvimento abrindo uma ou mais galerias, isso ocorre, devido à condição nutricional e dureza do internódio. A maioria das galerias são longitudinais (Figura 5a), no sentido vertical, podendo perfurar um ou mais internódios, ou em sua minoria serem circulares (Figura 5b), no sentido horizontal, o que facilita o tombamento da planta, além de interromper o transporte da seiva, forçando a planta a emitir brotações laterais e enraizamento aéreo.



Fotos: Raul Borges Filho

Figura 5. Dano provocado pela *D. saccharalis*. A) galeria longitudinal; B) galeria circular.

O orifício aberto pela *D. saccharalis* facilita o contato da parte interna da planta com organismos oportunistas, que dificilmente conseguiriam romper a casca da cana-de-açúcar, permitindo a infestação de outros artrópodes-praga, que também se alimentam do colmo, e microrganismos, como os fungos *Fusarium moniliforme* e/ou *Colletotrichum falcatum*, que ocasionam a podridão-vermelha, que resulta em perdas industriais, em consequência da inversão da sacarose e diminuição da pureza do caldo (Figura 6).

Fotos: Raul Borges Filho



Figura 6. Podridão-vermelha, sintoma do dano indireto provocado pela *D. saccharalis*.

O aumento populacional da praga acompanha o desenvolvimento da cana-de-açúcar, sendo que, à medida que a planta cresce, passa a ser um alimento mais nutritivo e em maior quantidade. Dessa maneira, no RS, os picos populacionais da broca da cana-de-açúcar ocorrem na fase final do cultivo entre os meses de maio e agosto, período em que as baixas temperaturas predominam (Figura 7). Trabalhos realizados em laboratório concluem que temperaturas constantes inferiores a 25 °C influenciam negativamente a biologia de *D. saccharalis*, diminuindo seu metabolismo, aumentando a duração do ciclo de vida e reduzindo a viabilidade dos estágios de ovo, lagarta e pupa. Porém, em condições de campo, as galerias no interior dos colmos, juntamente com a densidade de plantas, incidência dos raios solares, umidade, dentre outros fatores, formam um microclima específico, que favorece a sobrevivência dessa espécie, mesmo em condições adversas às

suas necessidades, podendo também induzir a lagarta a permanecer em estado de diapausa.

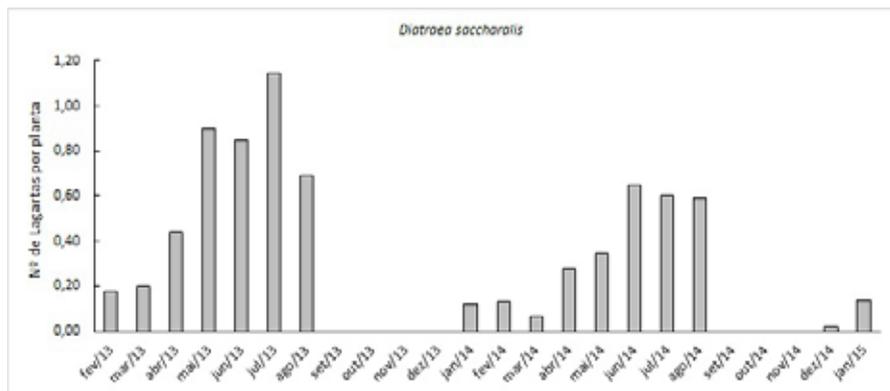


Figura 7. Flutuação populacional de *D. saccharalis* na cultura da cana-de-açúcar durante o período de fevereiro de 2013 a janeiro de 2015 no Município do Salto do Jacuí, RS, Brasil

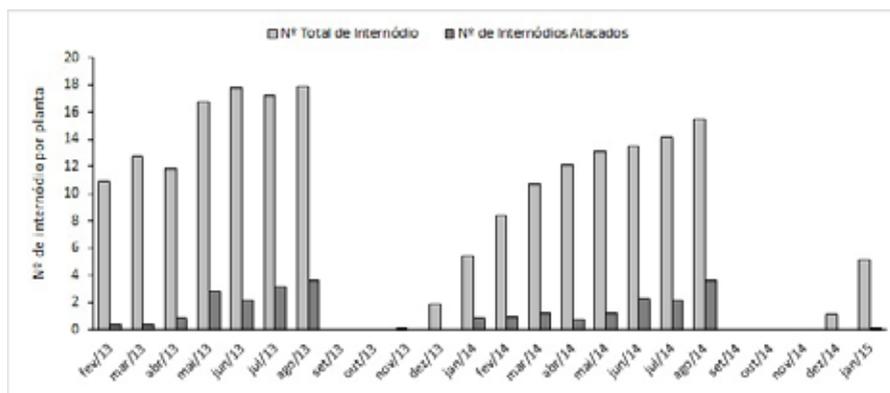


Figura 8. Relação de número de internódios total e número de internódios atacados, utilizados para calcular a intensidade de infestação da *D. saccharalis*, no município de Salto do Jacuí, RS, Brasil

No controle de *D. saccharalis*, podem ser utilizados produtos biológicos e/ou químicos. Para o controle biológico são comercializados bactérias entomopatogênicas e parasitoides das espécies *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988 (Hymenoptera, Trichogrammatidae), que parasitam os ovos da praga, e *Cotesia flavipes* (Cameron, 1891), parasitoide de larvas. Ainda é possível a utilização de produtos à base do entomopatógeno *Bacillus thuringiensis* Berliner.

O controle biológico da broca-da-cana é o método mais utilizado no Brasil. Pode ser realizado mediante a utilização isolada de *T. galloi* ou *C. flavipes*, ou ainda de forma associada, pois controlam a praga nas fases de ovo e lagarta, respectivamente. A quantidade máxima de posturas parasitadas por vespinhas de *T. galloi* ocorre cerca de três dias após a liberação (PINTO et al., 2003). Conforme descrito em Nava et al. (2009), podem ser feitas liberações do parasitoide de três formas: (1) liberação do parasitoide durante quatro semanas, na periferia da área de cana-de-açúcar, iniciada quando as plantas de cana começam a apresentar os primeiros entrenós ou quando o canavial está muito denso, utilizando cerca de 2 mil parasitoides a cada 50 metros. (2) Outra forma é a liberação de 50 mil adultos/ha, por três semanas seguidas, logo após o aparecimento dos primeiros entrenós nas plantas, associado ao surgimento dos primeiros machos nas armadilhas de fêmeas virgens da mariposa. Por último, pode-se liberar uma quantidade de 150 mil vespinhas/ha, durante três semanas consecutivas (BROGLIO-MICHELETTI et al., 2007).

A liberação da vespinha *C. flavipes* é indicada sempre que a população atingir 800 a 1.000 lagartas maiores do que 1,5 cm por hectare ou onde a intensidade de infestação tenha sido superior a 2% na colheita da safra anterior. Utiliza-se em torno de 6 mil vespinhas por hectare, distribuídas em oito pontos. O produtor adquire o parasitoide na fase de pupa em “massas”, acondicionado em copos, contendo cerca de 750 indivíduos. Esses copos devem

ser armazenados até 8 a 12 horas do início do “nascimento” (emergência) dos adultos, para que a cópula entre machos e fêmeas seja realizada (NAVA et al., 2009). Posteriormente, os insetos devem ser transportados ao campo com cuidado, evitando variações bruscas de temperatura e os adultos liberados ou posicionados entre as folhas das plantas sem tampa. A partir de 15 dias após a liberação, novas amostragens devem ser realizadas para verificar o população da broca-do-colmo (BOTELHO; MACEDO, 2002). Mais informações sobre os produtos biológicos com registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) estão disponíveis em: (http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons) e sobre o uso de agentes biológicos em: (<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/79313/1/documento-287.pdf>)

Para o controle químico são registrados produtos de diferentes formulações, pertencentes a grupos químicos como benzoilureias, piretroides, neonicotinoides, pirazóis entre outros, utilizados conforme recomendações de registro no Mapa (Consulta disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons).

Saccharicoccus sacchari

A cochonilha-rosada, *Saccharicoccus sacchari* (Cockerell, 1895) (Hemiptera: Pseudococcidae) é registrada em praticamente todas as regiões produtoras de cana-de-açúcar do mundo. Possui fácil adaptabilidade às condições climáticas adversas; além de se alimentar de outras espécies de gramíneas, isso facilita seu estabelecimento em diferentes localidades e garante sua permanência, mesmo sob condições desfavoráveis.

O ataque de *S. sacchari* ocorre no colmo da cana-de-açúcar, principalmente na região do terço superior, alojada entre a bainha da folha e o colmo (Figura 9); porém, pode ser encontrada até mesmo na base da planta, próxima às raízes. Sua alimentação se dá pela

sucção da seiva do floema da planta, sendo um material rico em carboidrato. Como o inseto se alimenta em grande quantidade, o excesso é eliminado na forma de *honey dew*, e isso atrai formigas, ocorrendo um processo de simbiose, pois as formigas se alimentam da substância açucarada e as cochonilhas utilizam as formigas para se dispersarem. Além disso, o *honey dew* de *S. sacchari* é fonte de nutrientes para microrganismos que se desenvolvem na bainha da folha da cana-de-açúcar.

Fotos: Raul Borges Filho



Figura 9. *Saccharicoccus sacchari* atacando cana-de-açúcar.

Sua sobrevivência ao longo do ano no canavial, até mesmo após a colheita, está ligada ao seu hábito alimentar, utilizando até mesmo a parte subterrânea da planta como alimento, e às práticas agrícolas utilizadas durante o cultivo, como a eliminação da utilização de queimadas antes do corte. Sua presença na lavoura é facilmente notada a partir do desenvolvimento dos colmos. No RS, sua infestação ocorre principalmente na época quente do ano, atacando entre 80% e 90% das plantas (Figura 10).

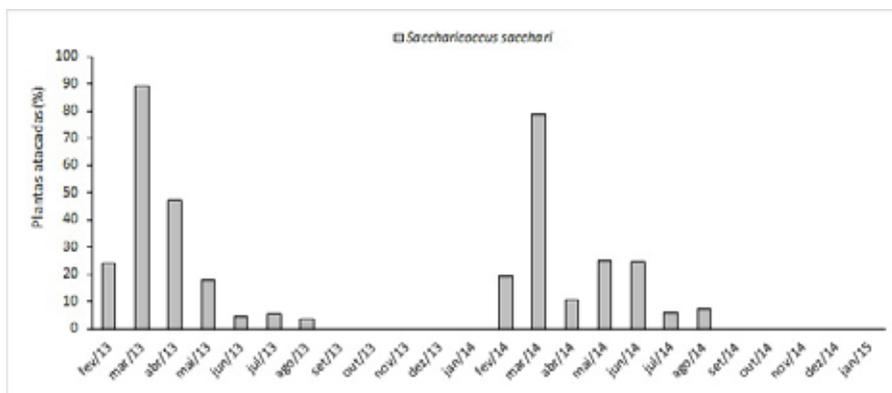


Figura 10. Flutuação populacional de *S. sacchari* na cultura da cana-de-açúcar durante o período de fevereiro de 2013 a janeiro de 2015 no Município do Salto do Jacuí, RS, Brasil
Fonte: BORGES FILHO, 2015.

Esse inseto-praga, além de causar danos, devido à alimentação da seiva da planta, pode transmitir vírus, difundindo doenças pela lavoura. Além disso, pode contaminar o caldo da cana-de-açúcar com a cera que produz, dificultando o beneficiamento do mesmo. Dessa maneira, plantas altamente infestadas por *S. sacchari* possuem perda significativa de sólidos solúveis; porém, pouco se sabe a respeito do real prejuízo causado unicamente pelo ataque do inseto. O adulto produz uma cera clara que encobre seu corpo (Figura 11), diminuindo a eficiência do uso de produtos químicos para o seu controle. Sua localização na planta, sob a bainha, dificulta a ação de inimigos naturais. Entretanto, estudos apontam a existência de algumas variedades que suportam o ataque da cochonilha-rosada, com baixo índice de perda na produção, e outras que apresentaram baixo índice de infestação.

Fotos: Raul Borges Filho



Figura 11. Adulto de *S. sacchari* com o corpo coberto por cera

Melanaphis sacchari

O pulgão *Melanaphis sacchari* (Zehntner, 1897) (Hemiptera: Aphididae) (Figura 12) é uma praga da cana-de-açúcar presente na América, Ásia, África e Oceania, reconhecido como praga invasiva, em razão da alta taxa de disseminação, favorecida pelas correntes de ar.

O ataque desses insetos ocorre nas folhas, onde tanto as ninfas quanto os adultos se alimentam sugando a seiva, principalmente na parte inferior das folhas, de modo que é comum a infestação iniciar das folhas mais velhas para as mais novas (de baixo para cima). Em ataques severos as folhas abaixo das folhas atacadas ficam cobertas de uma substância excretada pelos pulgões, que favorece o desenvolvimento de doenças fúngicas, que levam a uma coloração escura, e posteriormente secam e caem. Essa espécie nas condições ambientais dominantes no Brasil se reproduz através da partenogênese, já que as formas áptera e alada são fêmeas. Dessa

maneira, o crescimento populacional é rápido. No RS, essa praga foi encontrada em lavoura de cana-de-açúcar, especificamente entre os meses de fevereiro e abril, época de altas temperaturas. Durante o mês de março a infestação desse inseto atingiu 100% das plantas (Figura 13).

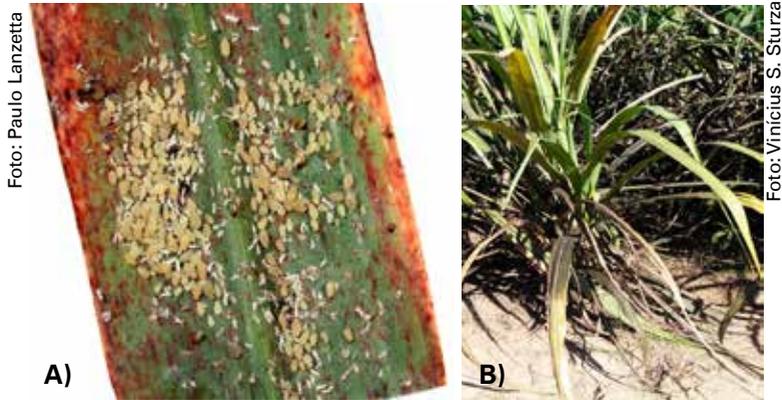


Figura 12. Colônia de *M. sacchari* sob folha de cana-de-açúcar (A) e folhas com sintomas de doenças fúngicas, resultantes da alta infestação de pulgões (B), durante o período de fevereiro de 2017 em Pelotas, RS, Brasil

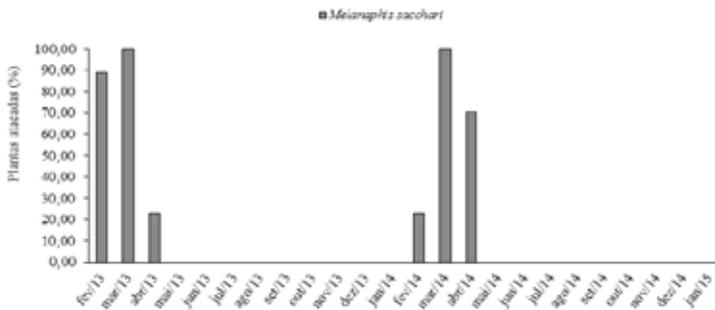


Figura 13. Flutuação populacional de *M. sacchari* na cultura da cana-de-açúcar durante o período de fevereiro de 2013 a janeiro de 2015 no Município do Salto do Jacuí, RS, Brasil.

Fonte: BORGES FILHO, R.C., 2015.

Pouco se sabe do potencial de dano que essa praga é capaz de provocar na cultura, porém, ela é vetor de uma importante doença da cana-de-açúcar, a síndrome do amarelecimento foliar, conhecida vulgarmente como amarelinho, causada por um vírus do grupo *Poleovirus*, que ocasiona uma obstrução vascular, determinando uma grande concentração de sacarose na nervura central da folha, deixando aspecto amarelecido na face inferior dessa nervura. Considerando a fácil dispersão e o rápido crescimento populacional do inseto, infestando até 100% das plantas, essa doença pode prejudicar em até 37% da produção.

A preservação de inimigos naturais, utilização de mudas sadias e desenvolvimento de variedades menos suscetíveis a infestação desse inseto e à doença são os métodos de controle mais indicados para redução dos prejuízos.

Mahanarva fimbriolata

Conhecida como cigarrinha-das-raízes, *Mahanarva fimbriolata* (Stål, 1854) (Hemiptera: Cercopidae) passou a ser uma praga muito importante na cultura da cana-de-açúcar, em algumas regiões, incluindo o Brasil, que apresentam condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento, juntamente com o uso de palha de cana-de-açúcar como cobertura do solo, fazendo com que a população do inseto inicie em maior número na próxima safra, tendo uma maior sobrevivência, e povoando precocemente a lavoura. Outro fator que favorece a infestação da cigarrinha-das-raízes é a sua amplitude de hospedeiros, especialmente espécies de pastagens amplamente cultivadas, o que resulta em fontes de infestação e facilita a dispersão.

Os ovos da cigarrinha-das-raízes são depositados no solo e se desenvolvem apenas sob condições de temperatura e umidade ideais, quando ocorre a eclosão da sua forma jovem, chamada de

ninfa, que se aloja na base da planta, e passa a se alimentar sugando água e nutrientes do xilema, atacando principalmente as raízes e radículas superficiais. As ninfas produzem uma espuma, para manter a umidade, e as utiliza como abrigo. Em grande quantidade, além de desfavorecer a nutrição da planta através da sua alimentação, refletindo diretamente na produção de sacarose da cana-de-açúcar, o ataque das ninfas pode ocasionar a morte das raízes da planta, desequilibrando sua fisiologia, provocando sintomas como chochamento, afinamento e aparecimento de rachaduras na superfície externa do colmo, devido à desidratação. O adulto se alimenta sugando a seiva da parte aérea da planta (Figura 14).



Fotos: Raul Borges Filho

Figura 14. Adultos de *M. fimbriolata* atacando cana-de-açúcar.

O seu monitoramento pode ser realizado conforme metodologia proposta por ALMEIDA et al. (2008), avaliando 18 pontos por hectare, distribuídos sistematicamente, sendo cada ponto constituído de um metro linear de cultivo no sentido da fileira e 0,5 m para cada

lado, totalizando um metro quadrado (m^2) para cada unidade de observação. Em cada ponto, quantifica-se o número de ninfas na base das plantas de cana-de-açúcar e o número de adultos de *M. fimbriolata* na parte aérea das plantas por m^2 de sulco de plantio.

Em levantamento realizado no Município de Salto do Jacuí, RS, as maiores infestações ocorreram durante os meses de dezembro a março, conforme apontam os dados populacionais das safras 2012/13 e 2013/14, com picos populacionais durante o mês de janeiro (Figura 15), associados com a combinação de elevadas temperaturas e precipitação pluviométrica. Devido ao fato de na safra 2013/14 apresentar temperaturas mais elevadas e maior volume de chuva, houve a ocorrência de um maior número de insetos amostrados. Porém, os valores registrados no RS são considerados baixos quando comparados a outras regiões, como as de São Paulo, onde a infestação de *M. fimbriolata* pode chegar a 14,6 cigarrinhas por metro de sulco, além de não alcançar uma quantidade considerada nível de dano econômico, entre dois e cinco insetos por metro de sulco. Porém, suas características comportamentais revelam seu grande potencial como praga.

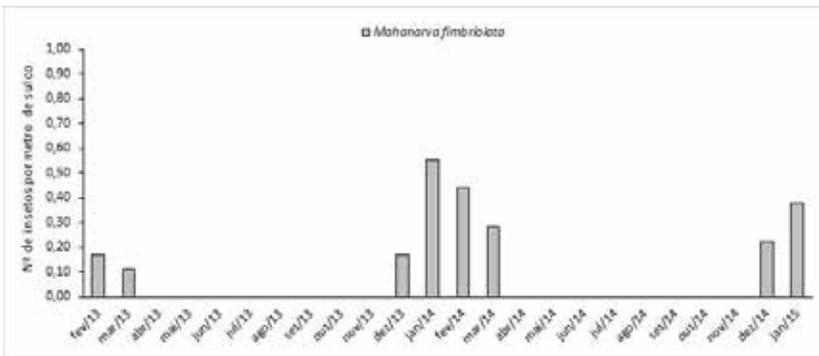


Figura 15. Flutuação populacional de *M. fimbriolata* na cultura da cana-de-açúcar durante o período de fevereiro de 2013 a janeiro de 2015 no Município do Salto do Jacuí, RS, Brasil. Fonte: BORGES FILHO, R.C., 2015.

A variedade de cana-de-açúcar utilizada no cultivo também pode influenciar na dinâmica populacional de *M. fimbriolata*, reduzindo em até 48% a sobrevivência das ninfas, o que foi relacionado com uma maior resistência da planta à infestação da praga.

O controle da cigarrinha também pode ser realizado com a aplicação de produtos químicos ou biológicos. Dentre os químicos estão disponíveis formulações dos grupos químicos neonicotinoides, fenilpirazois entre outros. Os biológicos são basicamente formulados à base do fungo entomopatógeno *Metarhizium anisoplae*. Os produtos registrados disponíveis e as indicações de uso podem ser consultados no Mapa (Consulta disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons).

Inimigos naturais

Taquinídeos

Nas condições do RS, é frequente observar a presença de inimigos naturais, especialmente os predadores e parasitoides. Durante todo o período de ocorrência de lagartas de *D. saccharalis* no canavial, é possível observar a presença de moscas da família Tachinidae, parasitando lagartas da broca da cana-de-açúcar (Figura 16). A época de maior ocorrência é nos meses mais quentes, março e abril, porém, sua presença pode ser notada até o momento da colheita, passando pelos meses de inverno (Figura 17).

Fotos: Vinícius S. Sturza



Figura 16. A) Pupa de Tachinidae, mosca parasitoide de lagartas de *D. saccharalis*, em planta de cana-de-açúcar; e B) inseto adulto.

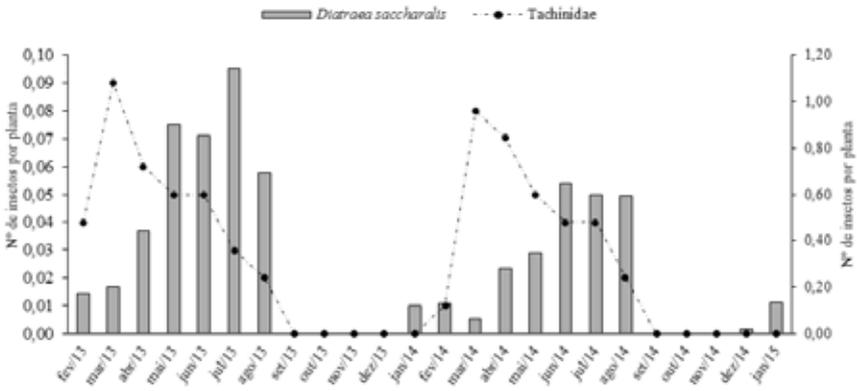


Figura 17. Flutuação populacional de Tachinidae, parasitoide de *D. saccharalis*, na cultura da cana-de-açúcar durante o período de fevereiro de 2013 a janeiro de 2015 no Município do Salto do Jacuí, RS, Brasil.

Fonte: BORGES FILHO, R.C., 2015.

***Doru* sp.**

Conhecida como tesourinha, *Doru* sp. (Dermaptera: Forficulidae), é um predador bastante presente em culturas da família Poaceae (Figura 18), principalmente em cana-de-açúcar, milho e sorgo. Esse inseto se abriga em locais úmidos da planta, como folha bandeira e bainha das folhas, porém se locomove por toda planta à procura de alimento. Pouco se sabe sobre sua preferência alimentar, mas sua gama de presas é ampla, destacando ovos de lepidópteros e pulgões. A ocorrência desse predador em lavoura de cana-de-açúcar no RS teve destaque simultaneamente com os picos populacionais do pulgão e da cochonilha-rosada, durante os meses quentes, mas esteve presente na lavoura durante todo o ciclo da cultura (Figura 19). Isso o torna um importante inimigo natural, já que ele também se alimenta de ovos e pequenas lagartas de *D. saccharalis*.



Fotos: Raul Borges Filho

Figura 18. A) Adulto de *Doru* sp. na folha bandeira da cana-de-açúcar. B) Adulto e ninfas de *Doru* sp. na bainha da folha da cana-de-açúcar.

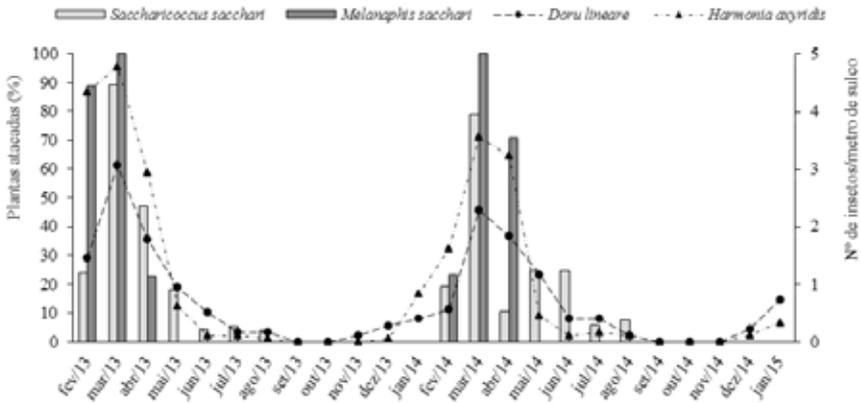


Figura 19. Flutuação populacional de *S. sacchari* e *M. sacchari*, representada em porcentagem de plantas atacadas, e *Doru* sp. e *H. axyridis*, representada em n° de insetos/metro de sulco, na cultura da cana-de-açúcar durante o período de fevereiro de 2013 a janeiro de 2015 no Município do Salto do Jacuí, RS, Brasil.

Fonte: BORGES FILHO, R.C., 2015.

Harmonia axyridis

A joaninha, *Harmonia axyridis* (Pallas, 1773) (Coleoptera: Coccinellidae), é um predador bastante conhecido e utilizado como controle biológico (Figura 20). Alimenta-se principalmente de pulgões e cochonilhas, havendo relatos de sua presença em várias culturas. Apesar de habitar diversas regiões com diferentes condições ambientais, a população de joaninha se desenvolve com maior facilidade em épocas quentes. No RS, esse predador foi encontrado na cultura da cana-de-açúcar na mesma época de ocorrência do pulgão e cochonilha-rosada, coincidindo com seus picos populacionais, permanecendo na lavoura até o mês de abril; em meses de baixas temperaturas não houve registro desse inseto na cana-de-açúcar.



Fotos: Raul Borges Filho

Figura 20. Casal de *H. axyridis* copulando na cultura da cana-de-açúcar. (Fonte: BORGES FILHO, R.C., 2015).

Considerações Finais

Há registro de quatro pragas de importância econômica na cultura da cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. São elas, *Diatraea saccharalis*, *Saccharicoccus sacchari*, *Melanaphis sacchari* e *Mahanarva fimbriolata*, todas com potencial de causar prejuízos na lavoura. Dessas, *D. saccharalis* é a principal praga e a que realmente limita a produção. Assim, com o incentivo ao cultivo de cana-de-açúcar no estado, é necessário ampliar os estudos das pragas, visando o adequado manejo.

Nematoides Fitoparasitas da Cana-de-açúcar: Ocorrência, Danos e Manejo

Cesar Bauer Gomes

Cristiano Bellé

Andréa Chaves Fiuza Porto

Entre os problemas fitossanitários que afetam a produtividade da cana-de-açúcar, doenças causadas pelos nematoides das galhas (*Meloidogyne* spp.) e pelos nematoides das lesões radiculares (*Pratylenchus* spp.) têm sido responsáveis por prejuízos significativos nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil (NOVARETTI et al., 1989; CHAVES et al., 2004). Esses fitopatógenos parasitam o sistema radicular das plantas atacadas deixando-as debilitadas, o que reflete em menor capacidade de absorção de água e nutrientes, e consequentemente na redução da produtividade da cultura (MOURA et al., 1990, 1999; DINARDO-MIRANDA, 2005; CHAVES; PEDROSA; SIMÕES NETO, 2016a).

Dentre as espécies do nematoide das galhas relatadas em áreas produtoras de cana, *M. javanica* e *M. incognita* são consideradas as mais frequentes em canaviais brasileiros, onde elevados índices populacionais podem afetar a produtividade (CHAVES et al., 2002;

BARROS et al., 2005). A ocorrência conjunta de meloidoginose e pratilencose numa mesma área é comum em canaviais. Dependendo das condições favoráveis, uma das espécies prevalecerá sobre as outras (CHAVES et al., 2004). Como esses nematoides apresentam alta severidade e fácil disseminação, o controle desses organismos nessas condições é dificultado no campo (MOURA et al., 2000).

Espécimes de *Pratylenchus* spp. e juvenis de segundo estágio de *Meloidogyne* spp. presentes no solo penetram no sistema radicular das plantas e iniciam o parasitismo. Em temperaturas na faixa de 25-28 °C, esses fitonematoides completam o ciclo de vida em torno de 30 dias, ocorrendo várias gerações durante o cultivo da cana, aumentando sobremaneira as densidades populacionais.

O principal sintoma das plantas parasitadas com *Meloidogyne* spp. é a presença de galhas e engrossamentos nas raízes (Figura 1); ocorre também redução do volume do sistema radicular e proliferação de radículas; além disso, podem ser encontradas lesões ao longo das raízes atacadas (FERRAZ et al., 2010).



Fotos: Andréa Chaves Fiuza Porto

Figura 1. Galhas e engrossamentos decorrentes de meloidoginose em raízes de cana-de-açúcar.

A pratilencose ocasiona redução do sistema radicular; além de lesões de coloração avermelhada a mais escura nas raízes, pela associação com outros patógenos, e, descolamento cortical (Figura 2a).

Fotos: Cristiano Bellé



Figura 2. Sintomas da presença de *Pratylenchus* sp. em raízes de cana-de-açúcar (a). Lesões necróticas pela associação com outros organismos habitantes do solo; redução do desenvolvimento de planta na variedade RB72454 infectada com *M. ethiopica*, em casa de vegetação (b).

Em levantamentos recentes conduzidos na região Sul do Brasil, tanto o nematoide das galhas como o das lesões têm sido encontrados em lavouras de cana do Rio Grande do Sul (RS) e do Paraná (PR) (SEVERINO et al., 2008; BELLÉ, 2014). Além desses fitonematoides, outros gêneros como *Helicotylenchus*, *Mesocriconema*, *Xiphinema*, *Tylenchus*, *Paratrichodorus*, *Hemicycliophora*, *Aphelenchus* e *Aphelenchoides*, embora em menor frequência, também têm sido encontrados nos canaviais (BELLÉ et al., 2014).

Entre as espécies de *Meloidogyne* que ocorrem em cana-de-açúcar no Paraná, *M. javanica* é a mais frequente, seguida de *M. incognita* (SEVERINO et al., 2008). Em trabalhos recentes conduzidos no Rio Grande do Sul (RS), foi observado que *M. javanica* é a espécie predominante nas regiões Nordeste e Sul do Estado, ocorrendo ampla diversidade intraespecífica (BELLÉ, 2014); no Litoral Norte,

M. incognita é a mais frequente (BELLÉ et al., 2015), e na Depressão Central, há uma mistura de várias espécies, além daquelas reportadas nas regiões anteriormente citadas, *M. arenaria*, *M. hapla* e *M. morocciensis* (BELLÉ, C., Informação pessoal).

Ademais, também já foram relatadas em canaviais do RS as ocorrências de *M. ethiopica*, *M. enterolobii* e *M. luci*, cujos testes de patogenicidade em casa de vegetação resultaram em redução do peso da parte aérea, raiz e clorofila em aproximadamente 60%, comparados àqueles índices observados em plantas de cana não inoculadas com *M. ethiopica* (BELLÉ, C., Informação pessoal) e *M. javanica* (BELLÉ et al., 2016), conforme Figura 1b. A ocorrência dessas espécies demonstra a importância do monitoramento das populações na cultura, especialmente em genótipos suscetíveis, onde podem ocorrer perdas de 20% a 30% já no primeiro corte conforme considerações de Dinardo-Miranda (2011). Porém, pouco se sabe sobre a patogenicidade, potencial de danos e agressividade dessas populações em condições de campo para o sul do Brasil.

Em relação ao nematoide das lesões, *P. zaeae* tem sido a espécie mais comumente encontrada em lavouras de cana distribuídas nas diferentes regiões canavieiras do globo (SPAULL; CADET, 1990) e do Brasil (GOMES; NOVARETTI, 1985), sendo considerada responsável pelo amarelecimento foliar, necrose das raízes e redução do crescimento das plantas (VALLE-LAMBOY; AYALA, 1980).

No extremo sul do Brasil, *P. zaeae* também é a espécie mais frequente; no entanto, em vários canaviais do RS, tem sido comum a ocorrência de *P. brachyurus* associada ou não a *P. zaeae* (BELLÉ et al., 2014). Entretanto, também muito pouco se sabe sobre a agressividade de populações de *Pratylenchus* spp. em genótipos de cana adaptados às condições edafoclimáticas da região Sul do País.

Os danos causados por nematoides, em áreas comerciais, estão associados, principalmente, às espécies que ocorrem na área afetada, aos níveis populacionais no solo, à variedade cultivada e às condições de umidade do solo no momento do plantio da cana (DINARDO-MIRANDA, 2005; BARROS et al., 2005). Conforme estimativas de Dinardo-Miranda e Ferraz (1991), populações próximas a 2.500 *P. zaei*/50 g de raízes, e níveis populacionais maiores que 400 *J2 Meloidogyne* spp./50g de raízes de cana-de-açúcar (NOVARETTI, 1997) podem causar danos significativos em variedades suscetíveis. Em muitas das áreas amostradas por Gomes et al. (2011) e Bellé (2014), foram detectadas elevadas densidades populacionais para ambos os nematoides no RS, o que desperta atenção para o estabelecimento de estratégias de controle visando à redução de prejuízos futuros nessas áreas.

O emprego de nematicidas (AGROFIT, 2016) é a estratégia de controle mais utilizada em canaviais com problemas nematológicos no País, contribuindo para o aumento da produtividade da cana-de-açúcar (MOURA, 1995), principalmente por ocasião da colheita da cana-planta conforme Alonso et al. (1987), citado por Moura (2010). No entanto, o efeito desses produtos pode ser efêmero ou limitado (MOURA; MACEDO, 1997), além de representarem sérios riscos à saúde humana e ao meio ambiente (PEASE et al., 1995).

Trabalhos recentes com a adoção de produtos fungicidas à base de piraclostrobina, em áreas infestadas com *M. incognita*, têm evidenciado ganhos de produtividade agrícola pela indução de resistência em cana, podendo ser utilizados dentro das técnicas de manejo integrado para esses organismos (CHAVES et al., 2016b).

A rotação com culturas tais como amendoim, crotalárias, guandu, mucunas e labe-labe, podem ser consideradas no manejo dessas pragas, dependendo do nematoide alvo, durante o período de renovação dos canaviais (MOURA, 2010).

Dessa maneira, o número restrito de culturas/cultivares para utilização em esquemas de sucessão ou rotação de culturas se deve, principalmente, ao fato de existirem poucas espécies vegetais más hospedeiras de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* spp., uma vez que, na maioria dos casos, esses patógenos ocorrem simultaneamente na mesma lavoura. Somada a essa tática de manejo, a incorporação de resíduos orgânicos e o revolvimento do solo, seguidos por irrigação e pousio, parecem ser boas alternativas para as áreas infestadas, conforme sumarizações feitas por Chaves et al. (2016c).

A utilização de variedades resistentes às nematoses é a técnica mais desejada dentro do manejo integrado, porém, a resistência de plantas de cana-de-açúcar aos nematoides, bem como outras doenças, comumente é antagônica a fatores genéticos que contribuem para alta produtividade no campo e na indústria; além disso, a presença constante de populações mistas desses organismos no campo colabora dificultando a seleção de uma variedade que não sofra com os efeitos dos nematoides em canaviais. Embora ocorra essa dificuldade, estudos conduzidos por Chaves et al. (2007) mostraram que o emprego de SP81-3250 em áreas com síndrome do mau desenvolvimento da cana-de-açúcar em canaviais pernambucanos causados pela alta incidência de *M. hispanica* versus *Fusarium* spp. reduziu sensivelmente as perdas de produtividade agrícola decorrentes desse problema (CHAVES et al., 2007).

A dificuldade de surgirem genótipos comerciais com resistência a *M. incognita*, *M. javanica* e *P. zaei*, no mercado, constitui uma grande limitação (DINARDO-MIRANDA, 2005). Nesse sentido, a utilização de genótipos de cana associados a rizobactérias biocontroladoras e promotoras de crescimento (PACHECO et al., 2016) tem sido um dos objetivos dos projetos de melhoramento e manejo de pragas no consórcio Embrapa Clima Temperado e RIDESA visando à seleção de materiais adaptadas a região Sul do Brasil.

Doenças da Cana-de-açúcar

Elis D. Timm Simon

Mário Álvaro Aloísio Veríssimo

Adilson Härter

Bernardo Ueno

Na cana-de-açúcar já foram descritas 177 doenças (causadas por fungos, bactérias, vírus e fitoplasmas), das quais mais de 40 já foram relatadas no Brasil (SAGUINO, 1998; TOKESHI e RAGO, 2016). Dentre essas, as mais importantes no histórico da cultura canavieira no Brasil são: carvão da cana; escaldadura das folhas; raquitismo das soqueiras; mosaico; estria vermelha; mancha parda; ferrugem marrom; podridão vermelha; podridão abacaxi e ferrugem alaranjada (CANAVIALIS, 2010). Mais recentemente, a ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*) é considerada uma das doenças que mais ameaçam a cultura da cana-de-açúcar, tendo surgido no Brasil pela primeira vez em 2009. No início de 2010, se alastrou para plantações do Paraná, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo e Minas Gerais; porém, não há incidência dessa doença no Estado do Rio Grande do Sul.

A disseminação de doenças pode ocorrer principalmente pelo vento e pela chuva que transportam esporos dos fungos, por insetos vetores como pulgões e brocas, através de maquinários agrícolas e ferramentas utilizadas no corte/plantio e também pela utilização de

mudas doentes. Algumas doenças, como a estria vermelha, estão relacionadas a solos com alta fertilidade e desequilíbrio nutricional.

O controle de praticamente todas as doenças é realizado com uso de variedades resistentes. Outras medidas de controle são: uso de mudas sadias, tratamento térmico de mudas, escolha do local, época de plantio e manejo da época de colheita, adubação balanceada, controle de pragas como a broca da cana-de-açúcar e pulgões. Outra estratégia é a realização de *roguing* (eliminação de plantas doentes), para evitar a dispersão do agente causal para as plantas e áreas não afetadas. Em caso de doenças causadas por bactérias, recomenda-se a desinfestação de objetos de corte como facões e lâminas das colheitadeiras, a cada mudança de talhão com suspeita ou diagnóstico da doença.

Em estudos realizados no Rio Grande do Sul (RS), nos municípios de São Borja, São Luiz Gonzaga, Porto Xavier, Salto do Jacuí e Pelotas, na safra 2009/2010, com mais de 100 variedades “RB”, Veríssimo et al. (2010) verificaram que as doenças com ampla distribuição, ou seja, comum a vários locais, foram: mancha foliar (MF), mancha da bainha (MB) e mancha parda (MP), ferrugem marrom (FER) e estria vermelha (EV) (Tabela 1).

Tabela 1. Porcentagem de genótipos (clones e variedades) sintomáticos em relação às doenças da cana-de-açúcar, avaliadas por local na safra 2009/2010 (Verissimo et al., 2010).

Locais Doenças	SB*	SLG	PX	SJ	PEL	Média
	%					
Estrias Vermelhas (EV)	0	80	35	56	2	35
Carvão (CAR)	0	0	15	0	0	3
Escaldadura (ESC)	1	1	2	5	1	2
Mancha Foliar (MF)	-	-	-	16	30	23
Mancha da bainha (MB)	25	-	43	59	-	42

Em estudos realizados na Embrapa Clima Temperado, onde foram avaliados 200 genótipos crioulos de cana-de-açúcar, as doenças observadas na safra 2015/2016 foram: mancha parda (MP), ferrugem marrom (FER), mancha foliar (MF), escaldadura (ESC) e Pokkah Boeng (PK). No caso da MF, se refere às outras manchas que podem ser causadas por fungos e bactérias e o PK seria a podridão de meristema causado por *Fusarium* spp. Vale ressaltar que nessas inspeções não foi encontrada ferrugem alaranjada (*Puccinia kuehnii*).

De modo geral, para as condições ambientais do RS, as doenças com maior representatividade e que carecem de maior atenção são a ferrugem marrom (*Puccinia melanocephala*) e a mancha parda (*Cercospora longipes*), pela ampla distribuição e potencial de dano econômico, dependendo principalmente da suscetibilidade do genótipo e das condições ambientais, determinando assim o grau de severidade da doença. Essas doenças são de fácil identificação, visto que apresentam características distintas em relação à morfologia da lesão e fase da cultura.

A ocorrência da ferrugem marrom é mais intensa em temperaturas não muito elevadas e nas épocas de maior umidade relativa do ar e a maior suscetibilidade da cultura na primeira metade de seu ciclo vegetativo, especificamente entre dois e oito meses de idade. Já, para mancha parda, a maior incidência é observada na metade final do ciclo da cultura, onde nas condições do RS, a temperatura fica mais baixa, a umidade relativa do ar mais elevada e ao mesmo tempo há maior ocorrência de chuvas, favorecendo o desenvolvimento e disseminação desse fungo. As lesões da ferrugem marrom se caracterizam por pequenas manchas cloróticas nas folhas, alongadas, de coloração marrom, visíveis em ambas as faces da folha, com uma leve protuberância na parte abaxial da folha devido à formação de pústulas (urédias), sendo que as lesões medem de 1 mm a 10 mm de comprimento por 1 mm a 3 mm de largura, evoluindo rapidamente, adquirindo uma coloração marrom, rodeadas por um halo amarelo

pálido. Às vezes, pode ser confundida com a mancha parda, mas esta forma pequenas manchas de formato ovalado, cor vermelhas escuras, rodeadas por halos amarelados, não havendo a formação de pústulas na parte abaxial da folha.

A seguir (Tabela 3) são descritas as principais doenças da cana-de-açúcar, enfatizando, sinteticamente, sua sintomatologia, agente causal, formas de disseminação e controle, basicamente a partir de informações descritas por Tokeshi e Rago (2016). Na Figura 1 estão apresentadas as fotos com os sintomas das principais doenças que ocorrem na cana-de-açúcar.

As doenças são produto da interação patógeno-hospedeiro-ambiente, sendo que o ambiente – fator climático é determinante para que a epidemia de uma dada doença venha a ocorrer, assim seus efeitos podem variar de um local para outro, e, portanto, somente estudos e pesquisas específicas para cada condição ambiental é muito importante para determinar a importância de uma doença e a busca de métodos de controle mais adequados e eficientes.

Tabela 3. Principais doenças que afetam a cana-de-açúcar.

Doença	Agente causal	Formas de disseminação	Sintomas mais evidentes	Medidas de controle mais importantes
Escaldadura das folhas	Bactéria (<i>Xanthomonas albilineans</i>)	Mudas, corte	Fase Crônica: Estrias brancas, brotação lateral. Fase Aguda: queima das folhas (escaldadura) e posterior seca total das folhas.	Variedade resistente (VR), mudas saudias, tratamento térmico*
Estria vermelha	Bactéria (<i>Acidovorax avenae</i> subsp. <i>avenae</i>)	Mudas e vento	Estrias finas avermelhadas e longas de 5 cm a 60 cm na folha. Podridão do topo da planta, podendo se estender para o colmo.	VR, adubação balanceada
Falsa estria vermelha	Bactéria (<i>Xanthomonas</i> sp.)	Mudas e vento	Estrias finas (1 mm de largura) paralelas à nervura das folhas de coloração vermelha a amarelada que atingem o limbo foliar da ponta até o meio. Afeta somente folhas.	VR, evitar excesso de adubo e local úmido
Raquitismo das soqueiras	Bactéria (<i>Leifsonia xyli</i> subsp. <i>xyli</i>)	Mudas, corte	Entupimento dos vasos, encurtamento de entrenós, subdesenvolvimento dos colmos rebrotados da touceira depois da colheita.	VR, mudas saudias, tratamento térmico

Doença	Agente causal	Formas de disseminação	Sintomas mais evidentes	Medidas de controle mais importantes
Podridões de Fusarium	Fungo (<i>Fusarium</i> spp.)	Mudas	Clorose na base das folhas jovens, seguida por retorcimento das folhas afetadas, podridão do colmo e morte de várias plantas agrupadas (reboleira)	VR
Carvão	Fungo (<i>Ustilago scitaminea</i>)	Mudas e vento	Chicote coberto com uma fuligem preta, semelhante à poeira de carvão	VR, tratamento térmico,
Ferrugem marrom	Fungo (<i>Puccinia melanocephala</i>)	Vento e chuva	Manchas alongadas amareladas a marrom-escuras. Formação de pústulas de 2 a 7 mm x 1 mm na face inferior das folhas, podendo agrupar-se, formando áreas necróticas no tecido foliar	roqueing em viveiros
Ferrugem alaranjada	Fungo (<i>Puccinia kuehni</i>)	Vento e chuva	Mancha similar a ferrugem, mas de coloração mais alaranjadas e as pústulas são menores. A formação de necrose é mais intensa, principalmente nas bordas de folhas maduras	VR, manejo da colheita
Mancha Parda	Fungo (<i>Cercospora longipes</i>)	Vento e chuva	Manchas foliares de coloração marrom-avermelhada a marrom-escuro, de forma oval (elíptica) a linear, sempre paralela à nervura principal.	VR

Doença	Agente causal	Formas de disseminação	Sintomas mais evidentes	Medidas de controle mais importantes
Mancha anelar	Fungo (<i>Leptosphaeria sachari</i>)	Vento e chuva	Manchas necróticas irregulares no limbo foliar, com bordas mais escuras de cor marrom e centro mais claro cor palha	VR
Mancha ocular	Fungo (<i>Bipolaris sacchari</i>)	Vento e chuva	Manchas necróticas elípticas de cor marrom-avermelhadas	VR
Podridão vermelha	Fungo (<i>Glomerella tucumanensis</i>)	Broca e chuva	Podridão avermelhada da parte interna do colmo, riscas vermelhas transversais, muito associadas com o dano da broca <i>Diatraea saccharalis</i>	VR, evitar excesso de nitrogênio
Podridão abacaxi	Fungo (<i>Ceratocystis paradoxa</i>)	Corte e ferimentos	Podridão dos colmos de plantio com odor de abacaxi e formação de massa negra de esporos	
Mosaico	Vírus (SCMV)	Mudas e pulgões	Mosaico nas folhas	
Amarelinho	Vírus (ScYMV)	Mudas e pulgões	Amarelecimento da nervura central das folhas na face inferior, seguido do limbo foliar	

* Tratamento térmico: imersão de toletes de cana-de-açúcar para plantio a 52°C por 30 min.

Variedades de Cana-de-açúcar Recomendadas para o Rio Grande do Sul

Sérgio D. dos Anjos e Silva

Mário Álvaro Aloísio Veríssimo

Adison Härter

Cândida R. S. Montero

Edelclaiton Daros

Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa

Heroldo-Weber

João Carlos Besspalhok Filho

José Luis Camargo Zambon

Luis Cláudio Inácio da Silveira

Ricardo Augusto de Oliveira

Wildon Panziera

William R. Antunes

O Estado do Rio Grande do Sul apresenta as áreas mais ao sul do Brasil com cultivo de cana-de-açúcar. O estado apresenta potencial para ampliação da sua produção, tanto em área como em produtividade. Assim, a avaliação, identificação e recomendação de variedades promissoras de cana-de-açúcar adaptadas às condições edafoclimáticas do estado permitirão incremento significativo na produtividade, colheabilidade e rentabilidade para todos os integrantes do setor.

A recomendação das variedades abaixo se baseou em ensaios regionais de genótipos de cana-de-açúcar realizados em três safras nos anos de 2010, 2011 e 2012; cana de primeiro, segundo e terceiro cortes, totalizando 22 colheitas, em 09 locais do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Com base nessas avaliações foram indicadas nove variedades de cana-de-açúcar para o cultivo no Rio Grande do sul, sendo elas: RB855156, RB966928, RB946903, RB925345 e

RB965902, de maturação precoce; e RB867515, RB925268, RB935744 e RB845210, de maturação médio-tardia. Durante os ensaios estes materiais apresentaram alta a média produtividade agrícola, bom comportamento em condições de estresse por frio e estiagem, boa sanidade vegetal, elevada riqueza. Combinados e bem manejados, estes materiais permitem um longo período de utilização pela indústria.

Os genótipos de cana-de-açúcar avaliados foram introduzidos pela Embrapa Clima Temperado, desenvolvidos pela Ridesa (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético), disponibilizados pelo PMGCA/UFPR (Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar da Universidade Federal do Paraná) e avaliados com apoio dos parceiros do projeto “Desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar para o Estado do Rio Grande do Sul: foco na produção de etanol” (FINEP: 01.09.0390-00//ref.1723/08).

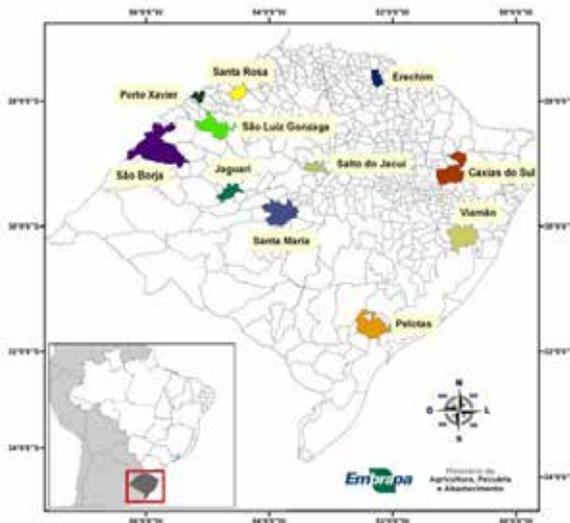


Figura 1. Locais de avaliação de genótipos de cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul.

Escolha de variedades

A escolha de variedades deve considerar os seguintes aspectos: adaptação às condições edafoclimáticas da região (boa tolerância ao frio e ao déficit hídrico), alta produtividade e qualidade, elevado teor de açúcar (sacarose), resistência às pragas e doenças e o ciclo. Plantar variedades que apresentem diferentes ciclos, ou seja, de maturação em épocas distintas, permitirá uma colheita em diferentes épocas. Desta forma, canas de ciclo precoce serão utilizadas mais cedo, desde o início de maio, e canas de ciclo médio a tardio, serão cortadas de agosto até novembro. A combinação de variedades com diferentes ciclos permite ter cana de boa qualidade durante todo o período de colheita.

As nove variedades abaixo descritas são opções de cultivo para o estado do RS. Dentre as quais cinco são de ciclo precoce: **RB855156**, **RB966928**, **RB946903**, **RB925345** e **RB965902**. E quatro de ciclo médio-tardio: **RB867515**, **RB925268**, **RB935744** e **RB845210**.

Além dessas nove variedades, outras três foram indicadas no ano de 2016: **RB036088** (RNC 36106); **RB987935** (RNC 36352) e **RB92579** (RNC 16552) .

Variedades de ciclo de maturação precoce

RB855156

(RNC – 02995)

Esta é a variedade que apresenta comportamento de maturação mais precoce a partir da segunda quinzena de abril (Figura 2 e Tabela 1). Além da precocidade, esta variedade se caracteriza por sua elevada riqueza, 20°Brix quando madura (Tabela 16), longo período útil de

industrialização (PUI) e produtividade agrícola de média a alta, acima de 90 toneladas de colmos por hectares. A sanidade vegetal desta variedade foi excelente para as condições avaliadas, e foi uma das melhores variedades quanto à reação ao estresse por frio. Pode apresentar tombamento devido ao seu hábito decumbente.

Fotos: Paulo Lanzetta



Figura 2. Variedade RB855156.

Tabela 1. Época de colheita da variedade RB855156.

Épocas de colheita						
Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out

RB966928

(RNC – 27397)

Apresenta excelente germinação em cana planta, brotação em soqueiras muito boa, alto perfilhamento em cana planta e em cana soca. Esta variedade apresenta elevada produtividade agrícola (>90TCH) com estabilidade de produção (Figura 3 e Tabela 16). Adaptável aos diferentes ambientes de produção e boa qualidade para a colheita em início e meio de safra, com elevada riqueza (>20°Brix). Elevada sanidade quanto às principais doenças da cana-de-açúcar. Bom comportamento sob condições de estresse por frio.

**Figura 3.** Variedade RB966928.**Tabela 2.** Época de colheita da variedade RB966928.

Épocas de colheita						
Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out

RB946903

(RNC – 27399)

Variedade de média a alta produtividade agrícola (próxima a 100TCH) com exigência a determinados ambientes de produção (Figura 4 e Tabela 16). Plantar em ambientes de médio a alto potencial. Pode apresentar alta severidade à mancha-parda (*Cercospora longipes*) em determinados ambientes. Possui comportamento regular em condição de estresse por frio.



Figura 4. Variedade RB946903.

Tabela 3. Época de colheita da variedade RB946903.

Épocas de colheita						
Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out

RB925345

(RNC – 21471)

Esta variedade merece destaque para o longo PUI, mesmo em anos com estresse por frio e estiagem mais severo (Figura 5). Possui elevada produtividade agrícola com alta estabilidade de toneladas de colmo por hectare (TCH), crescimento rápido e hábito ereto. Em relação à suscetibilidade a doenças, apresenta suscetibilidade ao carvão (*Sporisorium scitamineum*), especialmente em ambientes desfavoráveis e moderada suscetibilidade a estrias vermelhas (*Acidovorax avenae* subsp. *avenae*) em ambiente de alta fertilidade. Quanto ao seu desempenho esta variedade apresenta produtividade média acima de 100TCH e Brix maior que 20 na colheita. A maior produtividade de colmos por hectare, aliada à elevada riqueza, resultou em altos valores TBH (20TBH na média de três cortes) (Tabela 16).

**Figura 5.** Variedade RB925345.**Tabela 4.** Época de colheita da variedade RB925345.

Épocas de colheita						
Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out

RB965902

(RNC – 28196)

Variedade caracterizada por sua excelente brotação e alto perfilhamento, média a alta produtividade (94TCH) e riqueza (19°Brix), com adaptação específica a determinados ambientes (Tabela 16, Figura 6). Elevada sanidade vegetal e comportamento mediano em condições de estiagem e frio.



Figura 6. Variedade RB965902.

Tabela 5. Época de colheita da variedade RB965902.

Épocas de colheita						
Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out

RB036088
(RNC 36106)

A variedade RB036088 foi indicada no ano de 2016 para o cultivo no RS. Essa variedade foi selecionada pela UFPR-RIDESA; apresenta elevada sanidade e estabilidade de produção, é uma cana rica com comportamento de ciclo precoce no RS, com boa tolerância ao frio (Tabela 7).



Figura 7. Variedade RB036088

Tabela 6. Época de colheita da variedade RB036088

Épocas de colheita						
Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out

Tabela 7. Tonelada de colmos por hectare (TCH) e Sólidos Solúveis totais (°Brix) da variedade RB036088 e da testemunha RB966928, média de 6 ambientes em quatro safras (2012/13, 2013/14, 2015/16 e 2016/17).

GENÓTIPO	TCH	BRIX
RB036088	101,8	20,2*
RB966928	116,7	20,3

*Dados de 6 colheitas.

Variedades de ciclo de maturação médio-tardio

RB867515

(RNC – 06471)

Variedade rústica com destaque na safra 2011/2012, de crescimento rápido e resistência à estiagem (Figura 8). Apresenta vantagem comparativa em solos pobres. Sanidade vegetal média, pois apresenta suscetibilidade à estria vermelha. Colheita para meio a final de safra.

Quanto à produtividade de colmos por hectare, essa variedade apresenta aproximadamente 100 toneladas, e quanto à riqueza atinge 18,5 °Brix quando madura (Tabela 17).



Figura 8. Variedade RB867515.

Tabela 8. Época de colheita da variedade RB67515.

Épocas de colheita						
Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out

RB925268

(RNC – 21470)

Essa variedade apresenta alta produtividade, porém com exigência climática e edáfica. Boa qualidade tecnológica em função do ano, visto que apresenta baixa tolerância ao frio. Apresenta também despalha natural, favorecendo a produção de cachaça (Figura 9). Apresentou baixa incidência de carvão (*Ustilago scitaminea*) em um local, e boa sanidade quanto às demais doenças.

Apresenta alta produtividade de colmos por hectare, acima de 100 toneladas e riqueza moderada, com 17,9 °Brix em média (Tabela 17).



Figura 9. Variedade RB925268.

Tabela 9. Época de colheita da variedade RB925268.

Épocas de colheita						
Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out

RB935744

(RNC – 21469)

Esta variedade destaca-se por apresentar crescimento rápido, alta produtividade, acima de 100TCH na média dos três cortes, e bom comportamento em condição de estresse por frio e déficit hídrico. Variedade com o menor acúmulo de sacarose dentre as tardias, adequada para colheita em final de safra. Boa sanidade vegetal (Figura 10 e Tabela 17).



Figura 10. Variedade RB935744.

Tabela 10. Época de colheita da variedade RB935744.

Épocas de colheita						
Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out

RB845210

Esta variedade apresenta boa produtividade em soqueiras, com adaptação específica a determinados ambientes. A brotação em cana planta e o fechamento das entrelinhas são fracos, mas há recuperação nos cultivos de socas. É adequada para colheita em meio e final de safra (Tabela 11). Apresenta boa sanidade vegetal (Figura 11), produtividade alta acima de 100 TCH na média de três cortes, e boa riqueza apresentando 19°Brix em média (Tabela 17).



Figura 11. Variedade RB845210.

Tabela 11. Época de colheita da variedade RB845210.

Épocas de colheita						
Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out

RB987935
(RNC 36352)

A variedade RB987935 foi selecionada pela UFV, e testada no RS por 10 anos. Apresenta ciclo médio tardio de alta produtividade, similar a variedade RB867515, com média tolerância ao frio (Tabela 12).

Apresenta excelente sanidade, brotação e perfilhamento com ampla adaptabilidade e estabilidade.



Figura 12. Variedade RB987935

Tabela 12. Tonelada de colmos por hectare (TCH) e Sólidos Solúveis totais (°Brix) da variedade RB987935 e da testemunha RB867515, média de 16 ambientes em cinco safras (2010/11, 2011/12, 2012/13, 2013/14, 2014/15).

GENÓTIPO	TCH	BRIX
RB987935	125,6	18,9*
RB867515	132,7	18,1

* Dados de 16 colheitas.

Tabela 13. Época de colheita da variedade RB987935.

Épocas de colheita						
Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out

RB92579

(RNC 16552)

A variedade RB92579 foi selecionada em Maceió pelo programa de melhoramento de cana da UFAL-RIDESA; é um material que tem adaptação no Brasil inteiro, sendo que no RS se destaca pelo número de perfilhos e é uma das variedades de ciclo médio com maior tolerância ao frio. Apresenta despalha difícil e ausência de joçal.

**Figura 13.** Variedade RB92579

Tabela 14. Tonelada de colmos por hectare (TCH) e Sólidos Solúveis totais (°Brix) da variedade RB92579 e da testemunha RB867515, média de 9 ambientes em duas safras (2012/13 e 2013/14).

GENÓTIPO	TCH	BRIX
RB92579	130,3	18,3*
RB867515	119,1	18,5

*Dados de 9 colheitas.

Tabela 15. Época de colheita da variedade RB92579

Épocas de colheita						
Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out

Tabela 16. Toneladas de colmos por hectare (TCH), graus brix (BRIX) e toneladas de brix por hectare (TBH) das variedades de cana-de-açúcar de ciclo precoce recomendadas para o Rio Grande do Sul, avaliados em três safras, cana planta e primeira e segunda soca em nove locais.

TONELADAS DE COLMOS POR HECTARE (TCH)					
Corte/ Variedade	Variedades ciclo precoce				
	RB855156	RB966928	RB946903	RB925345	RB965902
1	119,56	107,97	124,25	130,16	117,87
2	83,90	97,00	90,62	90,35	84,15
3	76,02	77,00	77,26	89,45	80,78
média	93,16	93,99	97,38	103,32	94,27
GRAUS BRIX (°BRIX)					
Corte/ Variedade	Variedades ciclo precoce				
	RB855156	RB966928	RB946903	RB925345	RB965902
1	20,98	20,58	19,36	21,01	20,24
2	19,27	20,08	18,01	19,24	18,50
3	20,04	20,37	18,68	20,11	18,98
média	20,10	20,34	18,68	20,12	19,24
TONELADAS DE BRIX POR HECTARES (TBH)					
Corte/ Variedade	Variedades ciclo precoce				
	RB855156	RB966928	RB946903	RB925345	RB965902
1	24,85	22,19	23,86	27,36	23,63
2	16,15	19,33	16,31	17,44	15,16
3	15,30	15,68	14,58	17,99	15,23
média	18,77	19,07	18,25	20,93	18,01

Tabela 17. Toneladas de colmos por hectare (TCH), graus brix (BRIX) e toneladas de brix por hectare (TBH) das variedades de cana-de-açúcar de ciclo tardio recomendadas para o Rio Grande do Sul, avaliados em três safras, cana planta e primeira e segunda soca em nove locais.

TONELADAS DE COLMOS POR HECTARE (TCH)				
Corte/ Variedade	Variedades ciclo médio-tardio			
	RB867515	RB925268	RB935744	RB845210
1	114,48	118,59	137,89	120,52
2	100,01	103,68	108,24	91,24
3	85,23	85,84	81,59	71,97
média	99,91	102,70	109,24	94,58
GRAUS BRIX (°BRIX)				
Corte/ Variedade	Variedades ciclo médio-tardio			
	RB867515	RB925268	RB935744	RB845210
1	19,44	19,28	18,59	19,77
2	17,61	17,35	17,29	18,30
3	18,29	17,09	16,85	19,40
média	18,45	17,91	17,58	19,16
TONELADAS DE BRIX POR HECTARES (TBH)				
Corte/ Variedade	Variedades ciclo médio-tardio			
	RB867515	RB925268	RB935744	RB845210
1	22,02	22,65	25,23	23,44
2	17,46	17,79	18,38	16,31
3	15,80	14,81	13,49	13,97
média	18,43	18,42	19,03	17,91

Produção de Mudanças

Sérgio D. dos Anjos e Silva

Cândida R. S. Montero

Francis Radael Tatto

Elis D. Timm Simon

William R. Antunes

Edenara De Marco

Ester Schiavon Matoso

Mariana Teixeira da Silva

Lorena Pastorini Donini

Luize Silva Marcarenhas

Sandro José Giacomini

Veronica Massena Reis

Produção de mudas a partir de minitoletes

Alternativamente ao sistema de plantio convencional, em que a cana é plantada por meio de toletes contendo duas a três gemas no sulco de plantio, o sistema de produção de mudas via minitoletes consiste na produção de mudas a partir de uma única gema.

Os principais passos para obter mudas via minitoletes são:

1. Coleta dos colmos
2. Preparo dos minitoletes
3. Plantio
4. Brotação e crescimento
5. Aclimação
6. Transplante

Algumas orientações importantes relacionadas a cada uma dessas etapas serão descritas abaixo.

Na coleta dos colmos para produção das mudas deve-se levar em conta a maturação da cana-de-açúcar, ou seja, a cana deve estar madura com pelo menos 10 meses de cultivo. Após a coleta é necessário realizar a limpeza dos colmos removendo as folhas dos mesmos (Figura 1a). O corte dos colmos pode ser realizado com uma guilhotina (Figura 1b), tesoura de poda ou ainda com um facão. Os minitoletes devem ter aproximadamente 3 cm (Figura 1c), medida importante tendo em vista o diâmetro do tubete ou recipiente que será utilizado na produção de mudas. Durante o corte e a limpeza dos colmos é importante evitar danos às gemas e remover parte do limbo que cobre a gema para facilitar sua emergência.

Na etapa de plantio dos minitoletes faz-se uma seleção, descartando aqueles que contêm gemas mortas ou danificadas. Para o plantio são necessários: substrato e recipientes para o cultivo. A Embrapa adota tubetes de 13 cm de altura e 5 cm de diâmetro (Figura 1d e 1g). No entanto, o produtor pode adaptar essa metodologia utilizando copinhos plásticos desde que faça orifícios na base dos mesmos.

Para o plantio, deve-se preencher o tubete ou copinho com substrato até um pouco mais da metade, deixando um espaço vazio de aproximadamente dois dedos ou 3,5 cm sem substrato, espaço destinado a colocar os minitoletes e posteriormente tapar com substrato. Os minitoletes devem ser posicionados no tubete com a gema exposta virada para cima (Figuras 1 d). Mais informações sobre os substratos estão disponíveis na próxima seção.

Após cobrir os minitoletes, é importante manter a umidade do substrato, que pode ser obtida através do sistema de floating (Figura 8 g). A brotação inicia entre 7 e 10 dias após o plantio, dependendo da variedade e maturidade da cana (Figura 1 e). Em condições

controladas, 25° a 30°C e em sistema floating, as mudas estarão prontas em 40 a 50 dias (Figuras 1h e i).

Antes do transplante as mudas precisam ser aclimatadas por pelo menos 10 dias (Figuras 1 i). Próximo ao transplante deve-se proceder ao corte das folhas com cuidado para não cortar o meristema apical (Figura 1j).

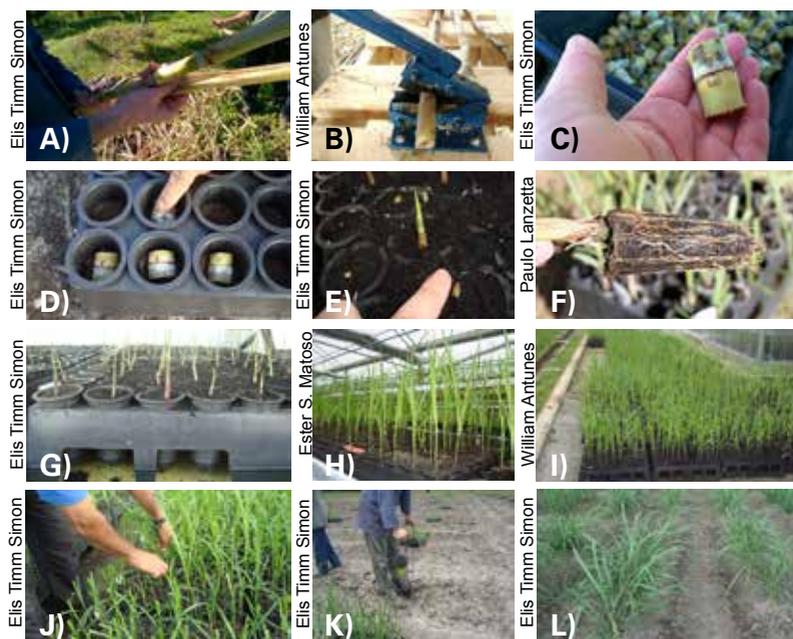


Figura 1. Limpeza dos colmos de cana (a), corte dos minitoletes com guilhotina (b), minitoletes com 3 cm (c), posicionamento do minitolete no tubete (d), brotação (e), enraizamento (f), sistema floating (g), mudas com 30 dias em ambiente controlado (h), aclimação (i), corte antes do transplante (j) e plantio (k e l).

O sistema de mudas via minitoletes apresenta algumas vantagens em relação ao plantio convencional. A principal vantagem refere-se ao menor volume de material de cana necessário para multiplicação,

o que implica em sobra de cana para o uso final do agricultor, bem como possibilidade de aumentar suas áreas quando há pouco material de cana disponível.

Comparativamente, o sistema convencional de plantio necessita de 12 a 18 gemas por metro linear, enquanto que para o sistema de mudas via minitoletes a recomendação de plantio é de 2 a 3 mudas por metro linear, aproximadamente 9 vezes menos material utilizado para obtenção de uma área similar.

Além de economizar material e carregar menos peso para o campo no momento do plantio, o sistema de mudas via minitoletes também confere maior uniformidade ao canavial com menos falhas nas linhas de plantio, e permite melhor controle de plantas daninhas nas fases iniciais.

Substratos

O substrato tem importante papel na propagação de espécies, seja por via vegetativa ou de sementes, sendo responsável por receber o propágulo e por seu desenvolvimento. As características físicas e químicas, custo e disponibilidade dos substratos devem ser associados à espécie plantada, a fim de garantir melhores resultados econômicos e produtivos. É de extrema importância que o substrato esteja disponível e em quantidade suficiente para o produtor.

Existem substratos comerciais de boa qualidade empregados nessa atividade; porém, com preço elevado. A utilização de resíduos na composição de substratos é uma alternativa para diminuir o valor e reaproveitar os resíduos disponíveis. Pois, além dos benefícios no suporte para o desenvolvimento das plantas, o impacto ambiental causado pela má disposição desses resíduos é diminuído. A casca de arroz carbonizada é facilmente encontrada na região Sul, haja vista a abundante produção da cultura. Esse material se destaca devido

ao baixo custo, ausência de contaminantes, fácil manuseio e grande capacidade de drenagem, que quando associada a outros materiais garante boas características ao substrato.

A realização da compostagem também é uma alternativa para uso como substrato, pois a partir do aproveitamento de resíduos, os agricultores estarão agregando renda. Os materiais orgânicos têm origem em resíduos vegetais, sujeitos à decomposição e, por isso, são mais ou menos quimicamente ativos, podendo adsorver nutrientes do meio ou liberá-los a eles. A associação dos compostos com torta de tungue, um resíduo agroenergético que também gera impactos ambientais, melhora a liberação de nutrientes para as plantas.

A formação de mudas de cana-de-açúcar de boa qualidade envolve os processos de brotação de gemas, iniciação radicular e formação do sistema radicular e parte aérea, que estão diretamente relacionados com características que definem o nível de eficiência dos substratos, tais como: aeração, drenagem, retenção de água e disponibilidade balanceada de nutrientes. A combinação de casca de arroz carbonizada com compostos orgânicos proporciona macroporosidade, que está correlacionada com aeração e drenagem. Já, a mistura desses com torta de tungue disponibiliza o teor ideal de nutrientes para o crescimento e desenvolvimento inicial de mudas. O mais importante na análise de um substrato não é saber do que ele é composto, mas sim as características que ele apresenta.

Um fator que afere na boa brotação da cana-de-açúcar por minitoletes é a escolha de gemas viáveis e um substrato com boa capacidade de retenção, que mantenha o tolete hidratado; este segundo fator se dá através de matérias que confirmam esse potencial, como a cinza de casca de arroz, para a qual cada 1 g absorve 2,3 g de água, e a vermiculita, que é de fácil aquisição com baixo custo e para a qual cada 1 g é capaz de absorver 2,4 g de água. No entanto, esses componentes devem ser administrados como misturas a demais

materiais para haver agregação do substrato nas raízes e as mesmas serem transferidas a campo com um bom enovelamento.

Estudos realizados comprovam que as misturas de alguns materiais, quando comparadas a um substrato comercial (Turfa Fértil), são melhores em relação à densidade volumétrica, porosidade e capacidade de retenção hídrica, devido à presença de casca de arroz carbonizada, e as características químicas, como pH e teor de nutrientes, são determinadas pelos compostos orgânicos e torta de tungue.

A fim de testar o desenvolvimento inicial de mudas via minitoletes de cana-de-açúcar em substratos produzidos com resíduo agroenergético (torta de tungue) utilizou-se substratos produzidos a partir da mistura de composto orgânico, casca de arroz carbonizada e torta de tungue e para comparação substrato comercial Turfa Fértil. Para testar a eficiência dos substratos utilizaram-se dois genótipos de cana-de-açúcar: RB867515 (maturação médio-tardia) e RB975932 (maturação precoce).

O substrato com 50% Composto Orgânico + 45% Casca de Arroz Carbonizada + 5% Torta de Tungue apresentou maiores valores para as variáveis altura e matéria da parte aérea fresca, demonstrando boa adaptação dos genótipos a esse substrato. Para a variável matéria da parte aérea seca, no substrato 30% Composto Orgânico + 65% Casca de Arroz Carbonizada + 5% Torta de Tungue, o genótipo RB867515 obteve maiores valores. Portanto, tendo em vista a substituição do substrato comercial, a fim de diminuir custos na produção das mudas, e reaproveitar resíduos agroindustriais, o substrato 50% Composto Orgânico + 45% Casca de Arroz Carbonizada + 5% Torta de Tungue apresentou os melhores resultados para as variáveis analisadas no desenvolvimento inicial das mudas via minitoletes de cana-de-açúcar.

Portanto, substratos desenvolvidos a partir da utilização de resíduos agroindustriais, domésticos e agropecuários podem substituir o uso

de substrato comercial na produção de mudas via minitoletes de cana-de-açúcar, diminuindo o custo de produção e proporcionando resultados satisfatórios.

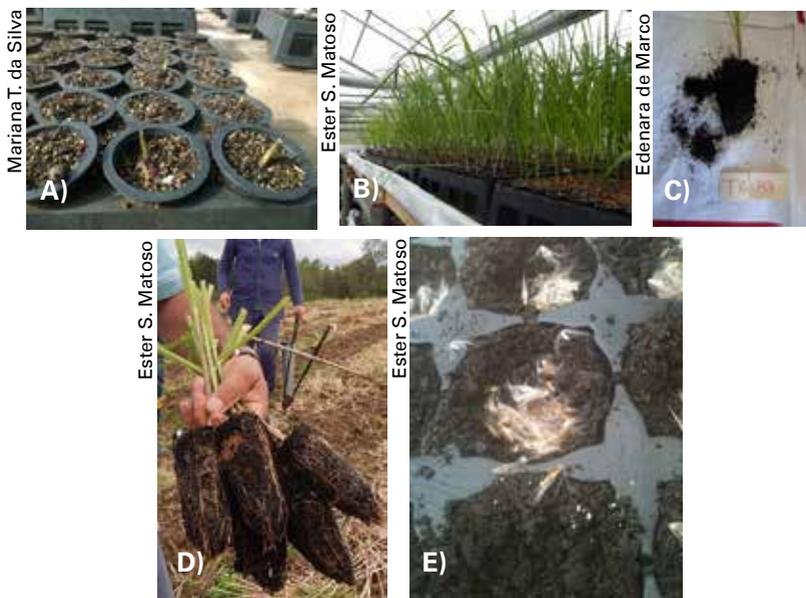


Figura 2. Brotação das gemas em substrato formulado com composto, vermiculita e cinza de casca de arroz(a); produção de mudas via minitoletes de cana-de-açúcar em diferentes substratos sob ambiente protegido (b); raiz de muda de cana-de-açúcar produzida em substrato comercial (c); raízes de mudas de cana-de-açúcar produzidas em substrato contendo casca de arroz carbonizada e composto orgânico (d); e propagação de sementes de cana-de-açúcar em substrato (e).

Lodo de esgoto como substrato

Os substratos podem ser confeccionados a partir de diferentes matérias-primas; sejam elas de origem mineral, orgânica ou sintética, de um só material ou diversos materiais em misturas. Diversas

pesquisas têm estudado diferentes composições de substratos para a produção de mudas. No caso do Rio Grande do Sul, assim como no restante do País, existem fontes orgânicas com potencial de aproveitamento, como os coprodutos das cadeias produtivas do arroz, tanto a casca de arroz carbonizada, quanto a cinza de casca de arroz; e os resíduos gerados no tratamento de água e esgoto, que em diversos países vêm sendo utilizado como insumo agrícola.

O lodo de esgoto ou biossólido é rico em nutrientes e matéria orgânica, que ao ser tratado e quando estiver em base seca pode ser coletado e utilizado na agricultura, desde que respeitados os parâmetros de qualidade ambiental, de acordo com análises químicas de patogenicidade e elementos-traço.

No Brasil, desde 2006 existe uma legislação que discorre sobre o uso agrícola do lodo – CONAMA 375 de 2006, a qual incumbe os requisitos mínimos sanitários, as formas de aplicação, as culturas permissíveis, as restrições locacionais e a aptidão do solo em áreas de aplicação, e as condições de uso. No Rio Grande do Sul, não há normativa específica que estabeleça a utilização agrícola do lodo de esgoto. Porém, pesquisas estão sendo realizadas para que, em futuro próximo, os resíduos de saneamento no estado possam estar ao alcance do produtor rural para ser utilizado como insumo, seja para fins de adubação com seu potencial nutricional, seja para incorporação em formulação de substratos para diversas culturas, inclusive a cana-de-açúcar.

Esse resíduo contempla na sua composição, elementos benéficos necessários para o desenvolvimento e produção de diversas espécies vegetais, em função da concentração de nutrientes contidos no lodo e, entre outras características de interesse, tem potencial de utilização como matéria-prima para produção de substratos, como a caracterização da Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química e patogênica do lodo de esgoto da estação de tratamento de esgoto de Rio Grande. Pelotas/RS, 2015.

pH	NUTRIENTES						ELEMENTOS-TRAÇO				PATÓGENOS		
	MO	N	P	K	Ca	Mg	Ni	Cu	Pb	Zn	Col.	Salm.	Ovos
H ₂ O	----- % -----						----- mg Kg ⁻¹ -----						
5,6	8,4	4,5	1,	0,3	2,8	0,4	18,	13,	<1,	12,	<1,8	AUS.	<0,2
	2	2	5	6	1	6	5	2	0	2			5

Fonte de dados: Mariana Teixeira da Silva (Col. = coliformes; Salm. = *Salmonella* sp.).

Como observado na Tabela 1, os níveis de elementos traços e patógenos são toleráveis, e permissíveis de utilização conforme os limites da resolução nacional, apresentando ausência de *Salmonella* sp. e teor nutricional elevado. Com relação ao potencial hidrogeniônico (pH), sabe-se que o pH adequado para o desenvolvimento da cana-de-açúcar é 6,0, no entanto o lodo encontra-se na faixa ideal para produção de substratos, cujos valores tidos como ideais situam-se na faixa de 5,5 a 6,5. O valor de pH é o critério químico de maior importância para o desenvolvimento das plantas, para isso deve-se atentar a esse fator no momento de formular os substratos.

Com relação aos atributos físicos, a matéria orgânica presente no lodo de esgoto influi positivamente na melhora do estado de agregação das partículas, proporcionando aumento na porosidade total, diminuição da densidade do substrato pelo aumento de aeração, e aumento da capacidade de retenção de água, que é afetada pelo número e distribuição dos poros e pela superfície específica.



Figura 3. Mudanças via minitoletes de cana-de-açúcar aos 50 dias com substrato formulado à base de lodo de esgoto.

Através de pesquisas com o uso de resíduos de estações de tratamento de esgoto como componente de substratos para produção de mudas, conclui-se que tem se mostrado uma alternativa viável com segurança sanitária e ambiental, refletindo em economia de insumos ao agricultor e benefícios ambientais através da reciclagem agrícola do lodo de esgoto.

Interação entre a inoculação de bactérias diazotróficas e o substrato escolhido para a produção de mudas

O maior desafio encontrado na produção de um inoculante para a cana-de-açúcar está no veículo utilizado, que é o componente que permite a sobrevivência das bactérias vivas por um período que inclua desde o transporte até a sua aplicação.

Geralmente as estirpes são mantidas em turfa, que é o substrato sólido mais utilizado para veiculação dessas bactérias. No entanto, a

turfa não reúne as características desejáveis para tal fim, uma vez que, o meio deve ser atóxico, biodegradável, de fácil obtenção e manuseio, de reduzido impacto ambiental e de baixo custo, sem necessidade de condições especiais de armazenamento e transporte.

Diante da utilização de resíduos na elaboração de substratos alternativos para a produção de mudas de cana-de-açúcar e do desafio na sobrevivência das bactérias nos veículos testados, se fez necessário observar o tempo em que as estirpes selecionadas como inoculantes, permanecem vivas nos materiais usados na composição de substratos.

Um trabalho foi desenvolvido com o objetivo de testar a sobrevivência das bactérias diazotróficas em diferentes substratos para plantio, sendo eles resultantes da combinação de casca de arroz carbonizada com composto orgânico, em cinco diferentes concentrações e um substrato comercial à base de turfa. O substrato contendo apenas casca de arroz carbonizada é o que melhor mantém a presença de bactérias diazotróficas, isso porque a capacidade de retenção de água do material influencia diretamente a sobrevivência dos microrganismos. E após cerca de 20 dias da inoculação, a população das bactérias inoculadas reduziu drasticamente, apontando que já não é um bom momento para plantio de mudas em nenhum dos substratos.

Esse resultado é extremamente positivo, uma vez que, o Rio Grande do Sul responde por cerca de 70% da produção de arroz no País e gera um volume grande de resíduos após o processamento do cereal. A casca de arroz já vem sendo utilizada na produção de mudas, uma vez que características como a porosidade que esse material proporciona a um substrato permitem um bom desenvolvimento inicial das plantas, como brotação e estruturação das raízes.

Micropropagação de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar sempre teve grande importância econômica para a agricultura no Brasil e agora mais ainda graças à utilização do etanol em escala mundial. Devido a isso, atualmente novas variedades estão sendo desenvolvidas e sua disponibilização tem sido acelerada por meio da biotecnologia, através da micropropagação.

A recomendação técnica no cultivo de cana-de-açúcar sugere que 20% do canavial sejam renovados anualmente, para otimização do seu rendimento. Isso significa que 1,8 milhões de ha devem ser renovados, e conseqüentemente gerando uma demanda de 30 milhões de mudas/ano. Um dos gargalos da cadeia de produção sucroalcooleira é a disponibilidade de mudas de alta qualidade genética e fitossanitária, alto rendimento a campo e resistentes a pragas e doenças.

A propagação *in vitro* de plantas torna-se uma importante ferramenta que oferece vantagens em relação aos outros métodos comumente empregados, dentre elas a propagação de um grande número de plantas em pequeno espaço físico e em um curto espaço de tempo, uniformidade e padronização do lote (mudas idênticas geneticamente), desenvolvimento uniforme, possibilitando a programação do plantio e da colheita. Além disso, as plantas obtidas são livres de pragas e de doenças, garantindo a melhor qualidade da muda, resultando em aumento de produtividade e qualidade do produto.

A técnica de propagação dessa espécie por meio de meristema apical é considerada uma alternativa vantajosa para a multiplicação de diversas variedades, devido à economia de tempo em relação às técnicas convencionais, além da obtenção de mudas de excelente qualidade fitossanitária e geneticamente idênticas ao material que lhes deu origem.

Para a micropropagação de cana-de-açúcar, o explante inicial a ser utilizado é o meristema apical, que depois de isolado e inoculado em meio de cultura apropriado, se desenvolve dando origem às plântulas que serão então multiplicadas, enraizadas e aclimatizadas.

De plantas-mãe conduzidas a campo, são coletados colmos e destes retirados os palmitos com aproximadamente cinco centímetros de comprimento, os quais são submetidos a desinfestação, visando eliminar fungos e bactérias presentes no material. Após isso, em ambiente asséptico, são extraídos os meristemas e inoculados em meio de cultura adicionado de hormônios próprios para multiplicação do material.

Fotos: Ester Schiavon Matoso



Figura 4. Extração e inoculação do meristema apical em tubo de ensaio com meio de cultura.

Cerca de 30-35 dias após o estabelecimento, o material já está em fase de multiplicação, sendo repicado (separadas e individualizadas as brotações) para novo meio de cultura para multiplicação. Esse processo é repetido por seis vezes a cada 25-30 dias, obtendo-se material em quantidades suficientes para enraizamento, que é realizado em meio de cultura adicionado de hormônios que dão condições às plantas de emitirem raízes, que posteriormente serão aclimatizadas e enviadas para o plantio definitivo no campo.



Fotos: Ester Schiavon Matoso

Figura 5. Variedade de cana-de-açúcar RB867515 em fase de multiplicação in vitro.

Essa técnica apresenta várias vantagens, como as citadas anteriormente, principalmente pela quantidade de material obtido no final do processo, além da qualidade fitossanitária desse.

As variedades RB867515 e RB966928, hoje bastante difundidas no Rio Grande do Sul, apresentam resultados satisfatórios na multiplicação in vitro. Suas taxas de multiplicação são variáveis conforme o subcultivo, mas a partir de um único meristema se pode obter mais de 5 mil explantes ao final de 120 dias.

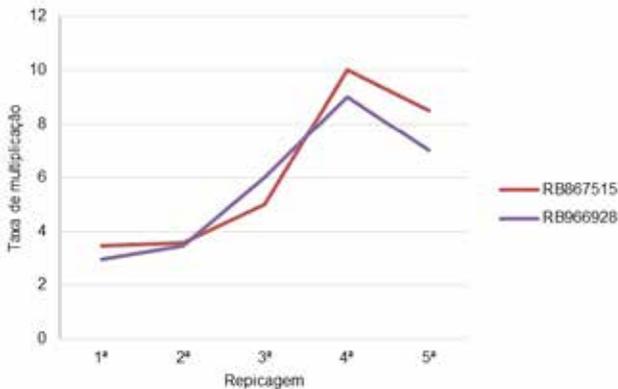


Figura 6. Gráfico da taxa de multiplicação das variedades RB867515 e RB966928 ao longo de cinco repicagens.

Além da técnica convencional, o uso de biorreatores de imersão temporária (BIT) na fase de multiplicação e enraizamento, vem apresentando bons resultados na produção em larga escala do material.

Fotos: Ester Schiavon Matoso.



Figura 7. Multiplicação de cana-de-açúcar em BIT com iluminação de LED.

Estes equipamentos associados à iluminação de LED podem aumentar em até 50% a multiplicação de cana-de-açúcar. Isso porque luzes fluorescentes promovem o alongamento das mudas, e com a utilização de luzes nas faixas do vermelho e azul, o crescimento é inibido e a planta emite mais brotações laterais.

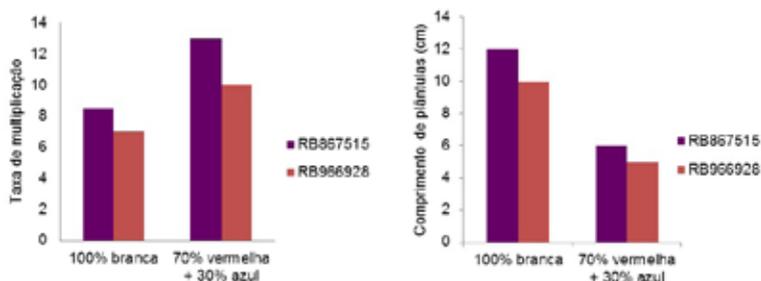


Figura 8. Gráficos da taxa de multiplicação (a) e comprimento de plântulas (b) das variedades RB867515 e RB966928 sob duas condições de luz.

Fixação biológica de nitrogênio

Para a cana-de-açúcar, não diferente das demais culturas, o nitrogênio é necessário em grandes quantidades e o seu fornecimento ajuda a maximizar a produção de massa seca e a produtividade. No entanto, a produção de fertilizantes nitrogenados requer um enorme gasto de energia, pois o nutriente é fixado da atmosfera de forma industrial. Esse processo, quando desenvolvido por microrganismos associados às plantas, chama-se fixação biológica de nitrogênio (FBN) e tem sido amplamente estudado na cultura.

A associação mais conhecida é a da cultura da soja com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*. As bactérias quando em contato com as raízes da soja, infectam as raízes, via pelos radiculares, formando nódulos. A FBN é a principal fonte de N na cultura e pode, dependendo de sua eficiência, fornecer toda a quantidade do nutriente de que a soja necessita.

Já na cana-de-açúcar, a inoculação de bactérias diazotróficas, assim como a adubação nitrogenada, responde diferentemente ao genótipo da planta, ao tipo de solo e ao ambiente. E para que esta tecnologia com microrganismos contribua de forma efetiva nos ganhos de produtividade dos canaviais brasileiros, com redução das adubações nitrogenadas, precisamos conhecer estas diferenças.

Inoculante

Estirpes pertencentes às espécies *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, *Azospirillum amazonense* e *Burkholderia tropica*, atualmente denominada *Paraburkholderia tropica*, são testadas como inoculantes pela Embrapa Agrobiologia.

Geralmente a veiculação das bactérias é feita em meio sólido, à base de turfa, mas pode ser em meio líquido ou também outras formulações. O mais importante é que material mantenha a sobrevivência dos microrganismos até a sua aplicação na cultura, devendo ter a população mínima de 1×10^8 células/g ou mL de inoculantes.



Foto: Ester Schiavon Matoso

Figura 9. Inoculantes à base de turfa para uso na cana-de-açúcar.

Como proceder à inoculação

A inoculação pode ser feita a campo diretamente em cana-planta e também em cana-soca. Mas diante da crescente adesão aos sistemas de produção de mudas de cana-de-açúcar, para mudas via minitoletes indica-se que a inoculação seja feita nos minitoletes, antecipando o plantio deles no substrato para a brotação. Os inoculantes são embalados separadamente, conforme a espécie de bactéria, mas devem ser diluídos juntos, em 50L de água. Em seguida os toletes devem ser imersos nesta solução bacteriana, onde permanecem por cerca de 30 minutos.



Foto: Ester Schiavon Matoso

Figura 10. Preparo da solução bacteriana para inoculação dos minitoletes de cana-de-açúcar.

No cultivo *in vitro*, entretanto, a inoculação é feita na fase de enraizamento do material de propagação, ainda em condições de laboratório. A diluição das bactérias é feita no meio MS modificado, próprio para enraizamento, em forma líquida e sem adições de hormônios nem ácido cítrico. Os explantes de cana-de-açúcar são alocados em frascos contendo meio semissólido ou em garrafas com meio líquido para enraizamento em biorreator de imersão temporária. A quantidade de inóculo indicada é cerca de 100 microlitros a cada 50 mL de meio.

Respostas à inoculação em variedades indicadas para o RS

Para verificar a eficiência do processo de inoculação foram realizados diversos trabalhos, onde foram observadas características de brotação, crescimento e desenvolvimento da parte aérea, enraizamento e teor de nitrogênio de mudas oriundas do sistema de mudas via minitoletes. E também a campo, após o transplante das

mudas, avaliou-se o perfilhamento, as condições de coloração da folha, desenvolvimento e produção de biomassa, além do nitrogênio total na cana-planta.

Onde foi efetuada a inoculação, houve um aumento na velocidade de brotação e no desenvolvimento de raízes das mudas, sendo que o ponto-chave para o “pegamento” da muda no campo é a qualidade da sua raiz.

Fotos: Ester Schiavon Matoso



Figura 11. Desenvolvimento de raízes de mudas inoculadas com bactérias diazotróficas.

As respostas em cana-planta também são extremamente positivas, o que permite a conclusão de que a inoculação de bactérias diazotróficas é capaz de suprir, total ou parcialmente, as necessidades nutricionais da cana-de-açúcar em relação ao nitrogênio. Mas há ainda muitos questionamentos sobre os reais benefícios da FBN para a cana, que devem ser respondidos antes da liberação e comercialização do inoculante.

Enfoques Tecnológicos na Produção do Açúcar Mascavo, Melado e Rapadura em Propriedades Rurais de Agricultores Familiares

Renato Cougo dos Santos

A presença dos açúcares na cana

Falar em cana-de-açúcar é pensar em “doçura”, ou melhor, em açúcar. Assim aconteceu por volta de 327 antes de Cristo quando chegou à notícia na Europa de que na Índia havia “uma espécie de bambu que produzia mel sem a intervenção das abelhas”, segundo o historiador português Henrique Parreira.

Desde então o açúcar ganhou dimensões globalizadas, inicialmente fazendo parte da mesa dos nobres e com o passar do tempo ocupando a mesa de todas as classes sociais. Atualmente o consumo médio anual de açúcar no mundo é de 23 kg por pessoa, para um consumo total de mais de 160 milhões de toneladas.

O emprego do termo genérico açúcar, seja na cana-de-açúcar ou nos processos tecnológicos de produção de seus derivados, embora popularizado, é muito restrito e prejudica o entendimento das muitas dificuldades encontradas no processamento, sendo aconselhável abordá-lo como açúcares. Isso mesmo, na cana-de-açúcar está presente mais de um tipo de açúcar, sendo eles: a sacarose, a glicose e a frutose.

De maneira simples se pode exemplificar da seguinte forma:

I - o açúcar cristalizado, portanto sólido, é a sacarose.

A sacarose é o açúcar desejado quando se quer produzir o açúcar cristal/mascavo (Figura 1).



Figura 1. Açúcar mascavo sendo produzido. Arquivo Ascar – Emater/RS.

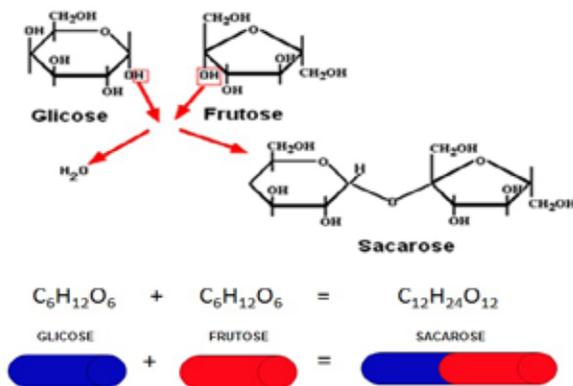
II - os açúcares não cristalizados, portanto líquidos, são a glicose e a frutose.

A glicose e a frutose são os açúcares desejados quando se quer produzir o melado (Figura 2).



Figura 2. Melado de cana-de-açúcar. Arquivo Ascar - Emater/RS.

A principal diferença da sacarose para a glicose e a frutose é o seu tamanho. A sacarose é chamada de dissacarídeo $C_{12}H_{24}O_{12}$ e a glicose e a frutose de monossacarídeo $C_6H_{12}O_6$. Como seus próprios nomes dizem, “mono” igual a 1 (um) e “di” igual a 2 (dois). Assim, quando uma glicose se liga a uma frutose se tem uma sacarose (Figura 3).



Figuras: Renato Cougo dos Santos

Figura 3. Equação de formação da molécula de sacarose a partir da ligação de uma molécula de glicose e outra de frutose.

Diante do exposto, se conclui que para fazer melado é necessário ter mais glicose e frutose e para fazer açúcar mascavo é necessário ter mais sacarose.

Explicado dessa forma parece tudo muito simples, bastando saber se na cana-de-açúcar tem glicose e frutose ou sacarose. Acontece que as quantidades de sacarose, glicose e frutose mudam em função das **condições de cultivo**, do **estágio de maturação** e, também, das **condições de processamento**.

O caldo da cana-de-açúcar, definido como uma solução impura de sacarose, glicose e frutose, é constituído de água ($\approx 82\%$) e sólidos solúveis ou **Brix** ($\approx 18\%$), sendo estes agrupados em açúcares orgânicos, não açúcares e inorgânicos.

A sacarose, como o componente mais importante, tem um valor médio de 14%, enquanto os demais, dependendo do estado de maturação, 0,2% e 0,4%, respectivamente para a frutose e a glicose.

A Figura 4 apresenta uma composição média do caldo de cana-de-açúcar para os principais constituintes, que são: a água, a sacarose, a glicose e a frutose.

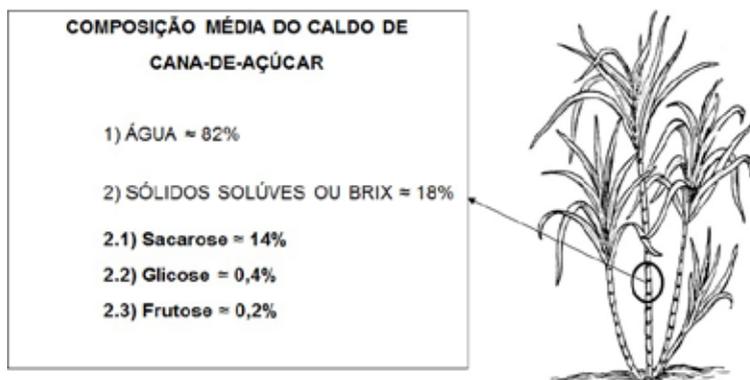


Figura 4. Composição média dos principais constituintes presentes na cana-de-açúcar.

A composição média apresentada na Figura 9.4 mostra que na cana-de-açúcar, para os sólidos solúveis, há maior quantidade de sacarose e menores quantidades de glicose e frutose, sugerindo a distribuição que é ilustrada na Figura 5.

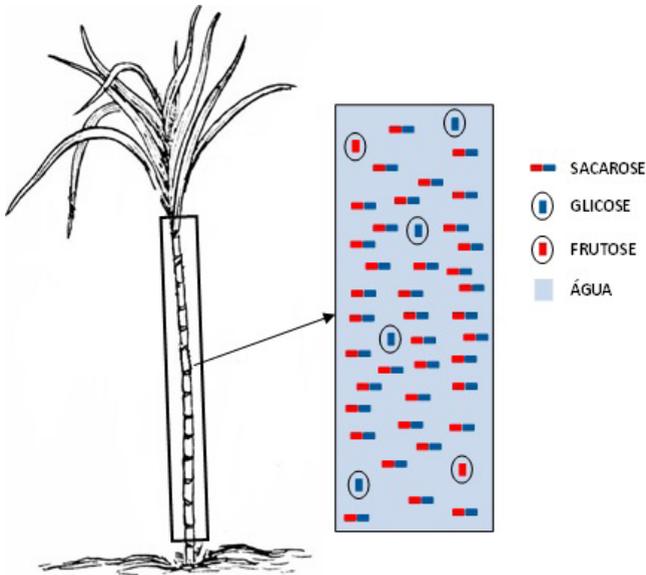


Figura 5. Representação da distribuição dos açúcares e da água no colmo da cana-de-açúcar.

Olhando a distribuição dos açúcares apresentada na Figura 5, sem considerar os demais fatores, fica fácil concluir que o açúcar mascavo está em maior quantidade na cana-de-açúcar e, conseqüentemente, mais fácil de ser produzido.

Acontece que na prática isso não é tão simples assim, e quando os problemas tecnológicos aparecem e não se sabem os reais motivos, a **culpa** é quase sempre atribuída à **variedade da cana-de-açúcar**, o que não é verdadeiro.

Para entender alguns dos problemas que podem aparecer na produção dos derivados da cana-de-açúcar, será necessário abordar conceitos de bioquímica e fisiologia vegetal.

O primeiro que deve ser entendido é porque e como se formam a glicose, a frutose e a sacarose na cana-de-açúcar.

Para melhor visualizar o que acontece na cana-de-açúcar serão feitas algumas relações de semelhanças. A primeira delas será compará-la com as necessidades de uma pessoa.



Para uma pessoa realizar um **trabalho**, como: **correr**, caminhar, falar e reproduzir, ela precisa de **energia**.

A energia de que ela precisa começa com a ingestão de um alimento. Todo o alimento ingerido é muito grande para entrar na fábrica que produz energia, a célula, e precisa ser quebrado até um tamanho mínimo em que ele possa entrar. O tamanho mínimo necessário é o da **glicose**. Depois de formada e de acordo com a necessidade que a pessoa tem de realizar trabalho, a glicose é quebrada e transformada em **energia para consumo imediato**, chamada de adenosina trifosfato (ATP).

Quando a demanda da pessoa por energia imediata (ATP) for menor que a ingestão de alimentos o excedente da energia produzida é transformada e armazenada na forma de **gordura** – **energia de reserva**. Nessa condição aumenta o estoque de energia de reserva – gordura.



Assim, se a demanda de trabalho for menor que a ingestão de alimentos, **aumenta a energia de reserva.**

No momento em que falta alimento e se tem a necessidade de produzir energia de consumo imediato (ATP) a fábrica passa a usar a energia de reserva – gordura, que deve ser primeiro, transformada em glicose. Nessa condição, há uma diminuição do estoque de energia de reserva – gordura.

A Figura 6 apresenta um esquema em que o alimento é inicialmente quebrado e transformado em glicose. Depois, a glicose entra na célula e é quebrada e transformada em energia de consumo imediato (ATP), que servirá para suprir as demandas exigidas pela pessoa quando ela corre, fala, cresce, reproduz e ademais. O excedente da energia não consumida é transformado primeiro em energia de reserva – gordura. E depois, quando necessário, a gordura é quebrada e transformada em glicose e, então, novamente em energia de consumo imediato – ATP.

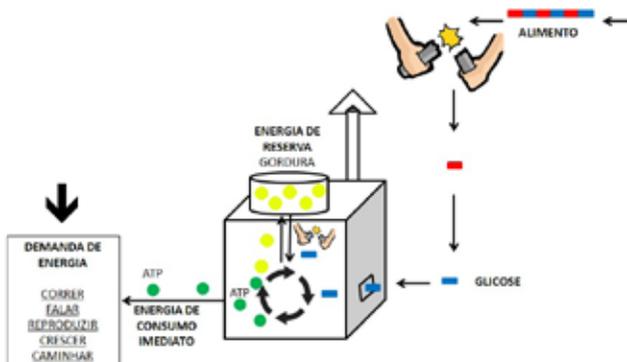


Figura 6. Esquema da produção de ATP nos seres humanos a partir da ingestão de alimentos.

Na cana-de-açúcar, o esquema é bastante parecido, mudando a forma como é obtida a glicose, e também o constituinte presente na energia de reserva, que neste caso passa a ser a **sacarose**.

Nos vegetais a **glicose** é formada na fotossíntese em que a luz do sol induz a reação do CO_2 (presente no ar) e da água (presente no solo), resultando na formação de **glicose**, conforme esquema apresentado na Figura 7.

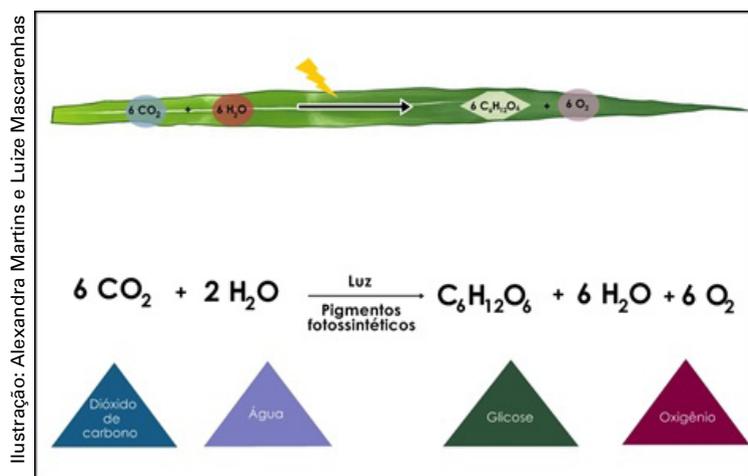


Figura 7. Formação de glicose nos vegetais a partir da fotossíntese.

A glicose que entra na célula vegetal é quebrada e transformada em energia de consumo imediato – ATP.

O excedente de energia não consumida é transformado em **sacarose**, o principal constituinte da energia de reserva na cana-de-açúcar, que fica distribuído no colmo ou vara da cana. Quando a demanda por energia de consumo imediato for maior que a produção de glicose na fotossíntese a célula vegetal passa a usar a energia de reserva (sacarose), diminuindo o seu estoque no colmo.

A Figura 8 apresenta um esquema que mostra a formação e a transformação da **glicose** em energia de consumo imediato (ATP) e, ainda, a formação e o consumo de energia de reserva (**sacarose**), na célula vegetal.

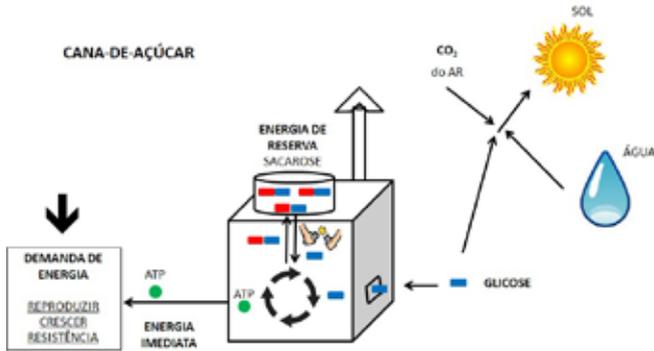


Figura 8. Esquema de produção de ATP nos vegetais a partir do processo de fotossíntese.

No esquema apresentado na Figura 9, é possível visualizar que a **sacarose** é o açúcar produzido e armazenado na forma de **energia de reserva**, no colmo da cana-de-açúcar. A quantidade de sacarose pode ser constantemente modificada pela relação direta entre a demanda de energia de consumo imediato (ATP) e a formação de glicose na fotossíntese.

Assim, quando a formação de **glicose** na fotossíntese for menor (\downarrow) e a demanda de energia de consumo imediato (**ATP**) for maior (\uparrow), há uma diminuição da energia de reserva (**sacarose**) (\downarrow) e, por outro lado, quando a formação de **glicose** na fotossíntese for maior (\uparrow) e a demanda de energia de consumo imediato (**ATP**) for menor (\downarrow), há um aumento da energia de reserva (**sacarose**) (\uparrow), conforme apresentado na Figura 9.

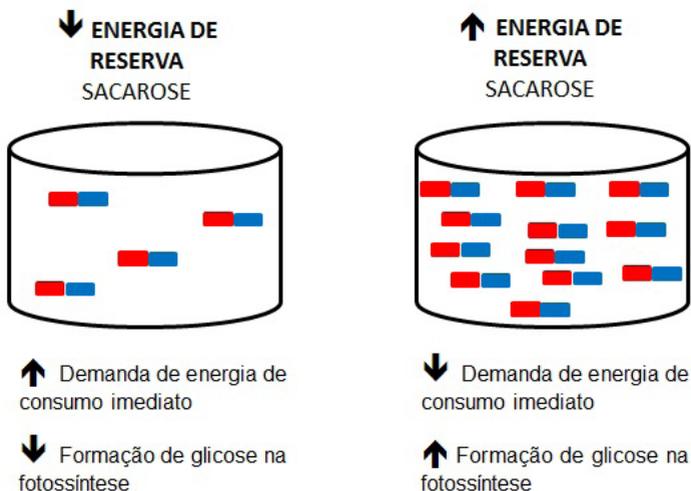


Figura 9. Balanço de energia de reserva.

A influência das condições de cultivo no processamento dos derivados da cana-de-açúcar

A exemplificação do mecanismo de formação da glicose e da sacarose na cana-de-açúcar, apresentada no item anterior, ajuda a entender algumas **afirmações feitas por agricultores** para justificar o porquê da escolha de uma determinada matéria-prima em detrimento de outra, como seguem:

Afirmção feita por agricultores: "A cana-de-açúcar de primeiro ano não é boa para fazer açúcar mascavo, melado e outros derivados!"

Explicação: quando se é criança, há uma demanda maior por energia de consumo imediato (ATP); como resultado se tem o menor acúmulo de energia de reserva. Isso acontece porque elas estão principalmente crescendo, têm mais atividades físicas, além do aumento de outras demandas que exigem muita energia de consumo imediato.

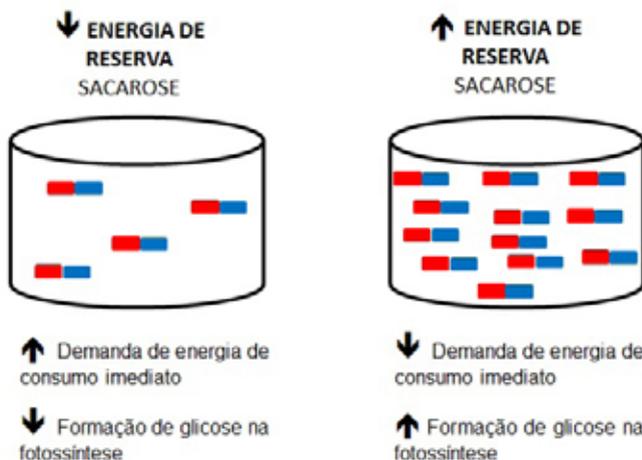


Ao contrário, na fase adulta, há uma demanda menor por energia de consumo imediato (ATP) e, conseqüentemente, um aumento de energia de reserva. Isso acontece porque elas pararam de crescer e, também, diminuíram significativamente demandas que exigiam muita energia de consumo imediato.

Adotando a mesma relação de semelhança para a cana-de-açúcar, se conclui que a cana jovem apresenta uma grande demanda de energia de consumo imediato – ATP. Isso acontece porque ela está na fase de crescimento, que é caracterizada por intensa atividade metabólica exigindo, assim, muita energia de consumo imediato.

Dessa forma, fica caracterizado que na cana-de-açúcar de primeiro ano a maior parte da glicose formada na fotossíntese é quebrada para ser transformada em energia de consumo imediato (ATP), que servirá para suprir a grande demanda de energia requerida para o crescimento da planta.

Nesse caso, apenas uma pequena parte da glicose formada na fotossíntese é quebrada e transformada em energia de reserva – sacarose, determinando uma baixa quantidade de sacarose na cana-de-açúcar – **BRIX**(↓).



Lado esquerdo: Balanço da energia de reserva de sacarose com o aumento da demanda de energia de consumo imediato e a diminuição da formação de glicose na fotossíntese. Lado direito: Balanço da energia de reserva de sacarose com a diminuição da demanda de energia de consumo imediato e o aumento da formação de glicose na fotossíntese.

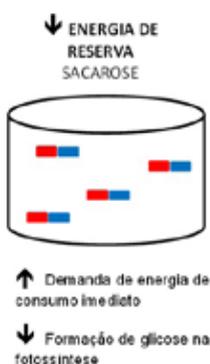
Com a cana-de-açúcar adulta, a partir do segundo ano, ocorre o inverso. A demanda de energia de consumo imediato é menor em consequência da diminuição da atividade metabólica, caracterizada, principalmente, pela estabilização do crescimento da planta. Na fase adulta a formação de glicose na fotossíntese é em boa parte quebrada e transformada em energia de reserva (sacarose), determinando um considerável aumento da sacarose – BRIX(↓).

Afirmção feita por agricultores: "A cana-de-açúcar que foi adubada não é boa para fazer o açúcar mascavo!"

A explicação está no crescimento da planta. Da mesma forma que acontece na cana-de-açúcar jovem, a adubação estimula o crescimento da planta, com considerável aumento da necessidade de energia de consumo imediato (ATP). Uma das razões para o aumento da demanda de energia de consumo imediato é a introdução do nitrogênio,

elemento químico exigido para a formação de proteínas responsáveis pelo crescimento vegetativo da planta. A cana-de-açúcar que é estimulada a crescer mediante a incorporação de nitrogênio no solo aumenta a sua necessidade por glicose, sendo uma parte fornecida na fotossíntese e a outra da energia de reserva – quebra da sacarose.

Assim, o excesso de nitrogênio tem como principal consequência o atraso da maturação da cana-de-açúcar e a diminuição da porcentagem de sacarose, aumentando o teor de açúcares redutores (glicose e frutose).



Nessa situação acontece uma diminuição do estoque de energia de reserva (sacarose) e uma pequena elevação das quantidades de glicose e frutose. A elevação da glicose e da frutose é explicada em boa parte com a quebra da sacarose, necessária para a transformação em energia de consumo imediato (ATP). A maior demanda de energia de consumo direto (ATP) e a quebra da sacarose resultam em redução (↓) do **BRIX**.

Balanco da energia de reserva de sacarose com o aumento da demanda de energia de consumo imediato e a diminuição da formação de glicose na fotossíntese.

Afirmção feita por agricultores: "A cana-de-açúcar plantada em topo de morro é boa para fazer açúcar mascavo!"

A explicação está no crescimento da planta ou vigor. Isso pode acontecer com mais intensidade quando o manejo do solo é inadequado e o relevo apresenta um aspecto ondulado, favorecendo que o escoamento das águas das chuvas carregue a matéria orgânica das áreas mais altas para as áreas mais baixas. Nesta situação, as plantas submetidas ao aumento da quantidade de substrato e de água respondem acelerando seu crescimento, plantas com maior vigor, conforme apresentado na Figura 10.

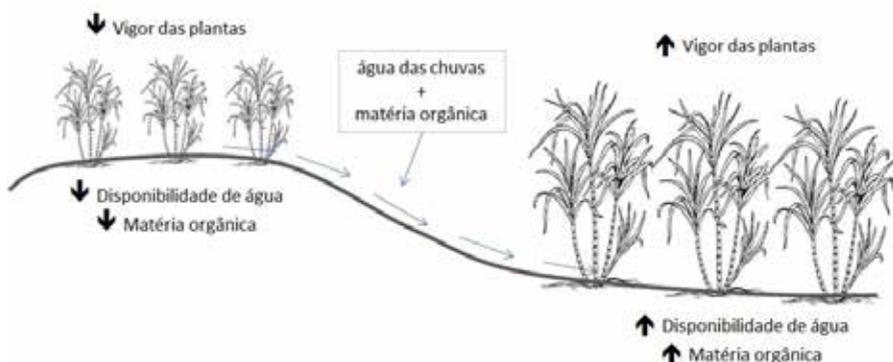
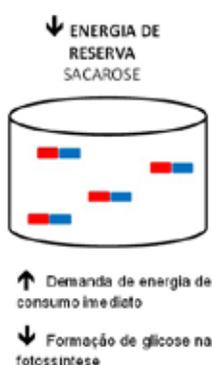


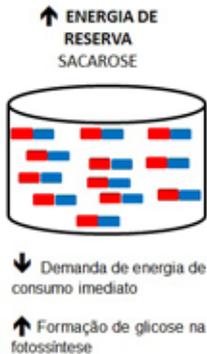
Figura 10. Ilustração de um sistema produtivo de cana-de-açúcar em terreno ondulado.

Nas plantas que se encontram com maior vigor a uma diminuição considerável da energia de reserva (sacarose), que acarreta, ainda, menor (\downarrow) **BRIX**. Isso se deve, em grande parte, a maior disponibilidade de substrato e de água que são promotores do crescimento da planta. O crescimento, responsável por uma intensa atividade metabólica, passa a requerer muita energia de consumo imediato (ATP). Dessa forma, com o aumento da demanda por energia de consumo imediato (ATP), a cana-de-açúcar passa a ter maior necessidade de suprimento de glicose que será fornecida, uma parte, pela fotossíntese e, a outra, pela energia de reserva, diminuindo a quantidade de sacarose no colmo da cana-de-açúcar.



A cana-de-açúcar que foi plantada nas áreas mais baixas do relevo apresenta a tendência de ter maior vigor, diminuindo a energia de reserva (sacarose), e aumentando a glicose na relação dos açúcares totais (\downarrow) do **BRIX**.

Quando a cana-de-açúcar apresenta essa tendência de comportamento aumenta a dificuldade para fazer o açúcar mascavo, fato esse ocasionado pela diminuição da sacarose e o aumento da glicose nos açúcares totais.



Por outro lado, a cana-de-açúcar que é constantemente submetida ao estresse hídrico e à baixa fertilidade do solo, condições adversas ao crescimento, responde metabolicamente no sentido de produzir mais energia de reserva (sacarose) do que a energia de consumo imediato (ATP).

Balanco da energia de reserva de sacarose com a diminuição da demanda de energia de consumo imediato e o aumento da formação de glicose na fotossíntese

Esse comportamento pode ser explicado pelo instinto de sobrevivência e perpetuação da espécie. Plantas com maior vigor precisam de mais energia de consumo imediato (ATP) para manter as suas funções metabólicas do que as plantas com menor vigor. Crescer menos neste caso é uma questão de sobrevivência. Outra estratégia é armazenar a energia que seria utilizada para o crescimento da planta na forma de sacarose e utilizá-la nos períodos mais críticos, em que as condições climáticas apresentadas colocam em risco a sobrevivência e a perpetuação da espécie.

Com o aumento da quantidade de sacarose na cana-de-açúcar fica mais propício para fazer o açúcar mascavo.

Afirmção feita por agricultores: "A cana-de-açúcar está boa para fazer açúcar mascavo na entrada do inverno!"

Porque na entrada do inverno é o período ou estágio de maturação que a cana-de-açúcar apresenta (↓) menor quantidade de água e (↑) maior quantidade de sacarose.

Para explicar a afirmação feita anteriormente, será usado o comportamento do urso polar para fazer uma comparação por semelhança com a cana-de-açúcar.

O urso polar no verão ingere uma grande quantidade de alimentos, quando a oferta é maior, e transforma boa parte em energia de reserva – gordura. No inverno, período que o urso hiberna, essa energia de reserva será usada para suprir a deficiência de alimentos e as baixas temperaturas, que são o fator responsável pela diminuição da velocidade das reações bioquímicas. Dessa forma, o verão está associado ao período de reprodução, quando o urso mantém grande atividade metabólica e reações bioquímicas aceleradas. Com a proximidade da entrada do inverno, muda-se o foco e começa uma diminuição gradativa da atividade metabólica. Essa mudança está marcada pela diminuição da busca pela reprodução, resultado de alterações hormonais, e por alimentos, dando início ao período de hibernação. Analisando-se o ciclo de hibernação do urso, fica compreendido que a maior quantidade de energia de reserva(gordura) deve ser alcançada na entrada do inverno.

Na cana-de-açúcar, o fotoperíodo representa a disponibilidade de alimento, ou seja, a duração do período de luz útil em que a planta responderá produzindo glicose mediante a realização da fotossíntese.

Assim, no verão, os dias com sol são em maior número, bem como, mais longos, resultando em um importante aumento da formação de glicose pela fotossíntese. Ao contrário, no inverno, estação

caracterizada pelas chuvas no Rio Grande do Sul, os dias com sol são em menor número e mais curtos, resultando em uma importante diminuição da formação de glicose pela fotossíntese. Acrescenta-se, ainda, que no inverno as temperaturas são mais baixas o que contribui negativamente na evolução das reações bioquímicas, com a diminuição drástica do metabolismo da planta quando as condições de temperaturas forem extremas.

Comparando as condições descritas para o urso polar e para a cana-de-açúcar, nas quais são verificados o aumento da oferta de alimento e da temperatura no verão, e o contrário, no inverno, é razoável deduzir que o comportamento metabólico da cana-de-açúcar seja bastante semelhante ao do urso polar. Assim, no verão, com os dias mais longos e temperaturas mais elevadas, a cana-de-açúcar produz grandes quantidades de glicose na fotossíntese, e boa parte dessa é transformada em energia de reserva (sacarose). O ápice da reserva de sacarose é alcançado na entrada do inverno, quando então ocorre a mudança metabólica, caracterizada pela inversão da sacarose em glicose. O consumo da sacarose ao longo do inverno será gradativo, estando ele intimamente ligado às condições ambientais. Na prática, a diminuição dos açúcares pode ser verificada através de um refratômetro com a medição dos açúcares totais (BRIX), ao longo do ano. Tecnicamente, o termo “cana madura” é conhecido como sendo aquele que identifica o estágio de maturação onde a planta apresenta a maior quantidade de açúcares totais. No Rio Grande do Sul onde as estações do ano são bem definidas é mais fácil verificar essa mudança no metabolismo da cana-de-açúcar.

Dessa forma, uma maneira prática de ver se a cana-de-açúcar está madura e pronta para cortar é determinando o “Índice de Maturação” (IM), com o auxílio de um refratômetro.

O índice de maturação fornece a relação entre os teores de açúcar encontrados na base e no ápice da cana-de-açúcar. Isso se deve

ao fato de que na cana imatura a diferença nos teores de sacarose encontrados na base da cana-de-açúcar e no seu ápice é grande.

Para determinar o índice de maturação deve ser medido no refratômetro a concentração de açúcares no ápice e na base da cana-de-açúcar, expressa em °Brix, e depois aplica-se a fórmula abaixo:

$$IM = \frac{^{\circ}Brix \text{ (ponta da cana)}}{^{\circ}Brix \text{ (base da cana)}}$$

Para a cana-de-açúcar, os valores de IM admitidos são:

- menor que 0,60 para cana verde;
- entre 0,60 e 0,85 para cana em processo de maturação;
- entre 0,85 e 1 para cana madura;
- maior que 1 para cana em processo de declínio de sacarose.

Variáveis no processamento que influenciam a qualidade final dos produtos derivados da cana-de-açúcar

Matéria-Prima

Afirmção feita por agricultores: “Para fazer o melado e o açúcar mascavo, a cana-de-açúcar deve ser despontada!”

A explicação está na distribuição desuniforme da concentração dos açúcares totais (BRX), que apresenta variação significativa de uma

região para a outra da cana-de-açúcar, sendo que na região foliar, ponta ou parte aérea, é verificada uma quantidade maior de água e, conseqüentemente, menor de açúcares.

Para melhor visualização, a cana-de-açúcar será inicialmente dividida em três partes, conforme apresentado na Figura 11.

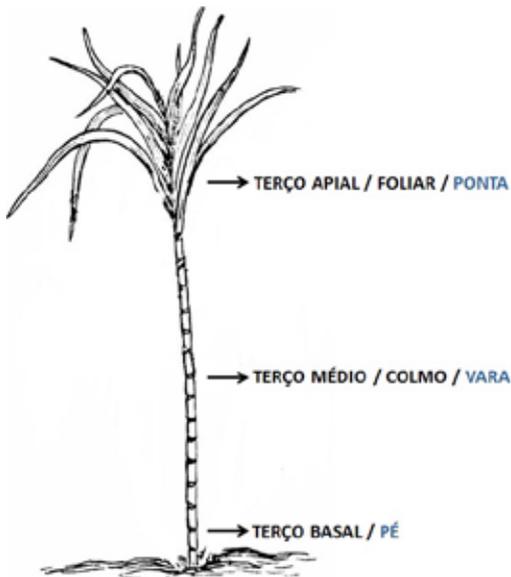


Figura 11. Cana-de-açúcar dividida em três partes.

A primeira explicação para a variação da concentração dos açúcares no colmo da cana-de-açúcar é que a fotossíntese acontece na parte foliar, com a formação da glicose. Para que a glicose seja formada, é necessária a luz do sol, a água e o CO_2 do ar. A água é deslocada do solo em direção à parte aérea da planta e, em sentido inverso, é distribuída a energia de consumo imediato (ATP) e a energia de reserva (sacarose), conforme apresentado na Figura 12.

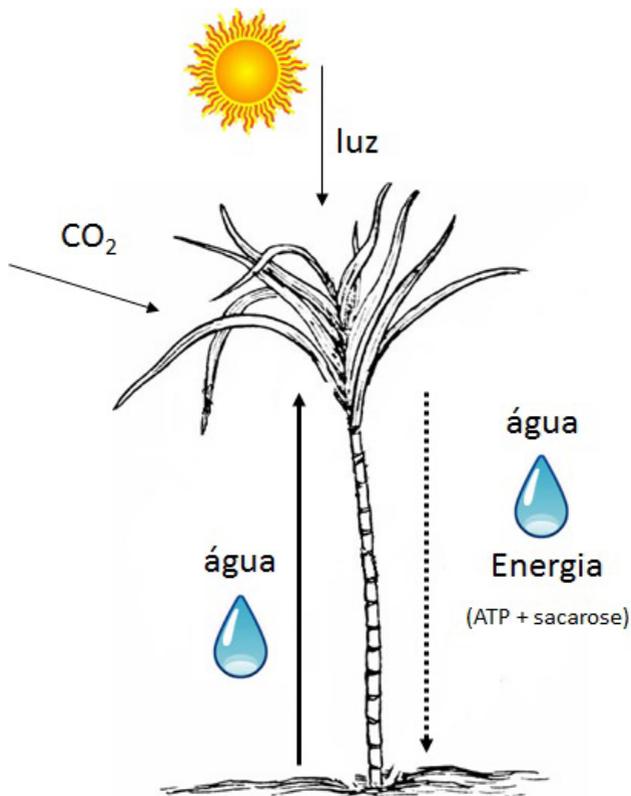


Figura 12. Fluxo de energia e de água na cana-de-açúcar.

O fluxo de água e energia apresentado na Figura 12 demonstra que a maior necessidade de água está localizada nas folhas onde acontece a fotossíntese. Assim, a quantidade de água é maior quanto mais próxima das folhas. Aumentando a quantidade de água diminui a concentração de açúcar.

A segunda observação é que na ponta diminui a quantidade de sacarose e aumenta a glicose. Isso acontece porque a atividade de crescimento da planta é muito mais intensa na parte aérea. Como a

demanda de energia de consumo imediato é alta, a glicose formada na fotossíntese é em grande parte transformada em ATP e muito pouco dela em energia de reserva (sacarose).

Entendendo que o processo para produção do açúcar mascavo e do melado está associado à concentração dos sólidos presentes na cana-de-açúcar pela retirada da água do meio, não faz sentido colocar a parte aérea da planta que tem maior quantidade de água, já que o objetivo é o contrário, ou seja, eliminar a água. Por tanto, a parte aérea deve ser retirada, principalmente, quando se quer processar o açúcar mascavo. O corte pode ser realizado abaixo do terço apical.

Afirmção feita por agricultores: "Para fazer o açúcar mascavo, a cana-de-açúcar tem que ser cortada no dia e, para fazer melado, ela deve "descansar" depois de cortada!"

A explicação está na quebra da molécula de sacarose em glicose e frutose, uma reação química de degradação conhecida por hidrólise ou inversão da sacarose.

O mecanismo de **formação** de novas moléculas ou moléculas mais complexas é conhecido como reação de **síntese**, como a que ocorre na formação de sacarose na cana-de-açúcar. O contrário, a **decomposição** ou degradação de moléculas, é conhecido como uma reação **catabólica**.

No caso da sacarose na cana-de-açúcar, a quebra da molécula de sacarose pela água é conhecida como uma reação de **hidrólise**. Quando ocorre a hidrólise da sacarose o resultado é a presença de moléculas de **frutose e glicose**, boas para produzir melado e não mais para fazer o açúcar mascavo.

A cana-de-açúcar apresenta mais formação de moléculas de sacarose quando as condições ambientais são favoráveis para realização de fotossíntese, ou seja, em condições de cultivo ou campo, momento que ela usa para armazenar sacarose.

Por conseguinte, quando a cana-de-açúcar é cortada, o ciclo de produção de energia da planta (fotossíntese) é interrompido pela ausência das condições de cultivo (luz, água, CO₂ e nutrientes). Nesse instante, é acionado o sistema de defesa da planta, que antes de morrer busca perpetuar sua espécie. Perpetuar a espécie significa gerar novas plantas (reproduzir), o que implica um grande consumo de energia primária (ATP).

Depois que a cana-de-açúcar é cortada, a energia necessária para gerar uma nova planta só pode ser fornecida se estiver armazenada nela própria, ou seja, na forma de energia de reserva, que neste caso será a sacarose que foi armazenada no colmo da cana durante o cultivo. Ocorre que, para usar essa energia, ela terá que inicialmente quebrar a sacarose através de reações catabólicas, formando **glicose e frutose**, que são próprias para produção de melado e não mais para o açúcar mascavo.

Dessa forma, quando o agricultor corta a cana-de-açúcar e deixa-a armazenada inicia o processo bioquímico de inversão da sacarose. Isso acontece porque a planta responde fisiologicamente para reproduzir (brotar).

O processo metabólico começa com o trabalho da enzima invertase que funciona como uma espécie de serrote e que será responsável por quebrar a molécula de sacarose, um dissacarídeo, resultando na formação de uma molécula de glicose e outra de frutose, ambas um monossacarídeo. Esse processo é conhecido como hidrólise enzimática.

Depois as moléculas de glicose formadas pela quebra da sacarose são direcionadas para a síntese de moléculas orgânicas, passando primeiro pela glicólise e depois pelo ciclo de Krebs para produzir ATP (energia primária), conforme Figura 13.

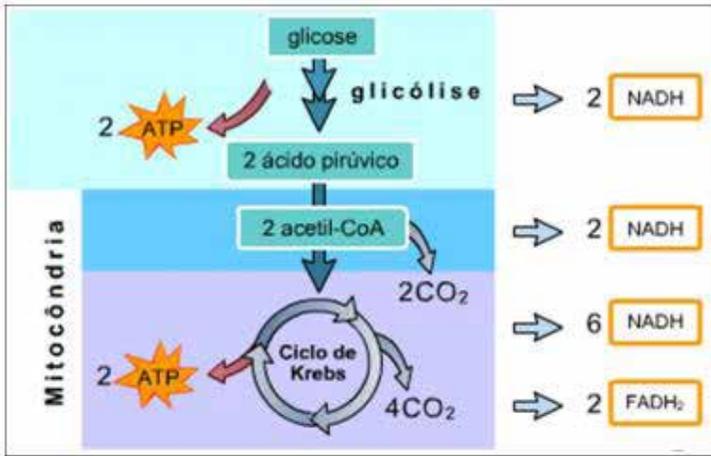


Figura 13. Formação de ATP na célula vegetal.

Essa energia primária será usada para síntese de moléculas orgânicas, reprodução, visualmente observada com o aparecimento dos brotos e sistema radicular na região de junção entre os colmos (Figura 14).



Foto: Raffaella Rossetto

Figura 14. Imagem de um colmo de cana-de-açúcar com a formação do sistema radicular e a brotação.

Durante o armazenamento ocorre uma queda gradativa no pH, uma pequena parte promovida espontaneamente pela planta em decorrência do metabolismo e outra, mais significativa, pela contaminação microbiológica. O resultando é a acidificação do meio e, por consequência, da garapa quando extraída na moenda. Popularmente, o processo de acidificação no qual a cana fica armazenada para “descansar” é conhecido pelos agricultores como “deixar a cana azedar”, e é recomendado por alguns agricultores para fazer o melado, sendo abolido completamente para se fazer o açúcar. A acidificação da cana-de-açúcar decorrente da contaminação microbiológica é prejudicial, uma vez que que esses microrganismos estão consumindo energia, ou seja, consumindo o açúcar que está presente na cana-de-açúcar e alterando as características sensoriais do meio, como: cor, sabor e aroma.

Assim, depreende-se que o maior acúmulo de sacarose na cana-de-açúcar está presente nas primeiras horas depois que ela foi cortada e que, com o avanço do tempo, essa reserva de sacarose vai diminuindo gradativamente com a formação de glicose e frutose.

Associado ao fato de que para fazer o açúcar mascavo é necessária a presença de sacarose, se conclui que a cana-de-açúcar deve ser processada no dia em que ela foi cortada e, preferencialmente, no menor tempo possível.

Ao contrário, quando se quer produzir o melado, a cana-de-açúcar pode ser armazenada antes de ser processada.

O inconveniente de usar-se a hidrólise enzimática espontânea para inversão da sacarose é o risco da contaminação microbiológica. A hidrólise enzimática espontânea pode ser substituída pela hidrólise em meio ácido, em que será feita a correção do pH da garapa com a colocação de um ácido.

O processamento de melado em meio ácido e do açúcar mascavo em meio básico será abordado a seguir.

Cabe salientar que o tempo necessário para que ocorra a inversão da sacarose na hidrólise enzimática espontânea leva dias e vai depender das condições em que ela é armazenada. Alguns agricultores relatam que deixam a cana-de-açúcar cortada por uma semana ou mais antes de levar para a moenda.

Afirmção feita por agricultores: "Para fazer o açúcar mascavo, tem que colocar a cal ou o bicarbonato na garapa e, para fazer melado, tem que colocar suco de limão!"

A explicação para a afirmação dos agricultores está no pH do meio que é fundamental para que aconteça ou não a inversão da sacarose. Anteriormente foi abordada a hidrólise enzimática, em que a presença da enzima invertase quebra a molécula de sacarose formando uma molécula de glicose e outra de frutose.

Na hidrólise ácida, da mesma forma como acontece na hidrólise enzimática, quando a garapa é fervida em presença de um ácido, a molécula de sacarose é quebrada e tem a formação de glicose e frutose. Nesse caso, a quebra da sacarose não é mais espontânea e, sim, induzida pela presença de um ácido e da elevação da temperatura. Lembrando que a glicose e a frutose na garapa são boas para fazer melado e não para fazer açúcar mascavo.

Cabe salientar que, embora o pH inicial na cana-de-açúcar tenha variação em função do solo, do trato da cultura, e outras variáveis, ainda assim é possível assumir que na garapa extraída com cana cortada no dia, o pH fica entre 5,0 e 5,6. Quando o pH for inferior a

4,2, é indicativo de deterioração, ou seja, modificação do meio por presença de microrganismos.

Assim, para fazer o açúcar mascavo é recomendado que o pH da garapa seja superior a 7,0 (meio básico), e para fazer o melado que o pH seja inferior a 4,0 (meio ácido).

Para ajustar-se o pH da garapa podem ser usados:

- * água de cal filtrada e bicarbonato na produção do açúcar mascavo.
- * ácido cítrico na produção de melado e rapadura puxa.

Em ambos os casos o ajuste do pH deve ser feito depois da limpeza da garapa com a escumadeira e antes de entrar em ebulição. Isso porque eles vão auxiliar na limpeza, promovendo a aglutinação das partículas em suspensão no meio. Preferencialmente e de acordo com o produto que vai ser processado, colocar a água de cal, o bicarbonato ou o ácido cítrico quando a temperatura estiver próxima dos 90 °C.

Para saber a quantidade exata que deve ser colocada, é necessário medir o pH inicial da garapa com o auxílio de um equipamento chamado pHmetro.

Quando adicionadas medidas aleatórias desses coadjuvantes na garapa, podem ocorrer alterações significativas no gosto, cor e aroma dos produtos. Um exemplo é o excesso de cal que provoca alteração na cor do açúcar mascavo, deixando-o com a cor esverdeada. Da mesma forma, o excesso de ácido cítrico no melado, que pode levar ao escurecimento, e um agravante, que é a formação de um composto chamado de hidroximetilfurfural (HMF), que é sugerido por muitos autores como sendo o agente causador de efeito nocivo à saúde (carcinogênico).

Afirmção feita por agricultores: "O açúcar e o melado ficam bons quando a garapa "descansa" antes de colocá-la no tacho de cozimento!"

A limpeza da cana-de-açúcar antes de entrar na moenda e a da garapa antes de entrar em ebulição no tacho de cozimento é essencial para a qualidade final dos produtos, em especial, do açúcar mascavo.

Os sólidos em suspensão na garapa são responsáveis por alterações de cor e, principalmente, da **crystalização** da sacarose. O efeito desses sólidos na produção do açúcar mascavo pode ser visualmente observado pelo tamanho do cristal, sua densidade e sua cor.

Alguns agricultores, técnicos e até mesmo pesquisadores referem defeitos nos derivados da cana-de-açúcar como sendo da variedade empregada, mas ela não tem nada a ver com isso. Quando os agricultores dizem que a cana-de-açúcar não é boa porque o açúcar fica muito fino e parece com areia; que o açúcar fica com aspecto úmido e pegajoso; ou que o açúcar fica "balofó" e parece uma areia movediça, na verdade são defeitos decorrentes de **problemas tecnológicos e não da variedade da cana-de-açúcar**.

O destaque feito anteriormente se faz novamente necessário, uma vez que na maioria das vezes os problemas tecnológicos na produção dos derivados da cana-de-açúcar são atribuídos erradamente à variedade da cana, o que é a forma mais fácil de explicar o problema quando não se sabe a resposta para ele.

Para não cometer esse tipo de equivoco, é importante entender que a molécula de sacarose, glicose ou frutose apresenta a mesma estrutura molecular, o mesmo tamanho, a mesma cor e o mesmo poder edulcorante independentemente da variedade da cana-de-açúcar.

A molécula de sacarose ou de glicose encontrada nas diferentes variedades de cana-de-açúcar apresenta as mesmas propriedades físico-químicas da Figura 15.

SACAROSE		GLICOSE	
			
Propriedades:		Propriedades:	
Fórmula química	C₁₂H₂₂O₁₁	Fórmula química	C₆H₁₂O₆
Massa molar	342,24 g mol ⁻¹	Massa molar	180,16 g mol ⁻¹
Aparência	cristais brancos	Aparência	Cristalina
Densidade	1,57 g cm ⁻³ (30 °C)	Densidade	1,5020 g cm ⁻³
Ponto de fusão	163-150 °C	Ponto de fusão	146 °C - 150 °C
Solubilidade em água	1970 g l ⁻¹ a 20,0 °C	Solubilidade em água	470 g l ⁻¹ a 20 °C

Figura 15. Propriedades físico-química das moléculas de sacarose e glicose.

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Sacarose>

Por consequência, a molécula de sacarose não muda sua estrutura molecular ou tamanho em função da variedade da cana-de-açúcar; o que muda é a sua quantidade (concentração), mas isso também está fortemente relacionado às condições de cultivo.

Logo, o que explica os problemas apresentados na produção dos derivados da cana-de-açúcar é a sequência de falhas tecnológicas cometidas pelos manipuladores durante todas as etapas de processamento, que vão da limpeza da cana-de-açúcar no corte até a embalagem do produto final.

Um bom exemplo é a limpeza da cana-de-açúcar, a qual, quando não é feita de forma adequada, prejudica a formação dos cristais e o resultado pode variar de um açúcar que parece mais com uma areia fina e escura até um açúcar com cristais grandes, claros e transparentes.

A resposta para o que enxergamos não é a molécula de sacarose isolada e sim os cristais formados pelo agrupamento de moléculas de sacarose. Quanto maior for o agrupamento das moléculas de sacarose maiores serão os cristais, mais visíveis ao olho humano. O processo de agrupamento das moléculas é chamado de **cristalização**.

O processo de cristalização é complexo e depende de muitas variáveis e no caso da sacarose uma delas é a presença dos não-açúcares, materiais coloidais e compostos coloridos. Para que uma molécula se ligue a outra e permaneça estável, a garapa tem que estar limpa. Limpa significa dizer que a garapa deve apresentar mais sacarose no estado puro, sem a presença de outras substâncias (compostos químicos). Quando isso não acontece as moléculas de sacarose apresentam dificuldade em se ligar. A resposta é que cada molécula de sacarose apresenta um ponto de ligação disponível para que a outra possa se unir. No caso em que a garapa não está limpa, é porque existem outros compostos químicos que acabam se ligando à sacarose e impedindo a formação dos cristais. Dependendo do tipo de composto químico que se liga à sacarose, o efeito percebido pode ser a alteração da cor e do aroma, mudando, assim, completamente a aparência e o sabor do produto.

Quando os agricultores afirmam que os produtos ficam melhor quando a garapa “descansa”, é porque entre a moenda e o tacho de cozimento está se fazendo um processo de filtração e decantação. Em muitas agroindústrias de produção de derivados da cana-de-açúcar é comum a instalação de uma caixa d’água plástica ou de um tanque metálico entre a moenda e o tacho de cozimento. A instalação tem como objetivo a decantação dos não-açúcares em suspensão na garapa. Os melhores produtos serão obtidos quando a garapa que sai da moenda passa por um filtro e depois um decantador para, então, ser submetida ao processo de “cozimento”.

O filtro pode ser um coador na saída da moenda e o decantador um tanque com chicana para diminuir a velocidade de escoamento da garapa até o tacho de cozimento. A diminuição da velocidade tem que ser suficiente para que ocorra a sedimentação das partículas sólidas em suspensão, compostos químicos indesejáveis no processo de produção do melado e do açúcar mascavo.

Instalações

Afirmção feita por agricultores: “Quando “fervia” a garapa na rua, dava açúcar e melado bom; agora que eu construí a agroindústria, não consigo mais!”

A explicação para a afirmação dos agricultores está na capacidade de retenção de água que o ar apresenta.

O processo de produção do melado, da rapadura e do açúcar mascavo é um processo de concentração dos açúcares com a consequente evaporação da água. Para visualizar melhor o que acontece é conveniente iniciar determinando o rendimento desses produtos.

Exemplo: um tacho com 200 L de garapa e 20 °BRIX vai render aproximadamente 36 kg de açúcar mascavo.

No final do processo, vão ficar 36 kg de açúcar mascavo dentro do tacho e o restante dos **164 L** terá evaporado na forma de vapor de água. A quantidade de água que evapora é grande (**164 L**), devendo inicialmente se prender em algo que depois a transporte (transferência de massa). Nesse caso, é o ar que carrega essa água, conforme mostrado na Figura 16.

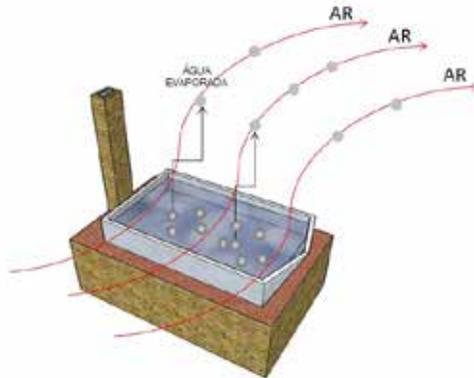


Figura 16. A água que evapora do tacho é carregada pelas correntes de ar.

Para que isso aconteça, o ar tem que ter capacidade de reter essa água e depois transportá-la. Quando a quantidade de água evaporada é maior que a capacidade de retenção do ar (ponto de saturação), ocorre o fenômeno da condensação, ou seja, na prática a água que está presa ao ar começa a se precipitar em forma de gotas, conforme apresentado na Figura 17.

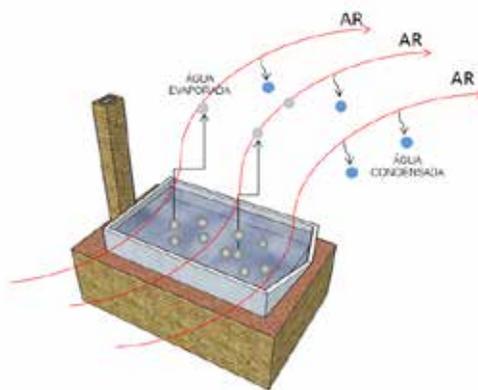


Figura 17. Condensação da água que evaporou do tacho depois de o ar ficar sob saturação.

A água condensada pode ser facilmente visualizada nas paredes e no teto da sala onde a temperatura é mais baixa do que a do ar.

Na situação inicial, em que o agricultor “fervia” a garapa na rua, a condição de circulação e renovação do ar é infinita, ou seja, o ar que passa sobre o tacho é constantemente renovado, levando a água, conforme apresentado na Figura 18.

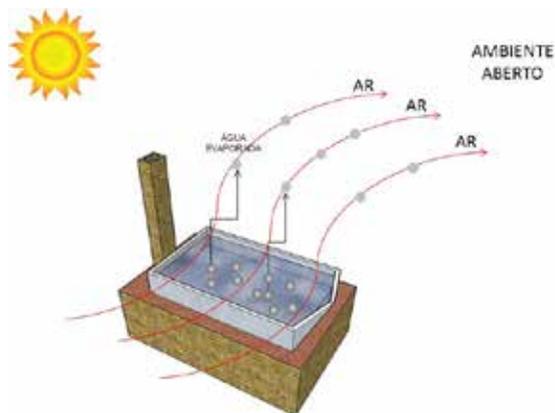


Figura 18. Sistema de produção dos derivados da cana-de-açúcar em ambiente aberto.

Outra variável também estava presente, uma vez que provavelmente o agricultor escolhia dias secos para fazer o processamento na rua. Os dias secos representam umidade relativa mais baixa, ou seja, maior capacidade de retenção de água pelo ar. Nesse caso, o ar que capturava o vapor de água não ficava saturado. Quando isso acontece, o tempo de cozimento é menor, evitando-se a caramelização dos açúcares. Lembre-se que caramelo é escuro e amargo. Quando ocorre a caramelização, o melado e o açúcar apresentam coloração escura e gosto amargo, que o consumidor considera um defeito no produto. No caso do açúcar, é ainda pior, uma vez que o tempo excessivo de cozimento aumenta a hidrólise da sacarose formando glicose e frutose. Como a glicose é líquida, os cristais de sacarose são

absorvidos por ela, formando “bolinhas” de glicose com sacarose, conhecido pelos agricultores como açúcar “embolotado”.

Isso quando ele consegue produzir o açúcar, uma vez que em condições extremas, em que o tempo de cozimento é demasiadamente excessivo, há a formação de uma quantidade tão grande de glicose que se chega ao ponto de não se conseguir mais a cristalização da sacarose. Por conseguinte, não se consegue mais fazer o açúcar.

Essa situação começa a ser vivida pelo agricultor quando ele passa a fazer o cozimento na sala de processamento da agroindústria.

Na nova situação, a falha está na concepção do projeto estrutural da agroindústria, e não na escolha de uma nova variedade de cana-de-açúcar, como frequentemente é sugerido.

Acontece que, por questões financeiras, a escolha do agricultor é por diminuir o tamanho da sala e o número de aberturas (janelas), transformando o ambiente em uma verdadeira caixa d’água, como apresentado na Figura 19.

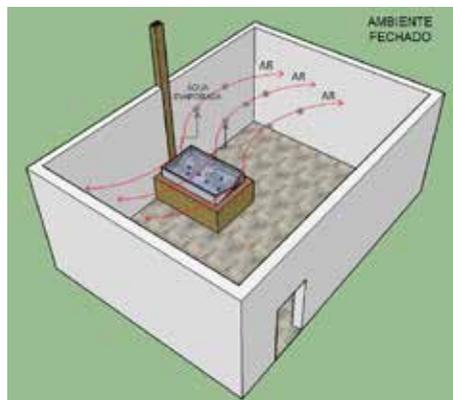


Figura 19. Sistema de produção dos derivados da cana-de-açúcar em ambiente fechado sem circulação do ar.

Dessa forma, passa a ser uma constante a condensação de água dentro desse ambiente, uma vez que não há a renovação do ar, conforme apresentado na Figura 20.

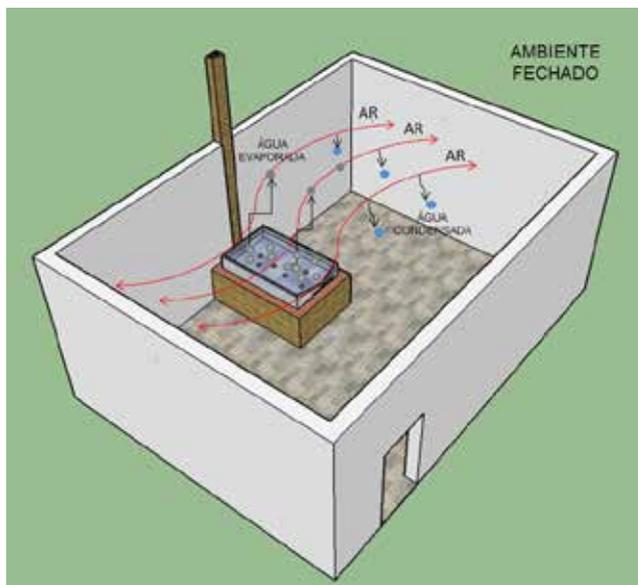


Figura 20. Condensação de água no sistema de produção dos derivados da cana-de-açúcar em ambiente fechado sem circulação do ar.

Lembre-se de que, para um tachó com 200 L de garapa, é necessário evaporar 164 L de água para se conseguir 36 kg de açúcar. Agora, imagine-se 164 L de água dentro de uma sala fechada.

Quando isso acontece, a água que evapora da garapa não consegue mais se prender ao ar, que está saturado. Isso faz com que aumente a pressão dentro do tachó de cozimento (estado de vibração das moléculas de água). Com o aumento da pressão, também é aumentada a temperatura da mistura que logo se aproxima do ponto

de fusão dos açúcares formando, assim, o caramelo. Assim, salas de processamento pequenas e com poucas aberturas aumentam o tempo de cozimento, ocasionando o escurecimento e o gosto amargo dos produtos.

O recomendado é que a sala apresente tamanho compatível com a produção desejada, e que as aberturas sejam em número e localização suficiente para promover a renovação constante do ar de dentro do ambiente, conforme apresentado na Figura 21.

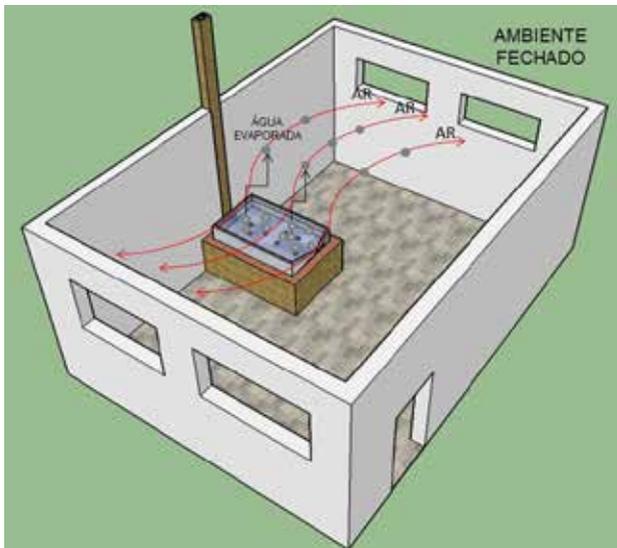


Figura 21. Sistema de produção dos derivados da cana-de-açúcar em ambiente fechado com circulação de ar pelas aberturas.

Outro aspecto a salientar é que o processamento da cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul acontece nos meses em que a temperatura é mais baixa, e não são poucas as vezes em que os agricultores fecham as janelas para minimizar o frio. Quando se fecham as

janelas, agravam-se os problemas, aumentando, e muito, o tempo de cozimento para se chegar ao ponto ideal de retirar o melado ou o açúcar mascavo. Isso acontece devido à ausência da renovação do ar no interior do ambiente.

Afirmção feita por agricultores: “Eu “apuro” o açúcar no tacho até que ele fique bem seco depois de batido, e quando eu vou embalar, no dia seguinte, está úmido!”

A afirmação está relacionada com a propriedade denominada higroscopia, presente nos açúcares. Higroscopia é a propriedade que certos materiais possuem de absorver água.

A absorção de umidade pelo açúcar pode ser observada dentro de um açucareiro doméstico que foi esquecido aberto em um ambiente úmido. Uma das consequências dessa propriedade é facilmente visualizada, uma vez que implica na compactação do açúcar formando aglomerados ou bolotas.

O destaque que foi dado para a presença de umidade no ambiente tem o propósito de alertar para as consequências de se deixar o açúcar esfriando no mesmo local onde foi realizado o cozimento. Esse problema está relacionado com a concepção da planta da agroindústria que não contempla uma sala de embalagem ou do procedimento inadequado do manipulador de deixar o açúcar esfriando na sala de processamento.

O procedimento de deixar o açúcar esfriar antes de embalar está correto. A justificativa é que, empacotando-se o açúcar ainda quente, aumenta-se o risco da água presente no ar condensar dentro da embalagem. Para não correr o risco do interior da embalagem ficar umedecida depois de ter sido fechada hermeticamente é que se adota o procedimento de esfriar o açúcar antes de colocá-lo na embalagem.

O que não está certo é deixar o açúcar esfriar no mesmo ambiente em que foi concentrada a garapa. Imaginando-se um tacho com 200 L de garapa que produziu 38 kg de açúcar a conclusão óbvia é que foram evaporados 162 L de água dentro da sala de processamento. Grande parte dessa água continua armazenada no ar que está presente no interior da sala. Na maioria das vezes, o processo é finalizado no período que encerra a tarde e, portanto, é natural que o agricultor deixe durante a noite o açúcar esfriando para que no outro dia seja embalado. Como o processamento dos derivados da cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul é realizado principalmente no inverno e, ainda, que durante a noite não se trabalhe, é corriqueiro fecharem-se as janelas que se comunicam com o ambiente externo. Assim, o açúcar que ficou esfriando na superfície da mesa da sala de processamento tende a entrar em equilíbrio com a umidade que está presente no ar da sala.

Considerando-se a propriedade higroscópica e as condições ambientais apresentadas na sala que fica fechada depois de terem sido evaporados 162 L de água, é natural esperar que o açúcar absorva grande quantidade de umidade do ar durante o tempo em que ele fica aguardando para ser embalado.

A conclusão é que dependendo do tempo e do local onde ele aguarda para ser embalado, ocorre mudança significativa na umidade final do produto. Quando a umidade ultrapassa o limite recomendado não é mais possível garantir a vida de prateleira do produto, uma vez que a atividade de água no produto influencia a velocidade de crescimento dos microrganismos.

Em vista disso, cabe salientar que o local recomendado para deixar o açúcar esfriando não é a sala de processamento.

Dessa forma, na elaboração do projeto da agroindústria, é correto prever que a sala de embalagem seja isolada da sala de processamento. Ocorre que, por questões financeiras

relacionadas aos agricultores e da baixa escala de produção, é aceito excepcionalmente, pelo órgão de fiscalização sanitária, que agroindústrias embalem o açúcar na sala de processamento, quando esse não coincida com o processo de produção.

O processamento realizado nas condições apresentadas inicialmente pela afirmação dos agricultores enseja dois problemas tecnológicos que serão revertidos em defeitos no produto final. O primeiro está relacionado com o termo “apurar”, que significa deixar mais tempo no fogo e passar à concentração ideal em °Brix recomendada para terminar o processo. Quando isso acontece, se tem o excesso de caramelização dos açúcares e alterações das características organolépticas como cor, sabor e aroma. A umidade se constitui no segundo problema, uma vez que essa terá efeito direto na velocidade de crescimento dos microrganismos e na alteração da aparência do produto.

Dos equipamentos

Afirmação feita por agricultores: “Troquei o tacho por outro e não consegui mais fazer o melado e o açúcar mascavo que eu fazia antes!”

A explicação para essa afirmação está na falta de um projeto de dimensionamento do tacho.

Aparentemente e de forma simplista, o tacho pode ser descrito como sendo a vasilha onde a garapa é colocada para evaporar a água e que, portanto, não deve ter muita influência no resultado final dos produtos elaborados dentro dela. Pensando dessa forma, fica fácil concluir que qualquer tacho serve independente da sua procedência e da forma como ele foi construído. Entretanto, tem que haver uma resposta para os problemas tecnológicos que passaram a acontecer na produção do melado e do açúcar mascavo e que não podem ser explicados pela matéria-prima, pois ela continua sendo a mesma que era empregada anteriormente. Então, o que explica os problemas

tecnológicos surgidos? A resposta mais lógica e provável é a variável que foi modificada, e neste caso o que mudou foi o tacho. Assim, a afirmação de que o tacho altera a qualidade dos produtos nele produzidos é verdadeira.

Quando os defeitos nos produtos são provenientes do tacho, a explicação está no seu projeto construtivo, mais especificamente, na dificuldade criada em expulsar a água que está contida no seu interior. A dificuldade para expulsar a água é em grande parte influenciada pelo tamanho, formato e o material que foi empregado na sua construção. A resistência criada para evaporar a água do interior do tacho é proveniente do desenho sanitário e pode estar relacionada a uma ou mais variáveis, como segue:

- I) área da superfície de aquecimento e evaporação;
- II) altura da coluna de garapa e da parede do tacho;
- III) tamanho e formato;
- IV) material construtivo, e
- V) fonte de geração de calor.

O efeito dessas variáveis na qualidade dos produtos é a seguir apresentado.

I) Área da superfície de aquecimento e evaporação

Analogamente pode ser comparado com a situação onde dois lençóis são colocados no mesmo varal para secar em condições distintas. Um dos lençóis é colocado no varal permanecendo aberto e esticado e o outro dobrado e amontoado. O resultado lógico é que o lençol que foi colocado aberto e esticado fica seco mais rápido em comparação com o outro. A explicação está no tamanho da superfície de contato com o ar. Já foi falado anteriormente que o ar é o veículo que transporta a água. Para que isso aconteça, o ar tem que apresentar capacidade

de capturar e reter o vapor de água para depois realizar o transporte. Neste caso a intensidade e a frequência da presença do ar em contato com a superfície do líquido determina o tempo de cozimento. Assim, quanto maior for a área da superfície do tacho maior será a quantidade de ar em contato com a garapa, como apresentado nas Figuras 22 e 23.

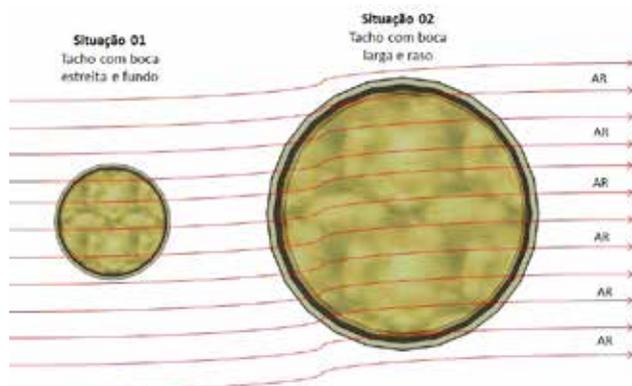


Figura 22. Vista superior da área de dois modelos diferentes de tacho.

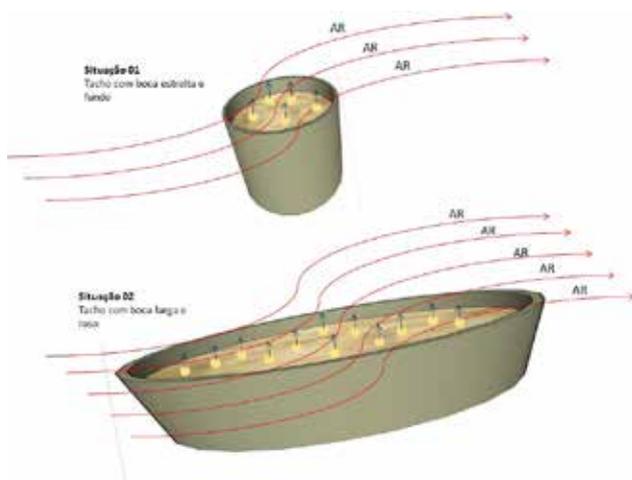


Figura 23. Vista lateral de dois modelos diferentes de tachos.

Observe que o local de saída do vapor de água é na superfície da garapa, mas para que ele chegue até a superfície é necessária uma fonte de calor que provoque o aquecimento da água até seu ponto de ebulição ocorrendo, assim, a mudança de fase do estado líquido para vapor. A troca de calor no tacho acontece em dois estágios, como segue: condução e convecção. No primeiro estágio as moléculas de água em contato direto com a parede e o fundo do tacho trocam calor por condução com o metal e são aquecidas. No segundo estágio as moléculas que foram aquecidas por contato direto com a parede e o fundo do tacho aumentam de tamanho e diminuem a densidade, ficando mais leve e se deslocam em direção à superfície do líquido. Em sentido contrário, as moléculas mais frias descem gerando o movimento conhecido por convecção.

Considerando o primeiro estágio em que é necessário que haja o contato direto das moléculas de água com o metal aquecido é racional afirmar que quanto maior for a superfície do metal aquecido mais rápido será a troca de calor com o líquido. Com isso se conclui que, aumentando as superfícies de contato do líquido com o metal e a com o ambiente externo, o tempo de cozimento diminui. Importante recordar que o aumento do tempo de cozimento promove a caramelização dos açúcares e a inversão da sacarose, em que o primeiro deixa o produto mais escuro e com gosto amargo e o segundo dificulta a formação dos cristais prejudicando a produção do açúcar mascavo.

Dessa forma, a preferência dos agricultores por tacho com boca larga e parede baixa, conforme apresentado no exemplo 01 da Figura 24 é correta e pode ser justificada pelo tempo de espera menor para alcançar o ponto de concentração desejado em cada produto.



Figura 24. Vista lateral de dois modelos diferentes de tacho sendo um com boca larga e parede baixa e outro com boca estreita e parede alta.

II) Altura da coluna de garapa e da parede do tacho

Outra variável importante é a altura da parede do tacho e isso se deve ao aumento da dificuldade com que a coluna de água exerce sobre o líquido evaporado que sobe a superfície. Dessa forma, quanto maior for a altura de garapa dentro do tacho maior será a pressão exercida sobre o líquido evaporado. O comportamento é semelhante ao percebido por um mergulhador. Quanto mais profundo for o mergulho maior será a pressão da coluna de água exercida sobre ele.

Ao encontro do que foi falado anteriormente é importante destacar que a temperatura e a pressão “caminham juntas” e, assim, se uma delas sofre variação a outra responde da mesma forma e intensidade.

A Figura 25 mostra que a pressão exercida pela coluna de água é maior quanto maior for a altura da garapa dentro do tacho.

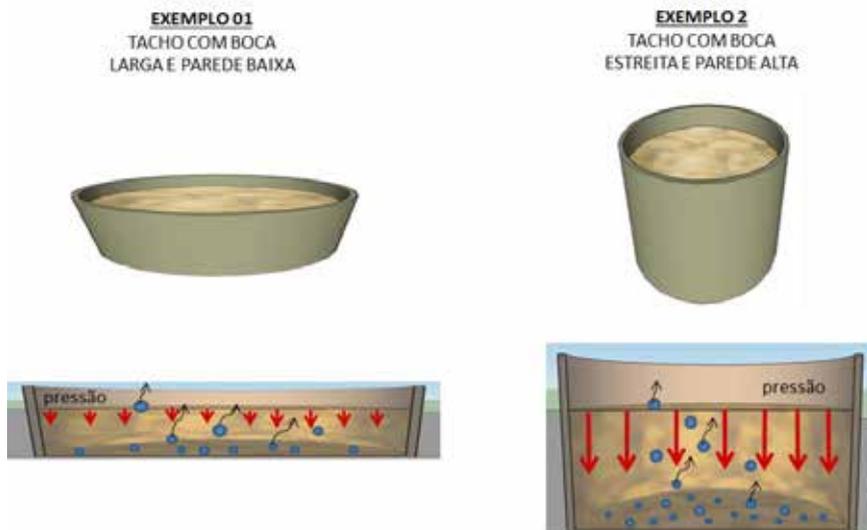


Figura 25. Representação da pressão exercida pela coluna de água em dois modelos diferentes de tacho.

O líquido evaporado terá mais dificuldade para chegar até a superfície na situação apresentada no exemplo 02 da Figura 25, em que a pressão exercida pela coluna de água é maior. Para suprir essa dificuldade é necessário o aumento da temperatura interna da garapa que, conseqüentemente, responderá com a caramelização dos açúcares e, como esperado, produto mais escuro, gosto amargo e cheiro a queimado.

A situação é agravada pelo tempo de cozimento. Isso acontece uma vez que a água vai sendo evaporada e os açúcares concentrados. A alteração percebida na mistura é o aumento da viscosidade do líquido. Exemplo semelhante é o que acontece com o processamento de um extrato de tomate ou um doce cremoso em que o tempo de cozimento vai deixando o produto mais pastoso e começa a espirrar do tacho. Esse fenômeno acontece porque a resistência para a subida do vapor é cada vez maior e quando ele chega até a superfície, que oferece menor resistência, rompe a camada de forma muito brusca.

A demora do líquido evaporado subir significa o aumento no tempo de cozimento e da temperatura, com as consequências já citadas anteriormente para a qualidade final dos produtos. Assim, fica reforçada a recomendação de usar tacho com boca larga e parede baixa.

III) Tamanho e formato

Dentre as características inerentes às agroindústrias localizadas no meio rural estão a pouca disponibilidade de mão de obra e a divisão do tempo da família para desempenhar todas as atividades demandadas na propriedade rural. Para cumprir outros compromissos, a família opta por cortar uma quantidade maior de cana-de-açúcar que, moída, resulta em um grande volume de garapa. Quando chega a hora de colocar a garapa para ferver, a praticidade e o lado econômico se tornam a primeira opção para os agricultores. Acontece que a escolha de usar um tacho grande não é a melhor opção. A explicação é semelhante a que foi explanada anteriormente e os defeitos apresentados nos produtos os mesmos. Quando um agricultor vai fazer açúcar mascavo e escolhe um único tacho para concentrar 500 litros de garapa será necessário evaporar um volume superior a 400 litros de água. Convenhamos que o volume de 400 litros de água é muito grande e que é impossível que isso aconteça de forma rápida. Em oposição à qualidade, o termo praticidade para os agricultores justifica a demora no tempo de cozimento. Colocado dessa forma parece não ter lógica, mas se parar para pensar que os agricultores não precisam estar presentes durante todo o tempo de cozimento e que usam esse tempo para realizar outras atividades na propriedade rural, o termo praticidade adquiriu algum sentido. Assim, o tempo de espera se torna secundário e passa a prevalecer a relação entre esforço e quantidade de produto produzido no final do dia, mesmo que isso leve o dia todo cozinhando dentro de um único tacho. O produto final que ficou o dia inteiro cozinhando ficará bastante caramelizado e será de baixa qualidade. Além do tempo de

cozimento a caramelização será, ainda, o resultado de outras variáveis que estão presentes quando o tacho é grande. Como exemplo, podem ser citadas as variações de temperatura em diferentes zonas dentro do tacho. Isso acontece porque existem zonas que estão em contato direto com a fonte de calor e outras com o ambiente externo. As trocas de calor de uma zona para a outra e que dependem exclusivamente da convecção natural são dificultadas quando essas distâncias são grandes. Distâncias maiores estão presentes nos tachos grandes e não nos pequenos. O resultado será a distribuição desuniforme da temperatura dentro do tacho promovendo o superaquecimento do líquido nas regiões que estão em contato com a fonte de calor e o resfriamento nas zonas mais distantes dessa. O superaquecimento leva à caramelização dos açúcares.

Com relação ao formato do tacho é possível explicar que os tachos redondos são preferidos aos retangulares. A explicação está na troca de calor do líquido por convecção. Convecção significa movimento das moléculas. No tacho redondo o efeito de parede é menor se comparado ao tacho retangular. A característica principal de um tacho retangular são os ângulos retos presentes nos cantos do retângulo. Esses ângulos retos produzem uma resistência ao movimento da garapa, que não é o mesmo oferecido no centro do tacho, conforme apresentado na Figura 26.



Figura 26. Movimento circular da garapa dentro de dois modelos diferentes de tacho.

Essa dificuldade imposta ao movimento da garapa nos cantos e o aumento da velocidade no centro determina um tempo de permanência do líquido maior nas arestas do tacho, propiciando, assim, a deposição da sujidade, a formação de grumos e o superaquecimento do líquido, todos prejudiciais à qualidade final do produto.

Os motivos apresentados autorizam concluir que tachos pequenos e redondos são mais apropriados ao processamento se comparados aos grandes e retangulares.

IV) Material construtivo

Convicção e controvérsia são recorrentes quando a conversa entre os agricultores é a escolha pelo material construtivo do tacho. Para muitos o tacho de cobre é melhor e o de aço inoxidável não é bom.

Os motivos que levam os agricultores a tal certeza podem ser explicados através da: A) condutividade térmica dos metais, B) espessura da chapa e C) rugosidade da superfície do metal.

a) condutividade térmica: quantifica a habilidade dos materiais de conduzir energia térmica. Estruturas feitas com materiais de alta condutividade térmica conduzem a energia térmica de forma mais rápida e eficiente que estruturas análogas feitas com materiais de baixa condutividade térmica. Assim, metais com baixa condutividade térmica são classificados como isolantes, e os de alta condutividade térmica como dissipadores. No processamento dos derivados da cana-de-açúcar se deseja que a estrutura metálica do tacho apresente maior eficiência e habilidade em conduzir a energia térmica entre a fonte de calor e o líquido, dissipadores. Entretanto, o material empregado na produção de um alimento para consumo humano deve, em primeiro lugar, garantir a inocuidade do alimento. Dessa

forma, nem sempre o metal que apresenta as melhores características de condutividade térmica pode ser utilizado, podendo ocorrer a contaminação química do produto final proveniente da migração de elementos presentes no próprio material construtivo do tacho.

A afirmação de muitos agricultores pode ficar compreendida quando são apresentados os valores das condutividades térmica dos metais, como segue:

- ✓ Cobre: 372 W/mK
- ✓ Alumínio: 204 W/mK
- ✓ Ferro: 52 W/mK
- ✓ Aço inoxidável: 15 W/mK

A sequência de valores de condutividade térmica apresentada para diferentes tipos de metais permite entender a preferência dos agricultores. O cobre é o metal que apresenta a maior condutividade térmica e, por consequência, o que oferece menor resistência de transferência de calor para o líquido. Quando a questão é diminuir o tempo de cozimento para evitar a caramelização dos açúcares e produzir produtos de melhor qualidade organoléptica, é compressiva a escolha por tachos de cobre.

Ocorre que o contato direto do cobre com os alimentos foi proibido pela ANVISA em 2007 com a alegação de que ele oferece perigo à saúde humana. Portanto, o uso de tachos de cobre só é permitido se este for revestido com ouro, prata, níquel ou estanho (Resolução da Anvisa - RDC nº 20, de 22 de março de 2007).

Nesse sentido, o material recomendado é o aço inoxidável, que mesmo não sendo um bom condutor térmico é o mais seguro no tocante a migração de constituintes químicos para os produtos.

b) espessura da chapa: variável importante que apresenta influência na condutividade térmica e na conservação da temperatura.

Como já foi explicada anteriormente, a condutividade térmica está relacionada à habilidade do metal de transferir a energia térmica, portanto, a espessura do material é determinante para o tempo. Quanto maior a espessura da chapa metálica maior será o tempo para o calor ser transferido de uma extremidade à outra. Dito dessa forma, dá-se a entender que as espessuras da parede e do fundo do tacho devem ser finas. Acontece que um número expressivo de agricultores utiliza fogo direto no tacho e as implicações dessa escolha são contrárias à recomendação de usar uma espessura muito fina. Quando a opção for fogo direto, o aquecimento da chapa corresponderá à temperatura de combustão do material empregado como combustível. Enquanto no tacho a vapor a temperatura é controlada em 121 °C, os que optam por fogo direto e empregam como combustível a madeira, operam com temperaturas iniciais superiores a 280 °C, podendo, depois da fase de ignição, a combustão ultrapassar os 500 °C.

Neste caso, chapas metálicas de baixa condutividade térmica e com espessura maior dificultam a exposição do líquido às altas temperaturas e às variações bruscas, diminuindo, assim, o processo de caramelização. Sucede que a aquisição de um tacho de aço inoxidável pelos agricultores é consequência da sua capacidade econômica. Como o preço do aço inoxidável é alto, não sobram muitas opções e, então, a aquisição acaba sendo a do mais barato; neste caso, será um tacho construído com uma chapa de aço inoxidável com espessura fina. Invariavelmente o resultado será o mesmo, produto com baixa qualidade organoléptica de cor, sabor e aromas.

Por desconhecimento desses princípios físicos, não são poucas as vezes em que a baixa qualidade dos produtos é atribuída exclusivamente

à presença do aço inoxidável na constituição do tacho, justificando, assim, a grande resistência ao seu uso por parte dos agricultores.

O contrário é observado no uso dos tachos de aço inoxidável com circulação de vapor, que oferece produtos com qualidade superior mesmo esses sendo construídos com as mesmas especificações técnicas do material empregado nos tachos com fogo direto.

c) rugosidade da superfície do metal: são as saliências e reentrâncias apresentadas na superfície dos materiais.

A presença de rugosidade na superfície do material auxilia no processamento dos derivados da cana-de-açúcar. O motivo está no ar que fica retido nesses espaços. Quando a garapa é colocada no tacho e a superfície do material apresenta rugosidade o ar fica retido na superfície do metal. No instante em que se inicia o processo de aquecimento da garapa, o ar aumenta de volume e é expelido através do líquido para a superfície. Como a coluna de água oferece resistência para a ascensão do líquido que evaporou, o ar acaba antecipando a quebra dessa resistência e se tem o início do processo de ebulição. Quando o ar fica retido na superfície do metal antes do aquecimento da garapa, o processo de ebulição começa de forma gradativa e branda. A ausência total de rugosidade sobre a superfície do material retarda o processo de ebulição e é comum ocorrerem acidentes, uma vez que nesta condição a ebulição começa extemporânea e de forma turbulenta. O leite é um exemplo no qual a ebulição começa de forma extemporânea e turbulenta a ponto de expulsar o líquido para fora do contentor onde está contido.

No processamento dos derivados da cana-de-açúcar, o processo de aquecimento inicial da garapa é marcado pelo uso da escumadeira para retirar a sujidade que emerge na superfície. Nessa etapa não é usual mexer a garapa, uma vez que essa ação provocaria o efeito

contrário, misturando a sujidade de forma indissociável da garapa. O efeito desejado é obtido com a ebulição gradativa e branda da garapa, que é marcada pela presença do ar na superfície do metal quando do início do processo de aquecimento. Quando acontece dessa forma, a eficiência para a retirada da sujidade é maior. Para a produção do açúcar mascavo, no qual a presença da sujidade se constitui em um contaminante para a cristalização é possível afirmar que metais que apresentam rugosidade na superfície são preteridos pelos agricultores para o processamento dos derivados da cana-de-açúcar. Isso explica o motivo dos agricultores escolherem tachos com ligas de ferro e baixo carbono (aço doce), em detrimento dos de aço inoxidável, que apresentam superfície lisa.

O conhecimento das propriedades físicas dos materiais é importante para compreender os defeitos que podem aparecer nos produtos finais e que geralmente são atribuídos à cana-de-açúcar. O conhecimento empírico dos agricultores, os quais, na escolha do tacho, preferem os de cobre e em segundo os de aço, com baixo teor de carbono, e depois os de aço inoxidável, é a confirmação de que esses agricultores associam os defeitos dos produtos ao tacho em que estão sendo processados os derivados da cana-de-açúcar.

V) Fonte de geração de calor

Dois sistemas são empregados pelos agricultores para o aquecimento e a concentração da garapa, o fogo direto e a circulação de vapor no tacho. No primeiro é construída uma fornalha e sobre ela é colocado o tacho, que fica em contato direto com o fogo. No segundo, a fornalha aquece a água, que passa por um trocador de calor gerando vapor superaquecido, e este circula em circuito fechado pela parede dupla do tacho. O equipamento utilizado para produção de vapor superaquecido é a caldeira. Comparando os dois sistemas, é possível afirmar que o da caldeira é o melhor. A afirmação tem por base o

controle da temperatura que entra em contato com a parede e fundo do tacho. Com o auxílio de um termostato, a passagem de vapor que circula por dentro da camisa do tacho é uniforme durante todo o processamento e a garapa não é submetida às altas temperaturas. Nesse sistema, a temperatura do vapor superaquecido fica em torno dos 121 °C. No sistema que emprega o fogo direto, as temperaturas podem ser superiores a 500 °C. Com temperaturas tão elevadas, dificilmente não ocorre o processo de caramelização dos açúcares. No sistema que emprega o fogo indireto com circulação de vapor superaquecido, é possível afirmar que os produtos preservam melhor as características organolépticas de cor, sabor e aroma, quando comparados ao sistema que emprega o fogo direto.

Embora o sistema com circulação de vapor seja melhor que aquele que utiliza fogo direto, ainda assim existem detalhes construtivos que melhoram a eficiência desse sistema. O detalhe construtivo em questão é a altura da parede dupla por onde circula o vapor. Por motivos econômicos, alguns fornecedores de equipamentos reduzem o tamanho da camisa por onde circula o vapor. Isso diminui a área de troca térmica e expõe o restante da parede à temperatura ambiente. Assim, a garapa aquecida quando em contato com a parede simples é resfriada. No caso onde se está processando melado, é comum ocorrer a cristalização da sacarose, indesejável na produção desse produto.

Diante do exposto, é possível concluir que a escolha do tacho é parte fundamental quando se deseja produzir produtos de qualidade e que o conhecimento empírico dos agricultores deve ser observado quando se trata de pesquisa e assistência técnica.

Processamento

Afirmção feita por agricultores: "Sempre faço o melado e o açúcar mascavo no mesmo tacho e com a mesma cana-de-açúcar, mas nunca sai igual."

A explicação para a afirmação feita por agricultores é que os produtos derivados da cana-de-açúcar são o resultado do somatório de variáveis interdependentes e que todas devem apresentar as condições ideais durante a realização do processamento, observando as características desejadas para cada tipo de produto. Um bom exemplo é a rapadura. Quando se deseja uma rapadura puxa é necessário que se tenha mais glicose do que sacarose, assim, será exigida a inversão da sacarose. Como já foi explicado anteriormente, a inversão da sacarose poderá ser alcançada com a hidrólise enzimática deixando a cana descansar antes de ser moída ou com a hidrólise química colocando o ácido cítrico antes da fervura. O contrário, quando se deseja a rapadura quebradiça, será exigida maior quantidade de sacarose e, dessa forma, a hidrólise deve ser evitada sendo necessário corrigir o pH da garapa para próximo de 7,0.

Quando uma ou mais condições não são satisfeitas, a consequência é percebida através de alterações nos produtos, que na maioria das vezes são consideradas pelos consumidores como defeitos.

Para melhor exemplificar algumas das condições ideais que devem ser observadas pelo manipulador para cada etapa do processamento, bem como, dos prováveis defeitos quando elas não são satisfeitas é apresentada a Tabela 1.

Diante do exposto, é evidente que são muitas as causas dos defeitos nos produtos derivados da cana. Assim, conclui-se que a variedade da cana-de-açúcar contribui significativamente para aumentar o rendimento e/ou o período de realização do corte, mas que não tem influência no tamanho ou na cor da sacarose, glicose e frutose.

Tabela 1. Etapas do processamento.

Etapas do processamento	Condição ideal		Fora da condição ideal
	Açúcar mascavo (sacarose)	Melado e rapadura (glicose e frutose)	Defeitos nos produtos, possivelmente associados à etapa do processamento
Escolha da área de plantio onde será cortada a cana-de-açúcar	<ul style="list-style-type: none"> - Local alto, seco e pedregoso - Não tenha sido adubada recentemente 	<ul style="list-style-type: none"> - Independe - Não tenha sido adubada recentemente 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo rendimento - Não se consegue fazer açúcar mascavo - Tempo excessivo de cozimento - Produtos com coloração escura - Açúcar embolotado
Escolha da cana-de-açúcar	<ul style="list-style-type: none"> - Pouco viçosa e de pequeno a médio porte - Segundo ano - Na entrada do inverno e antes do início da primavera 	<ul style="list-style-type: none"> - Independe - Segundo ano - Do final do outono até o início da primavera 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo rendimento - Não se consegue fazer açúcar mascavo - Tempo excessivo de cozimento - Produtos com - coloração escura - Açúcar embolotado
Preparo para o corte	<ul style="list-style-type: none"> - Medir o °Brix da cana na ponta, no centro e no pé - °Brix médio maior do que 18 - Índice de Maturação entre 0,85 e 1,0 - Não cortar rente ao pé - Não colocar a cana cortada em contato direto com o solo 	<ul style="list-style-type: none"> - Medir o °Brix da cana na ponta, no centro e no pé - ° Brix médio maior do que 18 - Índice de Maturação entre 0,85 e 1,0 - Não cortar rente ao pé - Não colocar a cana cortada em contato direto com o solo 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixo rendimento - Não se consegue fazer açúcar mascavo - Tempo excessivo de cozimento - Produtos com coloração escura - Açúcar embolotado

Etapas do processamento	Condição ideal		Fora da condição ideal
	Açúcar mascavo (sacarose)	Melado e rapadura (glicose e frutose)	Defeitos nos produtos, possivelmente associados à etapa do processamento
Preparo da cana-de-açúcar	<ul style="list-style-type: none"> - Despontar - Desfolhar - Lavar - Colocar a cana em cima de estrado plástico 	<ul style="list-style-type: none"> - Despontar - Desfolhar - Limpar - Colocar a cana em cima de estrado plástico 	<ul style="list-style-type: none"> - Tempo excessivo de cozimento - Produtos com coloração escura - Açúcar arenoso, balofo, pegajoso ou movediço
Moagem	<ul style="list-style-type: none"> - Moer apenas a cana-de-açúcar cortada no dia - Regular a moenda - Coar a garapa na saída da moenda 	<ul style="list-style-type: none"> - Independe - Regular a moenda - Coar a garapa na saída da moenda 	<ul style="list-style-type: none"> - Não se consegue fazer açúcar mascavo - Açúcar embolotado - Baixo rendimento - Produtos com sujidade aparente
Decantação e filtração	<ul style="list-style-type: none"> - Lenta - Fluxo laminar (sem agitação) 	<ul style="list-style-type: none"> - Lenta - Fluxo laminar (sem agitação) 	<ul style="list-style-type: none"> - Produtos com sujidade aparente - Açúcar arenoso, balofo, pegajoso ou movediço
Pré-aquecimento da garapa	<ul style="list-style-type: none"> - Lento Sem agitação 	<ul style="list-style-type: none"> - Lento - Sem agitação 	<ul style="list-style-type: none"> - Produtos com sujidade aparente - Açúcar arenoso, balofo, pegajoso ou movediço
Limpeza da garapa	<ul style="list-style-type: none"> - Sem agitação 	<ul style="list-style-type: none"> - Sem agitação 	<ul style="list-style-type: none"> - Produtos com sujidade aparente. - Açúcar arenoso, balofo, pegajoso ou movediço

Etapas do processamento	Condição ideal		Fora da condição ideal
	Açúcar mascavo (sacarose)	Melado e rapadura (glicose e frutose)	Defeitos nos produtos, possivelmente associados à etapa do processamento
Correção do pH da garapa	<ul style="list-style-type: none"> - Corrigir acidez com um ácido até pH maior do que 7,0 - Antes de entrar em ebulição 	<ul style="list-style-type: none"> - Corrigir acidez com uma base até pH menor do que 4,0 - Antes de entrar em ebulição 	<ul style="list-style-type: none"> - Não consegue fazer açúcar mascavo - Açúcar embolotado - Açúcar esverdeado - Melado açucarado - Produtos com coloração escura
Concentração	<ul style="list-style-type: none"> - Em tacho pequeno, boca larga e parede baixa - Com vapor - Sala ventilada - Rápida - Até 90 °Brix ou 119 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> - Em tacho pequeno, boca larga e parede baixa - Com vapor - Sala ventilada - Rápida - Até 65 °Brix ou 107 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> - Produtos queimados e com coloração escura - Açúcar embolotado - Melado fermentado
Esfriar	<ul style="list-style-type: none"> - Rápido - Bater - Ambiente seco 	<ul style="list-style-type: none"> - Lento - Sem agitação - Ambiente seco 	<ul style="list-style-type: none"> - Melado açucarado - Não se consegue fazer açúcar mascavo - Açúcar úmido
Embalar	<ul style="list-style-type: none"> - Frio (temperatura ambiente) 	<ul style="list-style-type: none"> - Quente (72 °C) 	<ul style="list-style-type: none"> - Melado fermentado - Embalagem do açúcar umedecida
Armazenar	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura ambiente - Local seco e arejado 	<ul style="list-style-type: none"> - Refrigerado 	<ul style="list-style-type: none"> - Melado fermentado

Alimentação Animal

Lucas Silva Lemões

Elis D. Timm Simon

Jailton Carneiro

Canade-açúcar para alimentação animal

A recomendação de utilização da cultura como opção forrageira na alimentação de ruminantes não é nova (PRESTON & LENG, 1980). No entanto, as cultivares consideradas ideais para serem fornecidas aos animais são as que possuem características agronômicas e nutricionais que proporcionam melhor aproveitamento animal (ANJOS, 2008).

A cana-de-açúcar possui valor nutricional médio, mas apresenta pontos positivos que a tornam um bom volumoso aos bovinos. A facilidade de cultivo, possibilidade de colheita nos períodos de estiagem e elevado potencial de matéria seca e energia por unidade de área, fazem da cana-de-açúcar um produto de grande interesse para ser utilizado na alimentação animal (FREITAS, 2005). Fabris (2009) destaca também como características vantajosas da cultura o custo relativamente baixo de produção e oferta de forragem no período de inverno.

A escolha da variedade

A escolha da variedade é um fator importante para a utilização da cana-de-açúcar para alimentação animal. Nesse sentido, serão listadas abaixo as principais características a serem observadas:

- Alta produtividade
- Alto teor de sacarose
- Baixos teores de fibra,
- Adaptada às condições edafoclimáticas
- Resistência ao tombamento
- Resistência a pragas e doenças
- Época de maturação
- Despalha fácil
- Digestibilidade da fração fibrosa

Exceto a última característica citada, que é de interesse para alimentação animal, as demais são comuns à indústria.

Características agronômicas

Variedades com maior produtividade e alto teor de sacarose são indicadas, pois proporcionarão menor custo de produção de matéria seca por unidade. Outro fator importante é a ausência do processo que promove a redução da concentração de sacarose e do aumento da fibra que coincide com o florescimento (“chochamento” ou “isoporização”).

É recomendado que os genótipos apresentem características como despalha natural ou fácil e tenham um porte ereto de touceiras. A despalha difícil dificulta a limpeza da cana no momento da moagem. O acamamento dos colmos também dificulta o manejo e o corte manual. Também é desejável um bom perfilhamento, capacidade de brotação no período de seca, bom perfilhamento e ausência de joçal (pilosidade da bainha).

No geral, recomendam-se para alimentação animal as mesmas variedades utilizadas pela indústria sucroalcooleira, pois essas variedades caracterizam-se pela alta produção de matéria seca por

unidade, resistência a doenças, adaptação ao clima e solo da região e alta concentração de açúcar. Entretanto, deve ser observada a qualidade nutricional das mesmas.

Características nutricionais

A cana-de-açúcar deve apresentar características nutricionais que proporcionem melhor aproveitamento animal, como baixos teores de fibras e alto teor de açúcar, alto teor de proteína e digestibilidade.

As principais características nutricionais buscadas em cultivares de cana-de-açúcar para alimentação animal são baixos teores de fibra em detergente neutro (FDN) e detergente ácido (FDA), baixos teores de lignina e celulose, além de baixa relação fibra/ açúcar, sendo este um bom parâmetro para avaliar a qualidade do alimento (ROGRIGUES et al., 2001).

Quanto maior a quantidade de fibras menor será a digestibilidade da matéria seca. Sendo assim, variedades com menor teor de fibras permitirão um maior consumo de açúcares do que as variedades que possuam o mesmo ou maior conteúdo de açúcar, porém com maior teor de fibras.

O baixo valor de proteína é característico da espécie, e é considerado um dos maiores empecilhos para utilização da cana na alimentação animal, porém pode ser corrigido com suplementos minerais e fontes de nitrogênio não proteico (BONOMO, 2009).

Segundo Oliveira (1999), a utilização de ureia na cana picada na dose de 1% é capaz de aumentar os teores de proteína bruta na matéria seca de 3% para em torno de 11%. Para Thiago e Vieira (2002), é necessária também a complementação com enxofre nas dietas à base de cana-de-açúcar para suprir a demanda das bactérias

que transformam o nitrogênio na forma de amônia em proteína microbiana.

Na cana-de-açúcar há uma variação considerável na composição química de suas diversas cultivares, quanto aos teores de matéria seca, fibra, lignina, celulose e hemicelulose (ANJOS, 2008).

Permitindo, dessa forma, selecionar dentro da variabilidade existente aquelas que mais se adéquam aos objetivos específicos de cada finalidade aplicada à cultura.

A avaliação de 187 genótipos de cana-de-açúcar cultivados no Rio Grande do Sul demonstrou que esses apresentam composição bastante heterogênea entre si. Os genótipos apresentaram grande amplitude de variação para as características da composição química nutricional avaliadas (Tabela 1).

Os resultados observados permitem verificar que os valores de hemicelulose (HCEL) variaram de 18,86 a 32,69. Os valores de lignina variaram de 3,79 a 8,85. Os valores de fibra em detergente neutro (FDN) variaram de 55,44 a 77,84. Os valores de fibra em detergente ácido (FDA) variaram de 32,90 a 39,02. A proteína bruta (PB) variou de 2,50% a 5,32% e o teor de cinzas variou de 2,58% a 7,06%. O teor de matéria seca variou de 10,76 a 27,82. A digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) variou de 15,63 a 39,71 (Figura 1).

A distribuição de frequências mostra que para todas as variáveis a maior frequência sempre foi a de valores próximos à média (Figura 1).

A variabilidade encontrada na composição química nutricional desta coleção de genótipos crioulos de cana-de-açúcar é importante para a seleção de materiais para diversos fins.

Tabela 1. Análise descritiva das características químicas nutricionais avaliadas em 187 genótipos crioulos de cana-de-açúcar, safra 2013/2014 em Pelotas-RS.

Variável *	Mínimo	Máximo	Média	Amplitude	D. P	Variância	cv (%)
Cinzas %	2,58	7,06	4,61	4,48	0,83	0,70	18,12
DIVMS %	15,63	39,71	27,66	24,08	4,93	24,34	17,84
FDA %	32,90	49,02	40,06	16,12	3,40	11,55	8,48
FDN %	55,44	77,84	65,74	22,4	4,78	22,82	7,27
Hemicelulose %	18,86	32,69	25,68	13,83	3,03	9,18	11,80
Lignina %	3,79	8,85	6,24	5,06	0,90	0,81	14,41
Matéria Seca	10,76	27,82	20,60	17,06	3,11	9,66	15,09
Proteína Bruta %	2,50	5,32	3,86	2,82	0,60	0,36	15,43

DIVMS digestibilidade in vitro da matéria seca; FDA fibra em detergente ácido; FDN fibra em detergente neutro.

* % na matéria seca

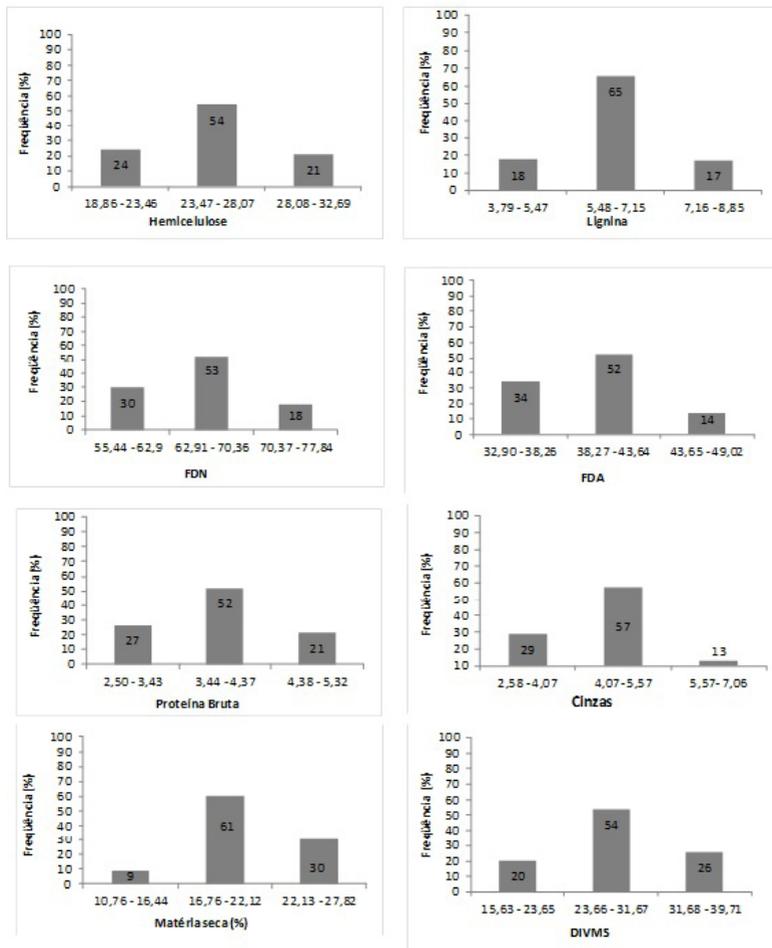


Figura 1. Distribuição das frequências relativas (%) das características hemicelulose, lignina fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina (LIG), hemicelulose (Hcel) cinzas (CZ), e digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS), avaliadas em genótipos crioulos de cana-de-açúcar, safra 2013/2014, Pelotas, RS.

A composição nutricional da cana-de-açúcar varia em função da idade da planta. Quanto mais madura estiver a cana maior o seu teor de açúcar e menor o seu teor de fibra, sendo maior o seu valor nutritivo para alimentação animal. Considera-se que o momento ideal para a colheita seja aquele que expressa o máximo potencial produtivo de massa verde e de acúmulo de açúcar (ANJOS et al., 2008).

Maturação da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é utilizada na alimentação animal principalmente em períodos de seca. Assim, um bom planejamento forrageiro baseado na utilização de cana-de-açúcar não deve ser fundamentado em uma única variedade, mas aconselha-se ter no canavial variedades com três diferentes épocas de maturação diferentes. Uma precoce, uma média e uma tardia; para atender todo o período de estiagem com suplemento de alto valor nutritivo, ou seja, com boa concentração de sacarose nos colmos.

Formas de utilização

Essa forrageira pode ser fornecida para os animais de diferentes formas, algumas das principais formas de utilização da cultura pelos produtores na alimentação são cana fresca picada (*in natura*), silagem e na forma desidratada.

A utilização de cana fresca picada (*in natura*) caracteriza-se pelo corte diário das plantas e fornecimento imediato aos animais. Para essa forma de utilização cabe uma ressalva para as limitações do ponto de vista nutricional, o que exige a suplantação com outro alimento para atender às demandas do animal (NUSSIO et al., 2009).

Silagem é o processo de conservação da forragem por meio de um processo de fermentação anaeróbica e tem por objetivo preservar o valor nutritivo com a menor perda possível (ANJOS, 2008).

A ensilagem da cana-de-açúcar possibilita aproveitar o estágio onde a cana apresenta seu maior valor nutritivo e prolongar a sua utilização como forrageira durante todo o ano (MOLINA et al. 2002). No caso dos estados do Sul do País, essa forma de conservação pode ser utilizada após a ocorrência de geadas preservando o valor energético da planta após o dano no campo.

No entanto o processo de conservação dessa forrageira na forma de silagem possui inconvenientes, devido ao elevado teor de açúcares presentes que provoca rápida proliferação de leveduras produzindo etanol e gás carbônico (FREITAS, 2005). Conforme McDonald et al. (1991), as perdas de matéria seca nesse processo de formação de etanol podem chegar a até 48%.

Segundo Pedroso (2003), pesquisas têm avaliado uso de aditivos na silagem de cana-de-açúcar com objetivo de melhorar a estabilidade aeróbica e, conseqüentemente, controle da população de leveduras; no entanto, o mesmo autor indica que os resultados encontrados nesta área ainda são variáveis. Com isso, justifica-se a avaliação dos efeitos do uso de aditivos no controle da estabilidade de silagem de cana-de-açúcar.

Outra possibilidade de armazenamento da cana-de-açúcar após o corte é o processo de desidratação; com o objetivo de conservação da forragem por um maior período de tempo, este pode ser realizado tanto de forma natural quanto com auxílio de secadores/desidratadores, obtendo-se um produto com características nutricionais muito próximas à cana fresca *in natura* (ARAUJO, 2008).

Muñoz (1998), em seu estudo com diversas formas de conservação da cultura, aponta resultados satisfatórios para a conservação da cana na forma desidratada frente às demais formas avaliadas para as condições em que estava inserida. No entanto ainda são poucos os estudos para essa forma de conservação da cana-de-açúcar como forrageira; logo, é importante que haja estudos com outros genótipos e em diferentes condições climáticas para um maior conhecimento sobre tal forma de armazenamento.

Etanol de Segunda Geração

Juliana Silva Lemões

Cláudia Fernanda Lemons e Silva

O caldo de cana-de-açúcar, rico em sacarose, é a principal matéria-prima para produção de etanol no Brasil. O País é o segundo produtor mundial de etanol e líder mundial na produção de cana-de-açúcar, possuindo tecnologia consolidada para a produção do combustível; porém, ainda é necessário o desenvolvimento e adequação de processos utilizando matérias-primas alternativas ao caldo de cana-de-açúcar com o objetivo de elevar rendimentos e a produtividade global do processo (BARCELOS et al., 2011; SANTOS et al., 2012).

Além de matérias-primas sacarídeas (caldo de cana-de-açúcar e beterraba), outras biomassas podem ser utilizadas para a produção de etanol, como as amiláceas (amido de milho, arroz, batata, entre outros) e lignocelulósicas (plantas e resíduos lignocelulósicos) (NAIK et al., 2010).

O etanol de segunda geração (2G), produzido a partir de biomassas lignocelulósicas, apresenta-se como uma alternativa promissora para suprir a demanda mundial por biocombustíveis, em função da alta

disponibilidade e baixo custo de matéria-prima. Além de biomassa de cana-de-açúcar residual (palha e bagaço) outras gramíneas com alta produção de biomassa, como o arundo (*Arundo donax* L.) podem ser utilizadas na produção de etanol de segunda geração (LUQUE et al., 2008; SANTOS et al., 2012).

O pré-tratamento da biomassa lignocelulósica é uma etapa essencial para a produção de etanol de segunda geração que visa à adequação da biomassa às etapas de hidrólise e fermentação (BARCELOS et al., 2011; LUQUE et al., 2008; SANTOS et al., 2012). Dependendo das características da biomassa, o pré-tratamento pode ser a etapa de maior custo do processo de produção (SHIELDS; BOOPATHY, 2011).

Dessa forma, pesquisas com a utilização de biomassa lignocelulósica vêm sendo cada vez mais desenvolvidas, com o objetivo de tornar o processo de produção de etanol de segunda geração economicamente viável (SANTOS et al., 2012).

Biomassa lignocelulósica

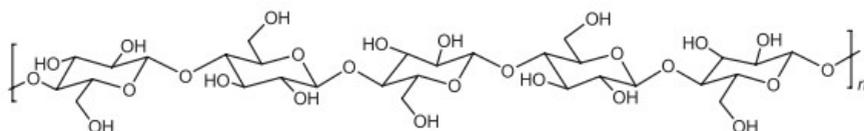
Compostas basicamente de celulose, hemicelulose e lignina, as biomassas lignocelulósicas são as fontes de carbono mais abundantes e apresentam-se como matéria-prima alternativa para a produção de energia e para a síntese de inúmeros compostos químicos. (LUQUE et al., 2008; NAIK et al., 2010; ANWAR et al., 2014). Os três principais componentes apresentam proporções variáveis nas diferentes biomassas (Tabela 1).

Tabela 1. Composição de biomassas lignocelulósicas, expressas em porcentagem de massa seca.

Biomassa	Celulose	Hemicelulose	Lignina
Palha Cana	40-44	30-32	22-25
Bagaço de cana	32-48	19-24	23-32
Palha de arroz	43,3	26,4	16,3
Madeira dura	43-47	25-35	16-24
Madeira mole	40-44	25-29	25-31
Arundo	31-42,5*	31,2-35,3*	18,5-20,4**
Composição Básica	40-50	20-30	10-25

Fonte: Santos et al. (2012), * Jeon et al. (2010); Lemons e Silva et al. (2015) **, Scordia et al. (2011).

A celulose é um polímero linear formado por moléculas de glicose unidas por ligações β -1,4 glicosídicas, sendo que a unidade repetitiva do polímero é a celobiose, formada por duas moléculas de glicose (Figura 1).

**Figura 1.** Estrutura química da celulose (SANTOS et al., 2012).

A hemicelulose é o polímero ramificado formado por diferentes carboidratos, de cinco carbonos (xilose e arabinose) e seis carbonos (glicose, galactose e manose) (Figura 2). A composição química da hemicelulose pode variar com a espécie vegetal e estágio de desenvolvimento da planta (HANGHIGHI MOOD et al., 2013; ANWAR et al., 2014; SILVA et al., 2009; RODRIGUES et al., 2013).

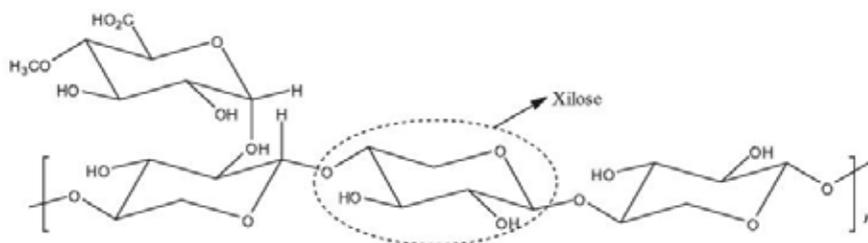


Figura 2. Estrutura de hemicelulose (SANTOS et al., 2012).

A lignina (Figura 3) apresenta estrutura tridimensional complexa e altamente ramificada baseada em precursores monoméricos p-hidroxibenzil (H), guaiacila (G) e siringila (S) derivados do álcool p-coumarílico, álcool coniferílico e álcool sinapílico, respectivamente (HANGHIGHI MOOD et al., 2013; SILVA et al., 2009; RODRIGUES et al., 2013).

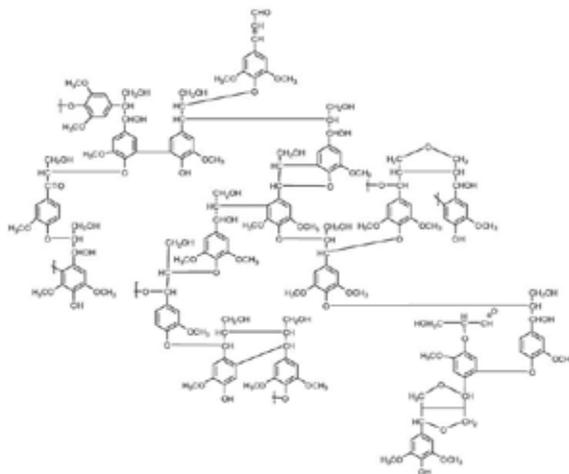


Figura 3. Estrutura química da lignina (SANTOS et al., 2012).

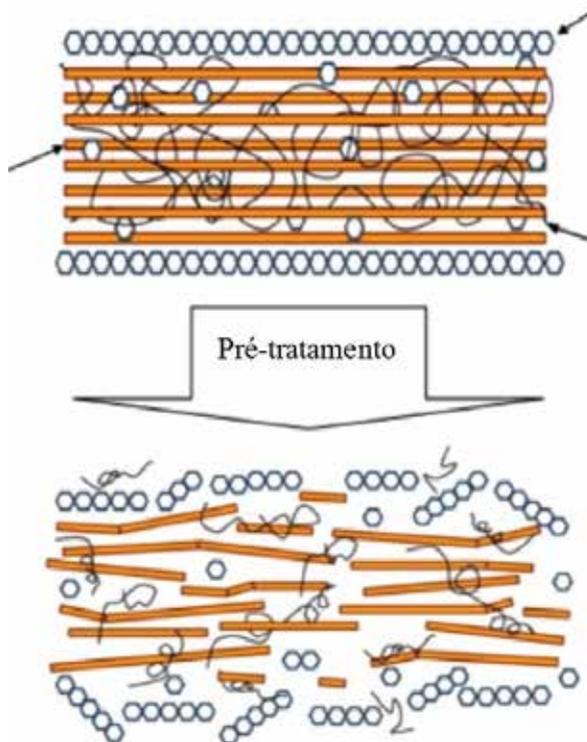


Figura 4. Representação da estrutura lignocelulósica da parede celular de plantas (NAIK et al. 2010).

O Brasil produz grande quantidade de cana-de-açúcar para a produção de etanol e açúcar, gerando grande quantidade de resíduos como palha e bagaço, que apresentam potencial para o uso como matéria-prima para etanol de segunda geração. Estima-se que com a palha e bagaço de cana-de-açúcar oriundos da indústria sucroenergética seja possível dobrar o volume de etanol produzido sem a necessidade do aumento da área cultivada com cana-de-açúcar (SANTOS et al., 2014).

Processo de produção de etanol de segunda geração

A produção de etanol a partir de biomassas lignocelulósicas consiste, basicamente, nas etapas de pré-tratamento da biomassa, hidrólise ou sacarificação para a produção de açúcares fermentáveis e fermentação dos açúcares para produção de etanol seguida da destilação do etanol produzido (Figura 5) (NAIK et al., 2010).



Figura 5. Etapas do processo de produção de etanol 2G.

Em função das características estruturais da biomassa, o pré-tratamento é essencial para seu aproveitamento e tem como objetivos a quebra de ligações das moléculas que compõem a biomassa, redução da cristalinidade da celulose e adequação às condições de reação para transformação bioquímica (HANGHIGHI MOOD et al., 2013; ANWAR et al., 2014; CASTRO; PEREIRA JUNIOR, 2010; RAMOS, 2003).

O pré-tratamento pode ser realizado através de diferentes métodos classificados em físicos, químicos ou físico-químicos. A escolha do método de pré-tratamento deve ser realizada de modo que se obtenha maior rendimento de açúcares e menor concentração de produtos de degradação (HANGHIGHI MOOD et al., 2013; ANWAR et al., 2014; ODEGA; PETRI, 2010). Pré-tratamentos físicos são conduzidos na primeira etapa de pré-tratamento e usualmente utilizados combinados com outros métodos (HANGHIGHI MOOD et al., 2013).

No pré-tratamento químico ácidos, bases, solventes orgânicos ou líquidos iônicos são utilizados com o objetivo de separar as frações

da biomassa. Fatores como concentração, temperatura, relação sólido:líquido e tempo têm influência nos rendimentos dos açúcares liberados. O pré-tratamento químico com ácido diluído é o mais utilizado pela eficiência e baixo custo (HANGHIGHI MOOD et al., 2013; ANWAR et al., 2014; ODEGA; PETRI, 2010).

A remoção de lignina no pré-tratamento é uma importante etapa para o aumento da eficiência da hidrólise enzimática dos carboidratos presentes na biomassa que pode ser obtida através do pré-tratamento alcalino (HANGHIGHI MOOD et al., 2013; ANWAR et al., 2014; KIM et al., 2016).

Outro pré-tratamento bastante utilizado é a explosão a vapor, que consiste na exposição da biomassa fragmentada com vapor saturado à alta pressão, seguida de redução rápida da pressão produzindo uma descompressão explosiva que desintegra a biomassa.

As etapas posteriores à desconstrução da biomassa são a hidrólise e fermentação que podem ser realizadas separadas ou simultaneamente através dos processos SHF (hidrólise separada da fermentação) e SSF (sacarificação simultânea à fermentação). A hidrólise enzimática ocorre pela ação das celulasas (compostas por enzimas endoglucanases, exoglucanases e β glucosidases) (Figura 6) e apresenta vantagens em relação à hidrólise ácida, como condições de reação mais brandas de pH, temperatura e pressão; além disso, a formação de produtos tóxicos ao processo fermentativo é limitada pela especificidade dos sistemas enzimáticos. O alto custo das enzimas é a principal desvantagem e pode inviabilizar economicamente o processo de produção de etanol (CASTRO; PEREIRA JUNIOR, 2010).

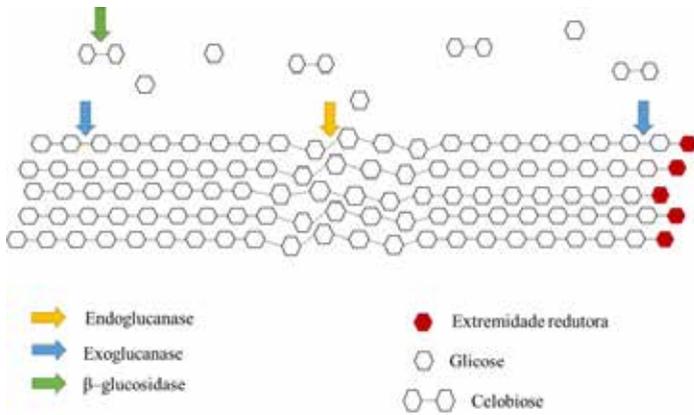


Figura 6. Representação esquemática da desconstrução enzimática de celulose (RODRIGUES et al., 2013).

A principal vantagem do processo SHF é a possibilidade de condução em condições ótimas para cada etapa, visto que, geralmente, a melhor atividade catalítica das celulases ocorre em temperaturas acima da ideal para a fermentação (CASTRO; PEREIRA JUNIOR, 2010).

O processo de SSF possibilita que, em um mesmo sistema reacional, a glicose liberada seja fermentada por microrganismos diminuindo assim a inibição das celulases pelo acúmulo de glicose e celobiose (CASTRO; PEREIRA JUNIOR, 2010).

As leveduras são os microrganismos mais empregados na fermentação de açúcares, linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* são utilizadas industrialmente para a produção de etanol (RODRIGUES et al., 2013).

O etanol de segunda geração já é produzido em várias regiões do mundo utilizando diferentes tipos de biomassa lignocelulósica. A Tabela 2 apresenta plantas em operação e previstas para a produção de etanol.

Tabela 2. Plantas, capacidade de produção e fonte de biomassa para a produção de etanol no mundo.

Local	Capacidade de produção de etanol (milhões de L)	Fonte biomassa
Brasil – GranBio (Alagoas)*	82	Palha de cana-de-açúcar
Brasil – Raízen (Piracicaba)*	42	Bagaço de cana-de-açúcar
EUA (Kansas)**	95	
EUA (Carolina do Norte)**	75	Gramíneas perenes
Itália*	75	Palha de arroz e trigo e arundo
China**	235	Palha de trigo e milho
República Eslovaca-Energochemica (Strazske)**	69	Palha milho, trigo, gramíneas e resíduos agrícolas

* Em operação

** Operação prevista

A utilização de matéria-prima renovável, a diminuição de gases de efeito estufa, a diminuição da dependência de derivados de petróleo e o uso de biomassas que podem ser consideradas resíduos são alguns das vantagens do ponto de vista ambiental da produção de etanol de segunda geração, porém o processo ainda apresenta alguns gargalos no que se refere ao elevado custo de enzimas para a hidrólise de polissacarídeos e à pouca eficiência na fermentação de pentoses (RODRIGUES et al., 2013; CASTRO; PEREIRA JUNIOR, 2010; ODEGA; PETRI, 2010).

Diversos países estão desenvolvendo pesquisas para o aumento da viabilidade do processo de produção, bem como o desenvolvimento de genótipos de plantas com maiores teores de fibras, o melhoramento de microrganismos para a produção de enzimas e para a fermentação de hexoses e pentoses simultaneamente, além da otimização das etapas do processo de produção.

Transferência de Tecnologia

Alberi Noronha

Alencar P. Rugeri

Andrea D. Hildebrandt Noronha

Cândida R. Scherrer Montero

O sistema de cultivo da cana-de-açúcar descata-se entre as unidades produtivas agrícolas familiares no Rio Grande do Sul. Historicamente, a produção destina-se à alimentação dos rebanhos e ao processamento artesanal com produção de melado, rapadura, açúcar mascavo e cachaça (ATLAS..., 2002, p. 84). Por sua vez, essas estratégias contribuem para fortalecer o autoconsumo das famílias, ou ainda, a geração de renda nos sistemas de produção agrícola.

Por sua vez, o itinerário técnico adotado na cultura baseia-se em práticas agrícolas e sociais adaptadas às condições agroecológicas e socioeconômicas. Nesse quadro, a fertilidade natural dos agroecossistemas sustenta rendimentos físicos e econômicos favoráveis à reprodução social dos estabelecimentos agrícolas. O saber e o saber-fazer dos agricultores, por sua vez, respondem pela autonomia no fornecimento de mudas e insumos. Em síntese, evidencia-se que a coevolução biológica, técnica e cultural do cultivo da cana-de-açúcar possibilita que essa atividade conviva com condições climáticas adversas e a incidência de pragas.

Nesse quadro, a Embrapa tem realizado diversas atividades de transferência de tecnologia e intercâmbio de conhecimentos junto aos

agricultores e técnicos de assistência técnica e extensão rural (Ater), a saber: dias de campo, oficinas, cursos, unidades demonstrativas e de observação, dentre outras. O objetivo consiste em promover a troca de experiências entre pesquisadores, técnicos e agricultores. Para tanto, aborda temas como zoneamento edafoclimático, cultivares recomendadas, produção de mudas, manejo da adubação, manejo de pragas e doenças, bem como questões relativas às operações de colheita, pós-colheita e processamento artesanal da cana-de-açúcar.

Na execução das ações prioriza-se articular processos de cooperação entre pesquisa, assistência técnica e extensão rural e organizações sociais. Em geral, as estratégias enfatizam o diálogo e a interação entre os atores sociais tomando por base observações, experiências e aprendizados compartilhados, especialmente quanto à diversidade e complexidade das realidades agrícolas e agrárias nas quais se propugna as tecnologias. Portanto, tecnologias desenvolvidas para a produção de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul devem integrar seu conteúdo e formato à base biológica, técnica e cultural da agricultura e dos agricultores.

As unidades demonstrativas e de observação são uma parte importante no que diz respeito às atividades de transferência de tecnologia acima mencionadas. Através delas é possível o contato dos agricultores com as variedades de cana recomendadas para estado, a observação direta das características dessas plantas em dias de campo bem como o acesso ao material para multiplicação de mudas. Algumas das unidades de observação e demonstrativas estão instaladas em parques de exposições agropecuárias como é o caso da Expodireto em Não-Me-Toque e da Expoagro Afubra em Rio Pardo, feiras onde circulam milhares de agricultores de diversas regiões do RS e do Brasil em busca de informação entre elas sobre a cultura da cana-de-açúcar. Outras áreas demonstrativas estão instaladas em escolas técnicas, universidades, agricultores, cooperativas e empresas privadas que atuam na área.

A seguir, são apresentadas as regiões onde temos essa rede de parcerias que de diferentes formas tem contribuído para o desenvolvimento da pesquisa com a cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Sul (Tabela1).

As unidades de observação tiveram início de maneira informal a partir do ano de 2006 no Município de Paim Filho. Nessas UD's ocorria a troca de materiais de cana-de-açúcar provindo dos produtores com denominação própria dos mesmos.

A partir do ano de 2010 as unidades de observação passaram a contar com os materiais de cana-de-açúcar testados e recomendados para o RS provenientes do trabalho conjunto da Embrapa Clima Temperado com a Ridesa (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro).

Tabela 1. Unidades observação da cana-de-açúcar no estado do RS.

Local de implantação (município)	Ano de Implantação
Paim filho	2006/2007
Jaboticaba	2007
Almirante Tamandaré do Sul	2008
Constantina, Jaboticaba, Alpestre, Paim Filho, Marcelino Ramos, Entre Rios do Sul, Bozano, Santiago e Formigueiro	2009
Uruguaiana, Cacequi, Formigueiro, Ibarama, Júlio de Castilhos, Santa Rosa e Bom Progresso	2010
Erval Seco, Santa Barbara do Sul, Santa Clara do Sul, Santo Antonio da Patrulha, Santa Maria, São Pedro do Sul, Bagé	2011
Passa Sete, Novo Cabrais, São Pedro do Sul, Santa Maria, São João do Polêsine e Marcelino Ramos	2012
Portão, Eldorado do Sul, São Pedro do Sul, Tuparendi, Marcelino Ramos, São Valentim e Campina das Missões	2013

Local de implantação (município)	Ano de Implantação
Nova Candelária, Tucunduva, Ubiretama, Salvador das Missões, São Francisco de Assis, Itaara, Dilermado de Aguiar, Santo Antonio da Patrulha, Portão (outro produtor), Araricá, Dois Irmãos, Guaporé e Ibarama	2014

Para aqueles agricultores que se interessam pelas variedades de cana recomendadas para o cultivo no RS, normalmente indica-se fazer uma solicitação de colmos junto ao parceiro local mais próximo, para que no período de colheita possam retirar o material vegetal para a produção de novas mudas. Essa nova área que implantada será uma nova área de demonstração e/ou observação e também de multiplicação de mudas, e assim a rede de parcerias e de multiplicação de mudas se amplia. Normalmente novas demandas de mudas são articuladas com os parceiros locais, os quais ajudam no processo de avaliação das canas e nos repassam as informações para os projetos de pesquisa, assim como repassam novas demandas de pesquisa para atender às demandas dos agricultores.

Referências

AGROFIT. BRASIL. Ministério da Agricultura. Disponível em: <http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons>. Acesso em: 08 Ago .2016.

ALMEIDA, L. C.; STINGEL, E.; ARRIGONE, E. B. **Monitoramento e controle de pragas de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira, 2008. 28p.

ALONSO, O. F. C.; ALBUQUERQUE, E. L.; PAGIARO, C. M. Efeito do nematicida carbofuran em cana planta e duas soqueiras subseqüentes. **Nematologia Brasileira**, v. 11, p. 115– 124, 1987.

ANWAR, Z.; GULFRAZ, M.; IRSHAD, M. J. Agro-industrial lignocellulosic biomass a key to unlock the future bio-energy: A brief review **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 7, p. 163-173, 2014.

BARCELOS, C. A.; MAEDA, R. N.; BETANCUR, G. J. V.; PEREIRA JUNIOR, N. Ethanol production from sorghum grains [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]: Evaluation of the enzymatic hydrolysis and the hydrolysate fermentability. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 28, p. 597-604, 2011.

BARROS, A. C. B.; MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R. Estudo de interação variedade-nematicida em cana-de-açúcar em solo naturalmente infestado por *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *Pratylenchus zaei*. **Nematologia Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 39-46, 2005.

BELLÉ, C.; KULCZYNSKI, S. M.; GOMES, C. B.; KUHN, P. R. Fitonematoides associados à cultura da cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul, Brasil. **Nematropica**, v. 44, p. 207-217, 2014.

BELLÉ, C. Fitonematoides na cultura da cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul: Levantamento, caracterização e reação de genótipos a *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus zaei*. 2014. 109 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente) - Universidade Federal de Santa Maria.

BELLÉ, C.; GOMES, C. B.; LIMA-MEDINA, I.; ROSA, J. B.; PACHECA, D. R.; CASA-COILA, V. H.; SILVA, S. D. dos A. e Diversidade de espécies de *Meloidogyne* em cana-de-açúcar no litoral norte do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 32., 2015, Londrina. **Nematologia: problemas emergentes e perspectivas: anais**. Londrina: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2015. p. 73.

BELLÉ, C.; GOMES, C. B.; SCHAFFER, J. T.; COILA, V. H. C.; PACHECO, D. R. Agressividade de populações de *Meloidogyne javanica* em cana de açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 33., 2016, Petrolina. **Anais**. p. 29,

BORGES FILHO, R. C. **Insetos associados à cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul e biologia de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae)**. 2015. 95 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

BOTELHO, P. S. M.; MACEDO, N. *Cotesia flavipes* para o controle de *Diatraea saccharalis*. In: PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. S. **Controle biológico no Brasil:** parasitóides e predadores. São Paulo: Manole, 2002. p. 409-425.

BOTELHO, P. S. M.; MENDES, A. C.; MACEDO N.; SILVEIRA NETO, S. Testes comparativos de armadilhas para coleta de *Diatraea saccharalis* (Fabr., 1794). **Brasil Açucareiro**, v. 88, p. 38-42, 1976.

BRAGARD, C.; CACIAGLI, P.; LEMAIRE, O.; LOPEZ-MOYA, J. J.; MACFARLANE, S.; PETERS, D.; SUSI, P.; TORRANCE, L. Status and prospects of plant virus control through interference with vector transmission. **Annual Review of Phytopathology**, v. 51, p. 177-201, 2013.

BROGLIO-MICHELETTI, S. M. F.; PEREIRA-BARROS, J. L.; SANTOS, A. J. N.; CARVALHO, L. W. T.; CARVALHO, L. H. L.; OLIVEIRA, C. J. T. Efeito do número de adultos de *Trichogramma galloi* Zucchi, 1988 (Hymenoptera: Trichogrammatidae) liberados em semanas sucessivas, para o controle de *Diatraea saccharalis* (Fabricius, 1794) (Lepidoptera: Crambidae). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 53-58, 2007.

BUOL, S. W.; HOLE, S. D.; McCracken, R. J. Soil genesis and classification. Ames: Iowa State University Press, 1973. 306 p.

CANAVIALIS. **Doenças: o perigo está à espreita**, 2010. Disponível em: <http://www.canavialis.com.br/newsletter/CanaVialis_Results_Report_9Edicao.pdf>. Acesso em: 21/09/2011.

CASTRO, A. M.; PEREIRA JUNIOR, N. Produção, propriedades e aplicação de celulasas na hidrólise de resíduos agroindustriais. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 181-188, 2010.

CHAVES, A.; PEDROSA, E. M. R.; SIMOES NETO, D. E. Nematoses da cana-de-açúcar In: SIMÕES NETO, D.; GARCIA, J. F. Cana-de-açúcar: pragas e doenças - Desafios fitossanitários e manejo sustentável. 4 ed. Jaboticabal: Multipress Ltda, 2016, v.4, p. 127-142.

CHAVES, A.; PEDROSA, E. M. R.; WILADINO, L. G.; CARDOSO, M. S. O. Activation of resistance to *Meloidogyne incognita* in sugarcane treated with pyraclostrobin. *Nematoda*, v.3, p.1 - 7, 2016b.

CHAVES, A. F. P.; PEDROSA, E. M. R.; GUIMARÃES, L. M. P.; MARANHÃO, S. R. V. L. Panorama atual dos estudos sobre nematóides em cana-de-açúcar no Nordeste Brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Nematologia, 33., Petrolina (PE). Anais. p.86-87, 2016c.

CHAVES, A.; MELO, L. J. O. T.; SIMÕES NETO, D. E.; COSTA, I. G.; PEDROSA, E. M. R. Declínio severo de desenvolvimento da cana-de-açúcar em tabuleiros costeiros do Estado de Pernambuco. **Nematologia Brasileira**, v. 31, p. 10-12, 2007.

CHAVES, A.; PEDROSA, E. M. R.; GUIMARÃES, L. M. P.; MARANHÃO, S. R. V.; SILVA, I. L. S. S.; MOURA, R. M. Indução de resistência a nematóides em cana-de-açúcar cultivada em solo de áreas que apresentam declínio de desenvolvimento em tabuleiros nordestinos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 37., 2004, Gramado. **Resumos...** Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2004. p. 142.

CHAVES, A.; PEDROSA, E. M. R.; MELO, L. J. O. Efeito de carbofuran, torta de filtro e variedades sobre a densidade populacional de fitonematóides em áreas com mau desenvolvimento da cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, v. 28, p. 101-103, 2004.

CHAVES, A.; PEDROSA, E. M. R.; MOURA, R. M. Efeitos da aplicação de terbufos sobre a densidade populacional de fitonematoides endoparasitos em cinco variedades de cana-de-açúcar no Nordeste. **Nematologia Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 167-176, 2002.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Nematóides: vilões subterrâneos. **Caderno Técnico Cultivar**, p. 3–6, 30 abr. 2011.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FERRAZ, L. C. C. B. Patogenicidade de *Pratylenchus brachyurus* e *P. Zeaea* duas variedades de cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, v. 15, n. 1, p. 9-16, 1991.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Nematoides e pragas de solo em cana-de-açúcar. **Informações Agronômicas**, v. 1, n. 110, Encarte, p. 25-32, 2005.

FARTEK, B.; NIBOUCHE, S.; ATIMA-NURBEL, T.; REYNAUD, B.; COSTT, L. Genotypic of sugarcane resistance to the aphid *Melanaphis sacchari*, vector of the Sugarcane yellow leaf virus. **Plant Breeding**, v. 133, p. 771-776, 2014.

FERRAZ, S.; FREITAS, L. G.; LOPES, E. A.; DIAS-ARIEIRA, C. R. (Ed.). **Manejo sustentável de fitonematoides**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2010. v. 1, 304 p.

FILIPPINI ALBA, J. M.; FLORES, C. A. Zoneamento edáfico da cana-de-açúcar para o Estado do Rio Grande do Sul. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 97 p.

FLORES, C.A.; FILIPPINI ALBA, J.M.; WREGGE, M. Zoneamento agroclimático do eucalipto para o Estado do Rio Grande do Sul e edafoclimático na região do Corede Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado/Embrapa Florestas, 2009. 87 p.

FONTENO, W. C. Growing Media: Types and Physical/Chemical Properties. In: REED, D. W. (Ed.). *A Growers Guide to Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops*. Batavia: The Ball, 1996. p. 93-122.

GOMES, C. B.; SIGNORINI, C. B.; SOMAVILLA, L.; LIMA-MEDINA, I.; SILVA, S. D. **Monitoramento das Populações do Nematóide-das-galhas e das Lesões em Cana-de-açúcar em Pelotas-RS**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011 (Embrapa Clima Temperado. Boletim Pesquisa, 149).

GOMES, R. S.; NOVARETTI, W. R. T. Levantamento de nematóides parasitos da cana-de-açúcar na usina Bonfim. **Nematologia Brasileira**, v. 9, n. 1, p. 135-141, 1985.

HANGHIGHI MOOD, S.; GOLFESHAN, A. H.; TABATABAEI, M.; JOUZANI, G. S.; NAJAFI, G. H.; GHOLAMI, M.; ARDJMAND, M. Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 77-93, 2013.

IBGE. **Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das Folhas SH. 21 Uruguiana e Si. 22 Lagoa Mirim**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796 p. [Continuação do extinto projeto RADAMBRASIL].

IBGE. **Geografia do Brasil**: Região Sul. Rio de Janeiro, 1990. v. 2, 420 p.

JARVIS, A.; REUTER, H. I.; NELSON, A.; GUEVARA, E. **Hole-filled seamless SRTM data**. Cali: International Center for Tropical Agriculture, 2008. Disponível em: <<http://srtm.csi.cgiar.org>>. Acesso em: 01 dez. 2008.

JEON, Y. J.; XUN, Z.; ROGERS, P. L. Comparative evaluations of cellulosic raw materials for second generation bioethanol production. **Letters in Applied Microbiology**, v. 51, p. 518-524, 2010.

KIM, J. K.; LEE, Y. Y.; KIM, T. H. A review on alkaline pretreatment technology for bioconversion of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 199, p. 42-48, 2016.

KLEIN, C. Utilização de substratos alternativos para produção de mudas. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 43-63, 2015.

KRAMER, P. J. **Plant and soil water relationship: a modern synthesis**. New York: McGraw-Hill, 1969. 482 p.

LEINZ, V.; LEONARDOS, O. H. **Glossário Geológico**. São Paulo: Cia. Ed. Nacional, 1977. 235 p.

LEMONS E SILVA, C. F., SCHIRMER, M. A., MAEDA, R. N., BARCELOS, C. A., PEREIRA JUNIOR, N. Potential of giant reed (*Arundo donax* L.) for second generation ethanol production. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 18, p. 10-15, 2015.

LUQUE, R.; HERRERO-DAVILA, L.; CAMPELO, J. M.; CLARK, J. H.; HIDALGO, J. M.; LUNA, D.; MARINAS, J. M.; ROMERO, A. A. Biofuels: a technological perspective. **Energy & Environmental Science**, v.1, p. 542-564, 2008.

MARTINAZZO, R.; SILVEIRA, C. A. P.; BAMBERG, A. L.; PILLON, C. N.; VALGAS, R. A. **Estimativa da geração de coprodutos de processos agroindustriais e da mineração e do potencial de fornecimento de nutrientes para a agricultura**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015. 48 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos).

MOURA, R. M. Controle integrado dos nematóides da cana-de-açúcar no nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 22., 2000, Uberlândia. **Anais**. p. 88-94.

MOURA, R. M. Dois anos de rotação de cultura em campos de cana-de-açúcar para controle da Meloidoginose. 2. Considerações sobre o método e reflexos na produtividade agro-industrial da cana planta. **Fitopatologia Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 597-600, 1995.

MOURA, R. M. Um sistema integrado de controle de fitonematoides da cana-de-açúcar para o Nordeste. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 7, p. 50-61, 2010.

MOURA, R. M.; MACEDO, M. E. A. Efeito da aplicação de carbofuran em populações de nematoides ecto e endoparasitas de cana-de-açúcar e no desenvolvimento de cana-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 20., 1997, Gramado. **Resumos...** Gramado: Sociedade Brasileira de Nematologia, 1997. p. 73.

MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R.; MARANHÃO, S. R. V. L.; MACEDO, M. E. A.; MOURA, A. M.; SILVA, E. G.; FERREIRA LIMA, R. Ocorrência dos nematoides *Pratylenchus zae* e *Meloidogyne* spp. em cana-de-açúcar no nordeste do Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, n. 1, p. 101-103, 2000.

MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. V.; MARANHA, S. R. V. L.; MOURA, A. M.; MACEDO, M. E. A.; SILVA, E. G. Nematoides associados à cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, Brasil. **Nematologia Brasileira**, v. 23, n. 2, p. 92-99, 1999.

MOURA, R. M.; REGIS, E. M. O.; MOURA, A. M. Espécies e raças de *Meloidogyne* assinaladas em cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Norte. **Nematologia Brasileira**, v.14, p.34-38. 1990.

NAIK, S. N.; GOUD, V. V.; ROUT, P. K; DALAI, A. K. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 578-597, 2010.

NAVA, D. E.; PINTO, A. S.; SILVA, S. D. dos A. **Controle biológico da broca da cana-de-açúcar**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009.

NOVARETTI, W. R. T. Controle de *Meloidogyne incognita* e *Pratylenchus zae* (Nematoda: Heteroderidae) em cana-de-açúcar associados ou não à matéria orgânica. 1997. 112 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo – ESALQ, Piracicaba.

NOVARETTI, W. R. T.; CARDERAN, J. O.; STRABELLI, J.; AMORIM, E. Efeitos da utilização de composto, associado ou não a nematicida e adubos minerais, no controle de fitonematoides e na produtividade de cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, v. 13, p. 93-107, 1989.

ODEGA, T. L.; PETRI, D. F. S. Hidrólise enzimática de biomassa. **Química Nova**, v. 33, p. 1549-1558, 2010.

OLIVEIRA, J. B. de. **Pedologia Aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574 p.

OLIVEIRA, M. D. S., **Cana-de-açúcar na alimentação de bovinos**. Jaboticabal: FUNEP, 1999. 128p.

PACHECO, D. R.; BECKER, C. E.; SCHAFFER, J. T.; BELLÉ, C.; GOMES, C. B. Potencial de rizobactérias no biocontrole de *Meloidogyne javanica* e na promoção de crescimento de plantas de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 33., 2016, Petrolina. **Anais**. p.136.

PEASE, W. S.; ALBRIGHT, D.; DEROOS, C.; GOTTSMAN, L.; KYLE, A. D.; MORELLOFROSC, R.; ROBINSON, J. C. **Pesticide contamination of round water in California**. Berkeley: University of California, 1995. 145 p.

PINTO, A. S.; BOTELHO, P. S. M.; OLIVEIRA, H. N. **Guia ilustrativo de pragas e insetos benéficos da cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP2, 2009. 160 p.

PINTO, A. S.; PARRA, J. R. P.; OLIVEIRA, H. N.; ARRIGONI, E. B. Comparação de técnicas de liberação de *Trichogramma galloi* Zucchi (Hymenoptera: Trichogrammatidae) para o controle de *Diatraea saccharalis* (Fabricius) (Lepidoptera: Crambidae). **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 2, p. 311-318, 2003.

RAMOS, L. P. The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. **Química Nova**, v. 26, n. 6, p. 863-871, 2003.

Rio Grande do Sul. Secretaria da coordenação e Planejamento. Atlas Socioeconômico: Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria da Coordenação e Planejamento. Porto Alegre: SCP, 2002. 2. ed. rev. ampl. 112p.: mapas;gráficos

RODRIGUES, D. S.; MENDES, T. D.; PACHECO, T. F. In: MACHADO, C. M. M. (Ed.). **Microrganismos na produção de biocombustíveis líquidos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 145.

SANTOS, F. A.; DE QUEIRÓZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; FERNANDES, S. A.; GUIMARÃES, VALÉRIA M.; REZENDE, S. T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**, v. 35, p. 1004-1010, 2012.

SANTOS, F. A.; QUEIROZ, J. H.; COLODETTE, J. L.; MANFREDI, M.; QUEIROZ, M. E. L. R.; CALDAS, C. S.; SOARES, F. E. F. Otimização do pré-tratamento hidrotérmico da palha de cana-de-açúcar visando à produção de etanol celulósico. **Química Nova**, v. 37, n. 1, p. 56-62, 2014.

SANTOS, H. G. dos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

SCORDIA, D.; COSENTINO, S. L.; LEE, J. W.; JEFFRIES, T. W. Dilute oxalic acid pretreatment for biorefining giant reed (*Arundo donax* L.). **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 3018-3024, 2011.

SEVERINO, J. J.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; TESSMANN, D. J.; SOUTO, E. R. Identificação de populações de *Meloidogyne* spp. parasitas da cana-de-açúcar na região Noroeste do Paraná pelo fenótipo da isoenzimaesterase. **Nematologia Brasileira**, v. 33, n. 3, p.206-211, 2008.

SHIELDS, S.; BOOPATHY, R. Ethanol production from lignocellulosic biomass of energy cane. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 65, p. 142-146, 2011.

SILVA, R.; HARAGUCHI, S. K.; MUNIZ, E. C.; RUBIRA, A. F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. **Química Nova**, v. 32, p. 661-671, 2009.

SILVA, S. D. dos A.; BAUER, C. B.; UENO, B.; NAVA, D. E.; ALMEIDA, I. R.; THEISEN, G.; DUTRA, L. F.; VERÍSSIMO, M. A. A.; PANZIERA, W.; DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A. de; BESPALHOK FILHO, J. **Recomendação de Variedades de Cana-de-açúcar para o Estado do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012 (b). 22 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico, 292).

SOJKA, R. E.; STOLZY, L. H. Soil-oxygen effects on stomatal response. **Soil Science**, v. 130, p. 350-358, 1980.

SPAULL, V. W.; CADET, P. Nematode parasites of sugarcane. In: LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDEE, J. (Ed.). **Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture**. Paris: C.A.B. International Institute of Parasitology, 1990. p. 461-491.

THIAGO, L. R. L.; VIEIRA, J. M. **Cana-de-açúcar – Uma Alternativa de Alimento para a Seca**. COT n° 73, 2002. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/325574/cana-de-acucar-uma-alternativa-de-alimento-para-a-seca>> Acesso em: 22 de ago de 2016.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Avaliação agronômica de um bio sólido industrial para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 261-269, 2005.

VALLE-LAMBOY, S.; AYALA, A. Pathogenicity of *Meloidogyne incognita* and *Pratylenchus zea*, and their association with *Pythium graminicola* on roots of sugarcane in Puerto Rico. **Journal of Agriculture of the University Puerto Rico**, v. 64, p. 338-347, 1980.

VASCONCELOS, A. C. M. **Desenvolvimento do sistema radicular e 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 Produção Vegetal) – UNESP, Jaboticabal. 2002.

VERÍSSIMO, M. A. A.; UENO, B.; SILVA, S. D. dos A. e; EICHOLZ, E. D.; ÁVILA, D.T. de. Incidência de doenças em genótipos de cana-de-açúcar no estado do Rio Grande do Sul, safra 2009/2010. In: SIMPÓSIO ESTADUAL DE AGROENERGIA, 3.; REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DE AGROENERGIA, 3., 2010, Porto Alegre. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 1 CD-ROM.

WILLEY, C. R. Effects of short periods of anaerobic and aerobic conditions on uptake by tobacco roots. **Agronomy Journal**, v. 62, p. 224-229, 1970.

Literatura recomendada

ABREU, M. F.; ABREU, C. A.; BATAGLIA, O. C. Uso da análise química na avaliação da qualidade de substratos e componentes. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS. **Anais...** p. 17-28. Campinas, 2002.

ALMEIDA, L. M.; SILVA, V. B. Primeiro registro de *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera, Coccinellidae): um coccinelídeo originário da região Paleártica. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, n. 3, p. 941-944, 2002.

ARRIGONI, E. B. Broca da cana-de-açúcar – importância econômica e situação atual. In: ARRIGONI, E. B.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; ROSSETO, R. **Pragas da cana-de-açúcar**: importância econômica e enfoques atuais. Piracicaba: STAB, 2002. p. 1-4.

CAMILOTTI, F.; ANDRIOLI, I.; MARQUES, M. O.; SILVA, A. R.; TASSO JUNIOR, L. C.; NOBILE, F. O.; NOGUEIRA, G. A.; PRATI, F. Produtividade e qualidade agroindustrial da cana-de-açúcar cultivada com lodo de esgoto, vinhaça e adubos minerais. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 24, n. 3, p. 32-35, 2006.

CHIBA, M. K. Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: Parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e rendimentos da cultura. 2005. 142 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; CARVALHO, F. O. Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 653-662, 2008.

COSTA, D. M.; FRANCEZ, A. C. C.; RIGOLIN-SÁ, O. Biologia da broca da cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis*) (Lepidoptera: Crambidae) em dieta artificial. **Ciencia et Praxis**, v. 3, n. 5, p. 13-16, 2010.

CRUZ, I. A **Broca da cana-de-açúcar, *Diatraea saccharalis*, em milho, no Brasil**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007b. 12 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 90).

DICK, J. The mealybugs of sugar cane. In: WILLIAMS, J. R.; METCALF, J. R.; MONTGOMERY, R. W.; MATHES, R. (Ed.). **Pests of Sugarcane**. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Co., 1969. p. 343–365.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; DOS ANJOS, I. A.; COSTA, V. P.; FRACASSO, J. V. Resistance of sugarcane cultivars to *Diatraea saccharalis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 1-7, 2012a.

DINARDO-MIRANDA, L. L. et al. Resistance of sugarcane cultivars to *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae). **Neotropical Entomology**, v. 43, p. 90-95, 2014.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V.; COSTA, V. P.; DOS ANJOS, I. A. Influência da infestação de *Diatraea saccharalis* (Fabr.) sobre parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 71, n. 3, p. 342-345, 2012b.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; GIL, M. A. Estimativa do nível de dano econômico de *Mahanarva fimbriolata* (Stål) (Hemiptera: Cercopidae) em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 66, n. 1, p. 81-88, 2007.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; PIVETTA, J. P.; FRACASSO, J. V. Economic injury level for sugarcane caused by the spittlebug *Mahanarva fimbriolata* (Stal) (Hemiptera: Cercopidae). **Scientia Agricola**, v. 65, n. 1, p. 16-24, 2008.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M. de; LANDELL, M. G. de A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2010. 882 p.

FERRARI, J.; HARAKAVA, R.; DOMINGUES, R. J.; TERÇARIOL, I. M. L. **Ferrugem alaranjada da cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Biológico, 2010. (Instituto Biológico. Documento Técnico, 005, maio de 2010). 8 p. Disponível em: <<http://www.biológico.sp.gov.br>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

FLORES, C. A.; GARRASTAZU, M. C.; FILIPPINI ALBA, J. M.

Metodologia de zoneamento edáfico de culturas para o Estado do Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 45 p.

FONSECA, T. G. **Produção de mudas de hortaliças em substratos de diferentes composições com adição de CO₂ na água de irrigação.** 2001. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

GALLO, D. Estudo da broca da cana de açúcar *Diatraea saccharalis* (Fabr. 1794). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 22, p. 183-184, 1965.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R. P. L.; BATISTA, G. C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIN, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. **Entomologia Agrícola.** São Paulo: FEALQ, 2002. 920 p.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 1069-1076, 2004.

INKERMAN, P. A.; ASHBOLT, N. J.; CARVER, M.; WILLIAMS, D. J. Observations on the pink sugarcane mealybug *Saccharicoccus sacchari* (Cockerell), in Australia (Hemiptera: Pseudococcidae). **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, v. 19, p. 612-619, 1986.

LOCKHART, B. E. L.; AUTREY, L. J. C.; COMSTOCK, J. C. Partial purification and serology of sugarcane mild mosaic virus, a mealybug-transmitted disease. **Etiology**, v. 82, p. 691-695. 1992.

MACEDO, N.; ARAUJO, J. R. Efeitos da queima do canavial sobre insetos predadores. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 29, n. 1, p. 71-77, 2000.

MAGAREY, R. C.; LONIE, K. J.; CROFT, B. J. **Sugarcane diseases Field guide**: Australian version. BSES Limited, 2006. 109 p.

MATOSO, E. S.; DE MARCO, E.; TATTO, F. R.; ALVES, G. C.; REIS, V. M.; SILVA, S. D. A. Sobrevivência de bactérias diazotróficas em substratos alternativos para a cana-de-açúcar. **Revista Congrega Urcamp** (Cd-Rom), v. 13, 2016.

MEDEIROS, C. A. B.; RODRIGUES, L. T.; TERRA S. **Casca de arroz e sua carbonização para utilização em substratos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica). No prelo.

MELO, A. B. P.; PARRA, J. R. P. Biologia de *Diatraea saccharalis* em diferentes temperaturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 7, p. 663-680, 1988.

MELO, A. B. P.; PARRA, J. R. P. Exigências térmicas e estimativa do número de gerações anuais de broca-da-cana-de-açúcar em quatro localidades canavieiras de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 23, n. 7, p. 691-696, 1988.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000.

MINAMI, K. Produção de mudas em recipientes. In: ENCONTRO NACIONAL DE SUBSTRATOS PARA PLANTAS. **Produção de mudas de alta qualidade em horticultura**. São Paulo: Fundação Salim Farah Maluf, 1995. cap. 3, p. 85-101

NIBOUCHE, S.; FARTEK, B.; MISSISSIPI, S.; DELATTE, H.; REYNAUD, B.; COSTT, L. Low genetic diversity in *Melanaphis sacchari* aphid populations at the worldwide scale. **Plos One**, v. 9, n. 8, p. 1-10, 2014.

OLIVEIRA, A. L. B.; FERREIRA, L. T.; HERCULANO, L.; OLIVEIRA, R. A.; PEREIRA, J. A. F.; CAMARA, T. R. Ação do hipoclorito na assepsia de explantes de cana-de-açúcar para embriogênese somática. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UFRPE - JEPEX, 10., 2010, Recife. **Anais**. Recife: Editora da UFRPE, 2010.

OLIVEIRA, G.; ANDRADE, L. F. **Bactérias Endofíticas**. Universidade Estadual de Montes Claros, Fisiologia das Plantas Cultivadas. Janaúba – MG, 2010.

OLIVEIRA, K. S.; OLIVEIRA, K. S.; ALOUFA M. A. I. Influência de substratos na germinação de sementes de *Anadenanthera culubrina* (Vell.) Brenan em condições de casa de vegetação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1073 – 1078, 2012.

PARRA, J. R. P.; BOTELHO, P. S. M.; CORRÊA-FERREIRA, B. S.; BENTO, J. M. **Controle biológico no Brasil**. São Paulo: Manole, 2002. 609 p.

PEREIRA, W.; LEITE, J. M.; HIPÓLITO, G. de S.; SANTOS, C. L. R. dos; REIS, V. M. Acúmulo de biomassa em variedades de cana-de-açúcar inoculadas com diferentes estirpes de bactérias diazotróficas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 363-370, 2013. DOI: 10.1590/S180666902013000200020.

PINTO, A. S.; GARCIA, J. F.; OLIVEIRA, H. N. Manejo das principais pragas da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: [s.n.], 2006. p. 257-280.

PRAGANA, R. B. **Potencial do resíduo da extração da fibra de coco como substrato na produção agrícola**. 1998. 84 f. Dissertação (Mestrado) - UFRPE, Recife.

RASSABY, L.; GIRARD, J. C.; LETOURMY, P.; CHAUME, J.; IREY, M. S.; LOCKHART, B. E. L.; KODJA, H.; ROTT, P. Impact of Sugarcane yellow leaf virus on sugarcane yield and juice quality in Reunion Island. **European Journal of Plant Pathology**, v. 109, p. 459-466, 2003.

REIS, V. M. **Desenvolvimento de inoculante de cana-de-açúcar utilizando uma mistura polimérica para veiculação de bactérias diazotróficas**. Projeto 23439, Embrapa Agrobiologia, 2011.

REIS, V. M. **Inoculante contendo bactérias fixadoras de nitrogênio para aplicação em cana-de-açúcar**. Projeto 12441, Embrapa Agrobiologia, 2008.

RESENDE, J. A. M.; ROSSETO, C. J. Incidência de *Saccharicoccus sacchari* (Cockerell, 1895) (Homoptera, Coccoidae, Pseudococcidae) em variedades de cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 38, n. 8, p. 37-40, 1979.

ROSSETO, R.; SANTIAGO, A. D. **Doenças da cana-de-açúcar**. Agência de Informação EMBRAPA: Cana-de-açúcar, 2005. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-açúcar/arvore/CONTAG01_55_711200516718.html>. Acesso em: 01 nov. 2016.

SANGUINO, A. Situação atual da pesquisa em doenças da cana-de-açúcar. **Summa Fitopatológica**, v. 24, n. 1, p. 90-91, 1998.

SILVA, M. T. **Lodo de esgoto como insumo para produção de mamona**. 2015. 80 f. Dissertação - UFPEL, Pelotas.

SINGH, B. U.; PADMAJAJA, P. G.; SEETHARAMA, N. Biology and management of the sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari* (Zehntner) (Homoptera: Aphididae), in sorghum: a review. **Crop Protection**, v. 23, p. 739-755, 2004.

SISTEMA brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Florestalis**, n. 64, p. 150-162, 2003.

VIEIRA, R. A.; SILVA, C. M.; SOUTO, E. R.; HATA, F.T.; MACHADO, M. F. P. S.; MARCUZ, F. S. Diferentes concentrações de 6-Benzilaminopurina e cinetina na micropropagação in vitro de variedades RB867515 e RB855156 de cana-de-açúcar. **Campo Digital**, v. 4, n. 1, p. 122-126, 2009.

ZORZETO, T. O. **Caracterização física e química de substratos para plantas e sua avaliação no rendimento do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.)**. 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Agrônômico, Campinas.

Embrapa

Clima Temperado

MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**

