



GEADA EM CANA-DE-AÇÚCAR

O que fazer, quando fazer e porque fazer



CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVEIRA

Realização:



CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA

Colaboração:



Responsável técnico: Nilceu Piffer Cardozo

Índice

Uma palavra sobre a safra 2021/22	4
Geadas: definições e características.....	6
Geadas: fatores de formação e intensificação	8
Fatores macroclimáticos.....	8
Fatores topoclimáticos.....	8
Fatores microclimáticos.....	9
Fatores agravantes.....	10
Geadas em cana-de-açúcar	11
Efeitos na planta	11
Fatores que intensificam impactos em cana-de-açúcar	12
Intensidade da geada:	13
Características da planta	13
Condições de manejo da cana-de-açúcar	15
Condições pós-geada.....	17
Impactos à cultura.....	17
Canaviais afetados pela geada: procedimentos.....	20
Antes da geada.....	20
Após geada.....	21
Critérios de avaliação e consolidação das informações.....	22
Medidas pós mapeamento de danos por geada	23
Canaviais a serem colhidos.....	23
Canaviais em formação (plantios e brotação de soqueira).....	26
Áreas de Viveiros.....	27
Considerações finais	29
Referências Bibliográficas.....	31
ANEXO 1: evolução dos danos a gema apical.....	34
ANEXO 2: danos às gemas laterais.....	35

Uma palavra sobre a safra 2021/22

Toda safra canvieira é diferente, traz um 'novo' e complexo desafio. No mundo 'pós-Covid-19', seria possível dizer que o centenário setor sucroalcooleiro do Brasil já teria enfrentado de tudo. Porém, quis o destino que a safra 2021/22 desafiasse todos os parâmetros até então conhecidos na região Centro-Sul do país e colocasse em dúvida o potencial produtivo dos canaviais. Afinal, a safra 2021/22 tem sido complicada desde a sua formação (abril de 2020 a março de 2021) devido a uma restrição hídrica de proporções históricas, com cerca de 80% das unidades produtoras apresentando redução de quase 40% na precipitação histórica esperada. As condições críticas à formação dos canaviais foram intensificadas pelo clima seco observado desde abril de 2021. Uma condição comum e característica desse período do ano (outono e inverno) na região, mas que foi agravada pela restrição hídrica acumulada nos meses de primavera e verão, tipicamente chuvosos. Esses fatores têm resultado em produtividades muito abaixo do esperado para esse período do ano.

E não bastasse tais entraves, o período mais seco e frio do ano trouxe novos desafios: geadas. Eventos relativamente comuns em algumas regiões do Centro-Sul brasileiro e com grande potencial de danos. No período de 29 de junho a 01 de julho de 2021, entretanto, foram registrados valores de temperatura mínima do ar próximos ou, até mesmo, inferiores a 0°C em muitas regiões produtoras, com ou sem 'tradição' de ocorrência de geadas. Além das áreas 'tradicionais', tais como norte do Paraná e sul dos estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul, ocorrências de geadas (de intensidade variada) foram observadas em grande parte do estado de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e, até mesmo, no sul do estado do Mato Grosso. Essa situação se assemelha a observada na safra 2011/12, quando, em período similar (há exatos 10 anos), foram registradas geadas de grande intensidade e extensão no Centro-Sul brasileiro. Os danos decorrentes das geadas, somados a outros fatores como clima seco, fez da safra 2011/12 aquela de maior quebra de produção na história recente da região Centro-Sul.

Diferenças óbvias à parte, os reflexos do clima em 2020 e 2021 tem potencial para promover fortes impactos à safra 2021/22, tal qual os observados em 2011/12. Contudo, o momento atual do setor é outro: está adaptado à mecanização das operações, utilizando novas tecnologias e com ótimas perspectivas de mercado atual e futuro. Com isso, apesar da perspectiva de quebra de produção no Centro-Sul brasileiro tornar-se mais intensa a cada dia e dar a 2021/22 a alcunha de 'safra resiliência', não há dúvidas de que as adversidades serão superadas. Apesar de tudo, o setor irá continuar, não há dúvida.

Em um momento tão crítico, nada melhor do que retomar antigos conceitos e informações úteis ao produtor. Apesar de o enfrentamento à geada não ser tarefa fácil e o trabalho, muitas das vezes, consistir em buscar alternativas que minimizem as perdas (sem, contudo, evitá-las por completo), sua realização adequada pode definir quem permanecerá no jogo. O objetivo desse trabalho foi

compor uma revisão detalhada dos efeitos da geada em cana-de-açúcar, fatores que os intensificam e, obviamente, como as formas mais adequadas de enfrentá-los.

Geadas: definições e características

A geada é um fenômeno meteorológico caracterizado por valores de temperatura do ar inferiores a 0°C próximos a superfícies expostas à atmosfera, como o solo nu, relva ou dossel de plantas (Pereira et al, 2002). Para a agricultura, geada é o fenômeno atmosférico que provoca danos ou, até mesmo, a morte das plantas ou de suas partes (folhas, caule, frutos, ramos) em função da redução extrema da temperatura do ar. Durante tais ocorrências há congelamento dos tecidos vegetais, processo que resulta na desidratação das células, perda do potencial de turgescência, redução do volume celular e plasmólise. As folhas ficam flácidas, inicialmente com coloração verde escura e posteriormente com coloração amarela (seca). No caule os vasos condutores necrosados tornam-se escuros, o mesmo ocorrendo com as gemas laterais ou apicais, devido a morte dos tecidos (Astolpho et al., 2004; Pereira et. al, 2002). A suscetibilidade das culturas agrícolas às geadas varia com a espécie e com o estágio fenológico das plantas no momento da ocorrência (Camargo et al., 1993). Valores de temperatura mínima inferiores a -2 e -4 °C são consideradas como referências para o início de danos irreversíveis em plantas de espécies menos e mais resistentes ao frio, respectivamente (Mota, 1981).

Obviamente, o período de maior ocorrência de geadas no Centro-Sul brasileiro se dá durante o inverno, com maior frequência no mês de julho, mas também com ocorrências comuns em junho e agosto. Durante esse período do ano, a entrada de massas de ar polar promove reduções da temperatura do ar, as quais podem resultar na ocorrência de geadas. A intensidade da redução da temperatura do ar varia tanto em função da magnitude da massa de ar polar quanto das condições ambientais vigentes, especialmente condições de clima seco e céu limpo. Em tais condições a perda noturna de energia pela superfície, devido à emissão de radiação infravermelha (ondas longas) para o espaço, é acentuada (Molion et al., 1981). Grosso modo, as geadas podem ser classificadas, quanto à sua formação, em dois tipos principais:

- ✓ **Geada de advecção ou de vento frio:** tem menor frequência e está relacionada a passagem de massas de ar frio e seco, associadas a ventos fortes e constantes resfriam intensamente as plantas. São localizadas e podem causar grandes prejuízos para as lavouras atingidas. O principal dano é causado pelo vento, na face da planta de maior exposição ao mesmo (Pereira et al., 2002);
- ✓ **Geada de radiação:** ocorre com maior frequência, logo após a passagem de intensa massa de ar polar, sob condições de céu limpo, tempo seco e ausência de ventos, com alcance geralmente regional. Nessa situação, há acentuada perda de calor das superfícies expostas (emissão de radiação de ondas longas) e da camada de ar mais próxima ao solo, que se resfria por condução (Caramori e Manetti, 1993). Em tais condições, a baixa condutividade térmica do ar e a maior densidade do ar frio provocam a formação de um gradiente de temperatura próximo à superfície, denominado

"inversão térmica", ou seja, a temperatura da relva é inferior a temperatura do ar medida no abrigo (Valli, 1972; Astolpho et al., 2004).

Nas condições do Centro-Sul brasileiro as geadas mais frequentes são as de radiação nas quais, dependendo da umidade relativa do ar, pode haver formação de gelo sobre as plantas ou não, um dos principais fatores a diferenciar os tipos de geada pelo visual:

- ✓ **Geada branca:** geada de radiação que ocorre em condições de umidade relativa do ar mais elevadas (superiores a 50%), quando a concentração de vapor de água na atmosfera é suficiente para que haja sua condensação nas superfícies (ou seja, a temperatura do ponto de orvalho é ligeiramente superior de 0°C) e, posteriormente, o seu congelamento. Sua severidade é menor, pois com a condensação seguida do congelamento da água, há liberação de calor latente para o ambiente. Desse modo, há redução da taxa de resfriamento, o que faz com que a temperatura mínima não seja tão baixa;
- ✓ **Geada Negra:** geada de radiação que ocorre em condições de baixa umidade relativa do ar (inferior a 50%). Em tal condição, a temperatura letal para as plantas é atingida antes que haja a condensação do vapor d'água presente no ar e a formação do orvalho (ou seja, a temperatura do ponto de orvalho é inferior que a temperatura letal, menor que 0°C). Trata-se de uma condição de maior severidade, pois a temperatura do ar atinge valores muito baixos, o que implica morte do tecido vegetal sem que haja a formação de gelo nas superfícies. Nesse caso, o vapor d'água do ar em contato com a superfície fria passa diretamente para o estado sólido, se depositando sobre as superfícies e conferindo um aspecto esbranquiçado sobre a paisagem, mas sem os cristais de gelo característicos da geada branca.

É importante frisar que a temperatura do ar medida no abrigo, não corresponde, necessariamente, àquela a que as plantas estão expostas. Como discutido, a inversão térmica, comum em ocorrências de geadas de radiação, levará a uma condição em que as superfícies expostas à atmosfera apresentarão temperaturas inferiores (entre 4 a 5°C) em relação à registrada em abrigo termométrico, instalado a 1,5 m de altura (Bootsma, 1976; Bootsma, 1980; Sentelhas et al., 1995). Dessa forma, pode-se considerar que houve geada, do ponto de vista agrônomo, quando a temperatura no abrigo meteorológico se aproxima de 2°C, o que corresponderia a um valor de, pelo menos, -2°C na relva.

Geadas: fatores de formação e intensificação

As características de uma determinada região ou local podem ampliar a frequência e a intensidade das geadas, resultando em valores de temperatura mínima do ar ainda mais baixos e por maior período do que registrado em estações meteorológicas. Em termos gerais, destacam-se os seguintes fatores:

1) Fatores macroclimáticos. São aqueles relacionados à escala regional ou geográfica do clima, sendo os principais:

- ✓ **Latitude:** de forma geral, quanto maior a latitude, maior a ocorrência de geadas. Entre latitudes de 23 e 27° ocorrem no inverno e, em latitudes de 27°, podem ocorrer, além do inverno, de forma precoce no outono e tardia na primavera;
- ✓ **Altitude:** entre latitudes de 19° a 23°S a frequência de geadas aumenta em função da altitude (Camargo, 1972): quanto maior, menor a temperatura média regional e maior a probabilidade de ocorrência de geadas;
- ✓ **Continentalidade/Oceanidade:** os oceanos constituem um moderador de variações de temperatura devido ao alto poder calorífero da água. Assim sendo, as regiões mais distantes do oceano, no interior do continente, tendem a apresentar maiores variações na temperatura do ar e, por conseguinte, geadas;
- ✓ **Massa de ar polar:** no Brasil, massas de ar polar normalmente chegam ao país passando pelos Andes ou pelo Oceano Atlântico. Regiões brasileiras mais próximas da entrada de tais massas tendem a apresentar geadas com maior frequência e intensidade, tais como os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul e sul de São Paulo. Contudo, em condições de clima muito seco e grande intensidade da massa de ar polar, essa pode avançar pelo interior do país, levando a formação de geadas em estados como Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso.

2) Fatores topoclimáticos. São aqueles relacionados à topografia do terreno, em escala regional ou local, que podem afetar as condições de aquecimento/resfriamento do solo, além do escoamento e o acúmulo de ar frio em determinados locais. Tais fatores ajudam a entender por que algumas regiões ou áreas específicas tendem a apresentar danos com maior frequência que outras. Nesse caso, destacam-se dois fatores:

- ✓ **Configuração do terreno:** as geadas são mais frequentes e intensas nas áreas situadas nas configurações do terreno onde o ar frio é acumulado. A maior densidade do ar frio faz com que ele seja escoado seguindo a declividade do terreno e acumulado nas áreas mais baixas. Esse fato promove um gradiente de temperatura ao longo do perfil do terreno (mais altas na parte superior e gradativamente menores até o ponto mais baixo), o que justifica a ocorrência de um gradiente de sintomas e danos que seguem a mesma distribuição espacial. Em terrenos planos e extensos, como grandes planaltos

ou planícies, a ausência de declividade impede o escoamento do ar frio. O ar frio estagnado intensifica a ocorrência de geadas, as quais tendem a ser mais homogêneas pela ausência de um gradiente de temperatura;

- ✓ **Exposição do terreno:** influencia na quantidade de radiação incidente, gerando variações na temperatura, especialmente importantes no período de inverno. Nas condições brasileiras, os terrenos com face voltada para o sul são menos expostos à radiação solar durante o inverno, o que os torna naturalmente mais frios e sujeitos aos efeitos de ventos (de direção predominante SE). Isso faz com que as geadas sejam mais frequentes e intensas nessas áreas e explica variações localizadas dos danos.

3) Fatores microclimáticos. São fatores de escala local, ou seja, de extensão geográfica limitada e relacionados a aspectos específicos de uma determinada localidade ou cultura. Nesse caso, pode-se destacar:

- ✓ **Cobertura do solo:** o solo descoberto funciona como moderador da temperatura do ar durante o inverno, à medida que armazena calor durante o dia (absorção de radiação solar) e o libera durante a noite, na forma de radiação de ondas longas. Constitui, assim uma importante fonte de calor durante o inverno que pode amenizar a temperatura da superfície. A manutenção de cobertura morta favorece o processo de resfriamento, alterando o balanço de radiação. Isso ocorre porque a cobertura atua como um isolante térmico, que reduz a incidência de radiação solar no solo e, conseqüentemente, seu aquecimento durante o dia. Durante a noite o efeito é inverso e a palhada reduz a transferência de calor à atmosfera, fatores que levam à intensificação das geadas;
- ✓ **Características do solo:** a condução e armazenamento de calor do solo depende da densidade aparente, capacidade, condutividade e difusividade térmicas. Tais características são afetadas pela textura, cor, grau de compactação e teor de umidade do solo, o que resulta em variação na absorção, armazenamento e transferência de calor. Em geral, solos com maior condutividade e capacidade térmicas apresentam menor amplitude de temperatura na superfície, ou seja, a diferença entre sua temperatura máxima e mínima é menor. Geralmente, quanto menor a amplitude, maiores são as temperaturas mínimas da superfície e do ar próximo ao dossel da cultura. Solos mais argilosos, pesados e escuros tendem a absorver mais radiação, porém apresentam menor condutividade térmica quando comparados a solos arenosos, mais leves e claros. Conseqüentemente, a difusividade térmica neles é menor e estão mais sujeitos a danos por congelamento. Contudo, o grau de compactação e o teor de umidade do solo provem mudanças em parâmetros como a difusividade e a condutividade térmica, alterando tais relações dentro de determinados limites;
- ✓ **Proximidade de corpos d'água:** rios, represas e lagoas de grande lâmina d'água podem atuar como fontes de calor locais, em processo semelhante ao

exercido pelos oceanos, embora sua escala de atuação seja, obviamente, muito menor.

4) Fatores agravantes. São fatores naturais ou artificiais de escala local que podem intensificar o acúmulo de ar frio por constituírem uma barreira a seu escoamento no perfil do terreno. Esse fato é facilmente observado nas proximidades de matas ciliares ou de vegetação de grande porte à jusante. A existência de barreiras no interior ou abaixo da lavoura, como depressões ou terraços também podem levar à retenção de ar frio, o que pode resultar em danos localizados, especialmente em plantas de porte baixo ou em brotação inicial.

Geadas em cana-de-açúcar

A literatura acerca das ocorrências de geadas e seus efeitos específicos na cultura da cana-de-açúcar é bastante ampla, com trabalhos importantes realizados desde a década de 1960. Na maioria dos casos, foram estudados os sintomas, as perdas de produtividade e a deterioração da matéria-prima decorrentes de geadas. Mas também há trabalhos que buscam identificar características varietais relacionadas a resistência ao frio, enquanto outros abordam cuidados a serem tomados para reduzir os impactos negativos durante o processo industrial. Apesar da grande quantidade de informações, é preciso cuidado ao realizar comparações e extrapolações. Há muitas variáveis envolvidas, seja na ocorrência da geada, seja nas condições em que foram conduzidos os trabalhos. A compreensão dos efeitos e sintomas da ocorrência de geadas nas plantas, os fatores que intensificam os danos e como eles interagem permitirá a adoção das práticas de manejo mais adequadas.

Efeitos na planta

Os efeitos da geada envolvem danos às células dos diferentes tecidos da planta, fato que pode resultar de simples 'queima' de folhas, a morte da gema apical e, até mesmo, das gemas laterais. Seus danos podem ser classificados de várias formas e a escala aqui representa uma adaptação dos trabalhos de Cross (1945), Fors (1971) e Humbert (1973):

- ✓ **1° grau:** após exposição a baixas temperaturas, as folhas de cana-de-açúcar apresentam uma coloração violeta azulada. Nesse caso, a temperatura dos tecidos é superior a 5°C e configura o menos prejudicial dos sintomas promovidos pela geada, como pouco ou nenhum prejuízo para a cultura (Burgos, 1963);
- ✓ **2° grau:** ocasiona a queima ou dessecação das folhas sem, contudo, matar a gema apical. Nesse caso, a temperatura crítica é menor, normalmente oscilando entre 0 a 2°C (Edmé e Glaz, 2013; Hale et al., 2016). Eventuais brotações laterais em gemas superiores podem ser observadas, mesmo sem a morte da gema apical, em função do aumento temporário dos níveis de etileno. O crescimento da cultura é reduzido, pois as folhas fotossinteticamente ativas são "queimadas" e o colmo pode apresentar constrição no ponto de injúria. Contudo, novas folhas surgirão com a retomada de crescimento, durante a primavera e o retorno das chuvas;
- ✓ **3° grau:** ocorre a morte da gema apical, o que implica dano irreversível e início da senescência do colmo. Em tal condição a temperatura dos tecidos meristemáticos é inferior a 0°, normalmente entre -1,0 à -2,0°C (Edmé e Glaz, 2013; Hale et al., 2016). Barton (1936) observou que o primeiro ponto de injúria na cana-de-açúcar está situado 2,5 cm acima da gema apical no centro do cartucho de folhas imaturas. Após a geada esse tecido adquire aparência aquosa, em seguida, coloração marrom característica (Anexo 1). Com o passar dos dias, as folhas centrais do palmito morrem ('coração morto') e são facilmente

destacadas do cartucho. Na ausência da dominância apical, as gemas laterais superiores começam a brotar e sua evolução resulta em colmos de pontas múltiplas ("envassouradas"). Eventualmente, tais brotos podem constituir novo ponto de dominância (com produção de auxinas), impedindo a brotação das gemas inferiores e mantendo o colmo vivo de modo que a deterioração iniciada no meristema apical ficará restrita aos primeiros internódios do palmito;

✓ **4° grau:** a gema apical e as laterais próxima ao topo são mortas pela geada em temperaturas normalmente mais baixas, entre -2,0 à -3,0°C (Brignoli, 1972). As gemas laterais mortas apresentam escurecimento similar ao apresentado pela gema apical e se desmancham com o toque. Brotações laterais poderão ser observadas em gemas inferiores, não danificadas pela geada. Plantas com tais danos são facilmente identificadas pela ausência de brotos típicos, próximos ao palmito, e brotos no terço médio à base. Com o maior número de tecidos mortos, a deterioração tende a ser mais rápida, pois há mais focos de infecções por fungos e bactérias;

✓ **5° grau:** ocorre a morte de todas as gemas da planta (apical e laterais) em condições de prolongada exposição a temperaturas muito baixas, normalmente inferiores a -3,5°C (Edmé e Glaz, 2013). Nesse caso, a deterioração tende a ser ainda mais rápida e a planta pode iniciar o processo de brotação na base, com perfilhos surgido ao nível do solo;

✓ **6° grau:** ocorre a rachadura dos colmos devido ao congelamento do líquido celular, quando a planta é exposta a temperaturas próximas ou inferiores -6°C (Hale et al., 2016). Trata-se do sintoma mais crítico, pois engloba todos demais (morte de folhas e gemas apical e laterais) e são menos frequentes nas condições brasileiras. Tais rachaduras tendem a se fechar parcialmente após o descongelamento, mas constituem fator adicional na intensidade de deterioração da matéria-prima. A severidade dos danos é tão intensa que se tornam perceptíveis na indústria em apenas 1 a 2 semanas após a ocorrência da geada (Brignoli, 1972).

Fatores que intensificam impactos em cana-de-açúcar

Os valores de temperatura crítica apresentados representam referências, as quais podem sofrer variações em função da forma como foram obtidos e, principalmente, em pelos inúmeros fatores atuantes durante a ocorrência de geadas. A intensidade dos danos decorrentes de geadas em cana-de-açúcar depende de vários fatores predisponentes, relacionados a condições climáticas, efeitos regionais, manejo e aspectos varietais (Legendre et al., 2007; Hale et al., 2016). Trata-se de um evento multivariado, onde a interação entre os diversos fatores modifica a expressão dos prejuízos (Irvine, 1965). Esse fato torna extremamente importante a correta identificação dos diferentes graus de injúrias, pois ela terá impactos significativos no manejo a ser adotado. Ao conhecer os principais fatores que podem influenciar os danos da geada em cana-de-açúcar, o produtor **saberá como, onde e quando procurar pelos danos**. De forma

geral, pode-se dizer que a magnitude e extensão da geada se dá em função dos seguintes fatores principais:

1) Intensidade da geada: a temperatura mínima atingida e o número de horas que permanece baixa são os fatores mais importantes que determinam o grau de injúria causada pela geada. Esse grau varia desde a simples queima das folhas, morte do meristema apical, até à morte de gemas laterais superiores e mesmo a morte total de gemas. Nesse caso, as podem-se destacar como fatores importantes na ampliação dos efeitos das baixas temperaturas:

a) Condições climáticas antes e durante a geada: as condições ambientais vigentes podem intensificar os efeitos provocados pela entrada de uma massa de ar polar e, entre elas, destaca-se a direção e velocidade dos ventos e, principalmente, as condições de umidade, seja da atmosfera, do solo ou da planta (Belcher et al., 1965; Gosnell e Koenig, 1972). Como visto, tais fatores influenciarão na taxa de perda de energia, na forma de radiação de ondas longas, para a atmosfera, intensificando a redução da temperatura. A velocidade de redução da temperatura do ar e o valor mínimo atingido definirão a extensão dos danos provocados pela geada em cana-de-açúcar (Bliss, 1946; Chen e Chen, 1973);

b) Tempo de exposição: a significativa variabilidade dos valores críticos para os diversos danos em cana-de-açúcar decorre dos já citados e inúmeros fatores envolvidos no processo da geada. Um deles, em especial, está relacionado ao tempo de exposição a uma determinada temperatura, o que explica parte da variabilidade dos relatos quanto aos valores mínimos requeridos. Segundo Humbert (1973), longos períodos de temperaturas negativas próximas a 0°C também causam severos danos a cultura da cana-de-açúcar. Esse fato foi descrito por Irvine (1969), ao observar que plantas de cana-de-açúcar submetidas a temperaturas de -6°C durante apenas 4 horas apresentavam danos semelhantes àquelas expostas à -0,5°C durante 48 horas. A morte da gema apical poderá ocorrer quando a temperatura for inferior a -2,2°C, durante pelo menos 3 horas. Já a morte das gemas laterais ocorre com temperaturas abaixo de -2,2 °C durante 7 horas ou inferior a -4,4°C durante mais de 0,6 horas (Belcher et al., 1965). Deve-se lembrar que a temperatura do abrigo, nesse caso, não corresponde a do dossel, muito menos as diferentes temperaturas alcançadas em cada parte da planta. Por isso, há variação não apenas da temperatura mínima atingida, mas também do tempo de exposição que resultarão em danos igualmente variáveis;

2) Características da planta: a temperatura do ar e da superfície das diversas partes de uma planta variam consideravelmente durante uma geada e, portanto, geram diferentes respostas. Os efeitos de uma geada sobre a cana-de-açúcar dependem, então, da temperatura observada nas diferentes partes da planta, as quais estão em maior ou menor grau protegidas pelas folhas, bainhas, casca etc. (Cross, 1945). Esse grau de proteção varia em função de fatores como estágio, idade da planta e variedade.

- ✓ **Estágio de corte:** está relacionado com ao vigor, sanidade, estado nutricional e grau desenvolvimento vegetativo da cultura no momento da ocorrência de geada. Canaviais de melhor desenvolvimento vegetativo, sem canas tombadas e com a copa foliar mais fechada tendem a apresentar menores efeitos negativos das geadas. Além disso, cortes iniciais tendem a apresentar plantas mais bem nutridas, em especial com elevados teores de potássio e cálcio, o que pode resultar em maior tolerância ao frio, obviamente, com determinados limites;
- ✓ **Idade (meses):** refere-se ao tempo entre o plantio ou último corte à data de ocorrência da geada e está relacionada ao grau de maturação da cultura. Plantas de maior idade tendem a apresentar maior número de entrenós com teores consideráveis de açúcares, o que torna seu caldo mais concentrado e, portanto, mais denso. Como soluções de maior densidade requerem menor temperatura para congelamento, há uma tendência de que canas com maior teor de sacarose estejam mais protegidas de um possível congelamento dos colmos. No entanto, na prática, essas diferenças não chegam a ser observadas, devido ao grande número de fatores que interagem no processo;
- ✓ **Variedades:** podem apresentar diferentes respostas ao frio intenso e sua sensibilidade definirá o grau de resistência à geada ou ao ritmo de deterioração dos colmos. Irvine e Legendre (1985) propuseram duas respostas varietais que intensificam os danos por geada: (1) suscetibilidade do tecido ao congelamento e (2) suscetibilidade à invasão de micróbios e subsequente formação de polissacarídeos após o congelamento. No primeiro caso, certas características poderiam ser importantes: a) arquitetura foliar (interfere na troca de calor com atmosfera); b) a forma e abundância da folhagem que abriga as partes mais delicadas da planta (em especial, as gemas); c) teor de sacarose; d) teor de fibra e sua distribuição proporcional entre a casca e o centro do entrenó; e) espessura relativa da cutícula protetora que cobre o colmo com matéria cerosa etc. No entanto, a resistência aos danos e congelamento deve ser entendida como uma característica que ameniza a ocorrência de danos dentro de determinados limites. Sob condições de temperaturas muito baixas e duração prolongada, tais diferenças tendem a ser reduzidas. No caso da propensão à infecção, o ritmo de inversão da sacarose, formação de brotos e velocidade de deterioração após morte seriam os principais pontos a destacar. Segundo Legendre et al. (1985), esse é o principal fator a distinguir variedades mais tolerantes à geada, ou seja, sua propensão à deterioração da matéria-prima e produção de metabólitos indesejados, como dextranas e outros polissacarídeos indesejados. Detalhe importante, nem sempre a variedade que apresenta maior resistência visual ao dano é aquela que apresenta o menor ritmo de deterioração no pós-geada. Por isso, embora o uso de variedades resistentes seja o método mais racional para evitar os danos por geadas, não é simples reunir todos os aspectos desejados às sempre presentes exigências agrônômicas e industriais (Irvine, 1965; Fogliata, 1966).

3) Condições de manejo da cana-de-açúcar: as condições de manejo da cultura podem influenciar na magnitude e extensão dos danos causados por geada, sendo em alguns casos, utilizadas como medidas de proteção ou de sua redução. Entretanto, existem outros fatores importantes, os quais são descritos a seguir:

- ✓ **Manejo da palha:** trata-se de um importante aspecto na cana-de-açúcar, o qual foi muito intensificado após a iniciativa de redução da queima e a mecanização da cultura. Como visto, a presença de cobertura morta sobre o solo age como um isolante térmico e pode intensificar os danos por geadas nas brotações de soqueira. Esse fato é facilmente observado quando se compara áreas de plantio (solo nu) e brotações de soqueira de cana queimada, com brotações em palhada estendida: nas duas primeiras situações os danos às brotações iniciais tendem a ser menores. Portanto, o manejo da palhada de cana soca, seja com a remoção parcial para cogeração, seja com seu afastamento das linhas de cana e concentração nas entrelinhas (palhada desenleirada) ou seu agrupamento em entrelinhas alternadas (a cada três entrelinhas, por exemplo), é uma prática que tende a reduzir os efeitos das geadas. Nesse caso, o solo sem cobertura da palha apresentará maior absorção e armazenamento de calor ao longo do dia, bem como maior transferência de radiação de ondas longas durante a noite, o que tende a reduzir as perdas de calor para o ar por convecção;
- ✓ **Manejo da irrigação:** áreas de cana-de-açúcar irrigadas antes da ocorrência de geadas tendem a apresentar menores injúrias nas folhas e morte de gemas do que as mantidas em sequeiro (Gill e Singh, 1972). Essa resposta se deve as características termodinâmicas da molécula de água (elevado calor específico). Quando aplicada por aspersão a água pode amenizar parte da energia perdida durante eventos de geada de radiação à medida que a água transfere calor para a atmosfera. Ao congelar, a água libera calor latente, reduzindo o resfriamento e mantendo a temperatura por volta de 0 °C, o que pode amenizar os danos por geada. No caso, o ideal é manter uma taxa de 2 a 5 mm/hora, a qual varia em função da temperatura do ar no abrigo (quanto menor, maior o volume a ser aplicado (FAO, 2005). No caso brasileiro, não se trata de uma prática comum, haja visto que a grande maioria das áreas de cultivo são feitas em sequeiro e as regiões de maior adoção da prática de irrigação (de lâminas altas) estão em latitudes onde há reduzida (ou nenhuma) ocorrência de geadas. Contudo, há exceções em alguns locais do estado de São Paulo, Minas Gerais e Goiás, onde sistemas de irrigação complementar são utilizados em pequena escala e que tal prática poderia ser viável. Mas há outro efeito importante em áreas irrigadas, relacionado ao **teor de umidade do solo**. Como visto, solos com maior teor de umidade tendem a apresentar maior armazenamento e transferência de calor. A ideia é aplicar água em quantidade suficiente para manter a superfície do solo próxima a 0°C, o que é alcançado com o solo úmido, mas não encharcado. A umidade afeta as propriedades termodinâmicas do solo e resulta em aumento da absorção e armazenamento de radiação durante o dia e a transferência de calor sensível

para as plantas durante a noite. Essa condição pode amenizar os sintomas de geada principalmente em condições de rebrota. Apesar das limitações da primeira modalidade, a segunda pode ser viável à medida que uma parcela significativa da área de produção recebe irrigação de salvamento ou fertirrigação com vinhaça;

- ✓ **Manejo nutricional:** o estado nutricional de um canavial pode amenizar os efeitos de geadas dentro de determinados limites e condições. A resistência aos danos da geada aumenta quando as plantas acumulam fotossintatos em seus tecidos sensíveis (Proebsting, 1978). Conseqüentemente, a boa nutrição das plantas e o estado sanitário favorecem a aclimatação e a resistência ao congelamento (Alden e Hermann, 1971; Bagdonas, Georg e Gerber, 1978). Contudo, a relação entre nutrientes específicos e aumento da resistência é obscura, e a literatura contém muitas contradições e interpretações parciais. As variações observadas nos estudos são oriundas, muito provavelmente, das culturas avaliadas, da intensidade da geada, dos critérios de avaliação, momento de ocorrência da fertilização e do equilíbrio entre os nutrientes utilizados. Fertilizações (em especial, com nitrogênio e fósforo) que resultem em tecidos abundância de tecidos novos, tenros, de alto teor de umidade e reduzido teor de solutos, tendem a intensificar danos por geada (Alden e Hermann, 1971; Bagdonas, et al., 1978). O potássio é o nutriente mais citado por eventuais efeitos positivos no aumento da resistência a baixas temperaturas. Uma vez que os danos causados pela geada geralmente resultam da desidratação do protoplasma, níveis adequados de potássio podem ser úteis em condições de geada moderada. Seu importante papel na manutenção do balanço osmótico, pode auxiliar ao aumentar a concentração do soluto, reter água e reduzir a temperatura de congelamento da solução celular. Outros elementos como cálcio e silício são citados por sua importância na composição da parede celular, conferindo maior resistência física a células dos tecidos o que poderia, em alguma medida, reduzir danos de rompimento de células e fissuras nos tecidos (nos colmos, por exemplo). Além disso, poderiam atuar no aumento da espessura relativa da cutícula, uma das características estudadas em plantas com maior tolerância. Infelizmente, há carência de estudos específicos de uso de nutrição para amenização dos danos por geadas em cana-de-açúcar, haja visto que essa não é uma situação comum à cultura, seja pela localização das áreas de cultivo (na maioria em regiões de baixa frequência de geada), seja pelas próprias características da planta (oriunda de clima tropical). Há trabalhos em desenvolvimento, com foco em amenização dos efeitos de geada, seja no pré ou pós-geada. Complexos nutricionais, com ou sem aminoácidos e extratos vegetais, tem sido avaliado com sucesso em estudos preliminares, seja para amenizar danos ou para acelerar a retomada de crescimento de plantas (Crusciol, et al., 2020). Contudo, há limites óbvios que vão desde a intensidade da geada, os danos resultantes, bem como ao fato de que elas tendem a ocorrer em meses mais secos do ano, onde já há natural limitação de crescimento, o que já será um fator de redução de crescimento;

- ✓ **Manejo do solo (cultivo):** essa operação é realizada em algumas áreas para descompactar o solo das entrelinhas da cana-de-açúcar. Sua realização cria espaços com ar no solo os quais podem intensificar os danos por geada. Como o ar é um mau condutor de calor e tem um calor específico baixo, solos com mais e maiores espaços de ar tendem a transferir e armazenar menos calor. Se um solo for cultivado, irrigá-lo é uma forma de melhorar a transferência e o armazenamento de calor, reduzindo os efeitos do cultivo.

4) Condições pós-geada: muitas vezes negligenciados, os eventos pós geada são extremamente importantes pois podem intensificar os danos ocorridos aos canaviais (Fogliata, 1966; Fors, 1971; Copersucar, 1981; Eggleston et al., 2004). Ocorrências de precipitação e elevação das temperaturas são os grandes fatores envolvidos e impactam os canaviais atingidos por geada de forma contraditória, de acordo com estágio de desenvolvimento da cultura. No caso de plantas a **serem colhidas na safra vigente**, altas temperaturas e umidade favorecem a infecção e a proliferação de fungos e bactérias, com consequente deterioração dos colmos mortos pela geada. Em tais condições, a matéria-prima pode-se tornar imprópria a colheita em 30 a 45 dias. A ocorrência de geadas provoca destruição das oxidasas presentes nas células e seu efeito bactericida, permitindo o desenvolvimento de microrganismos (Bliss, 1946). O principal contribuinte para a deterioração da cana, enquanto matéria-prima, é a bactéria ácido-lática *Leuconostoc mesenteroides* (Eggleston et al., 2001; Eggleston, 2002; Eggleston e Legendre, 2003;). O crescimento bacteriano é função direta da temperatura do ar (que acelera as reações metabólicas) e do potencial de água livre. Por isso, ocorrência de chuva e elevação de temperatura no 'pós geada' estimulam a proliferação de *Leuconostoc*, ocorrência de fermentação com produção de metabólitos indesejados como dextrana e manitol, além de ácidos orgânicos que conferem à cana odor azedo típico (Solomon, 2009). Caso as condições de frio e seca permaneçam após a geada, a deterioração dos colmos é mais lenta e a qualidade (observada antes da ocorrência) tende a ser mantida por mais tempo. Contudo, se considerados os **canaviais em formação**, sejam plantios ou soqueiras, o cenário é completamente oposto. Ocorrências de precipitação e aumento de temperatura do ar, auxiliarão na retomada do crescimento, formação de novas folhas, o que reduzirá os impactos para a próxima safra em termos de atraso de desenvolvimento e possível redução de produtividade agrícola.

Impactos à cultura

Os danos causados pelas geadas sobre a produtividade da cana-de-açúcar são extremamente variáveis, pois a intensidade do evento é função de diversos fatores ambientais e de manejo agrônômico antes, durante e após o evento. A classificação dos danos à planta resultantes da geada em função dos sintomas e as temperaturas atingidas é útil para identificar sua magnitude e extensão, porém incompletos. Sua principal limitação é não considerar os impactos dos eventos pós geada na deterioração da matéria-prima, na produtividade da safra atual e da safra seguinte. Uma estimativa das perdas de produção dependerá,

então, não apenas do percentual de área atingida e da magnitude dos danos, mas também do grau de desenvolvimento do canavial e a safra de referência, ou seja, se atual ou subsequente.

Na safra atual, os principais danos estão relacionados a perda de qualidade da matéria-prima, a qual tende a afetar, em diferentes intensidades, todos os canaviais atingidos pela geada. A deterioração microbiana dos tecidos mortos varia, mas pode levar a perdas superiores a 25%, de acordo com as interações ambientais e tempo até a colheita (COPERSUCAR, 1981a). Obviamente, exceção é feita aos canaviais colhidos logo na sequência do evento e que já estavam em condições próximas de seu ótimo. Contudo, os danos por geadas promovem a necessidade de alterações no plano de colheita e, muitas vezes, tornam prioritária a colheita de áreas de final em detrimento daquelas de meio de safra. A antecipação da colheita de canaviais tardios pode levar a redução do potencial de crescimento e, principalmente, intensificar as perdas de qualidade da matéria-prima. Dessa forma, as perdas de qualidade não serão devidas apenas aos efeitos da geada, mas também pela colheita de canaviais mais jovens e de maturação tardia, fora de seu momento ideal. Até mesmo os canaviais não atingidos pela geada ou com danos de menor grau, mas cuja colheita venha a ser postergada pela priorização de áreas atingidas, tenderão a apresentar perdas que também terão impacto no desempenho da safra.

Outros danos importantes estão relacionados ao aumento dos custos de produção pela necessidade de alterações nas operações. Alterações na sequência de colheita não apenas impactam o rendimento dos canaviais, como também reduzem a eficiência da operação. Com as seguidas trocas, fora de um roteiro ideal, a produtividade das máquinas é reduzida. Além disso, o atraso ou reinício do desenvolvimento dos canaviais pode implicar o controle adicional de plantas daninhas e eventuais complementações nutricionais. Finalmente, a geada pode comprometer viveiros de mudas que seriam utilizados para o plantio de canas de 12 meses ou no sistema de MEIOSI para plantios de 18 meses no ano seguinte.

Todavia, os impactos não se restringem a safra corrente e os efeitos de uma geada podem perdurar até as safras seguintes. A desorganização da sequência de colheita afetará o manejo ideal das variedades e ambientes de produção, com reflexos óbvios em seu desempenho nas safras posteriores, os quais, em muitos casos só serão resolvidos na reforma do canavial. Além disso, os danos causados ao desenvolvimento de plantios e soqueiras, muitas dos quais com crescimento completamente reiniciado, levará a atraso no desenvolvimento e aumento da ocorrência de falhas na brotação. Embora a geada em si não tenha potencial para ‘matar’ a soqueira, deve-se lembrar que seus danos serão somados aos promovidos por outras intempéries. Seca, incêndios, pragas de solo entre outros fatores, podem resultar em falhas ou redução do perfilhamento. Esses fatores podem gerar um cenário de canavial falhado e com desenvolvimento vegetativo atrasado no início da safra seguinte, com reflexos a produtividade de viveiros (apresentarão menor taxa de desdobra) e de áreas comerciais (plantios e soqueiras colhidas antes da geada). O atraso no

desenvolvimento também implica que os canaviais de início de safra estarão mais jovens e com maior proporção de tecidos imaturos, o que tende a prejudicar a qualidade de matéria-prima dos primeiros meses de colheita.

Canaviais afetados pela geada: procedimentos

A ocorrência de geadas em áreas de cana-de-açúcar, principalmente em regiões onde esse evento não é comum, sempre gera dúvidas, questionamentos e busca por 'soluções'. Apesar de vários avanços tecnológicos, a ocorrência de geada em cana-de-açúcar continua a ser um problema, não só pelas características do evento, previsibilidade limitada (confiável quando próxima ao evento), mas também pelas particularidades da cultura. Afinal, são áreas extensas, colhidas ao longo de vários meses em diferentes condições de manejo agrônomo e grau de desenvolvimento.

A maioria das medidas são **paliativas** e buscam conter ou reduzir as perdas agrícolas, seja na safra atual ou na posterior. Não há manejo milagroso, embora algumas tecnologias possam auxiliar. Qualquer medida de ação terá como base a intensidade, extensão e localização dos danos. Assim sendo, o mapeamento das áreas atingidas é fundamental para conhecer o tamanho do problema e definir as medidas de mitigação dos efeitos da geada a serem tomadas. Embora sempre haja urgência para a realização de tal levantamento é preciso cuidado. Além de uma equipe treinada, critérios e procedimentos bem definidos, é fundamental que o levantamento seja realizado no momento adequado. O momento adequado reduz a ocorrência de possíveis erros de interpretação que levem a estimativas super ou subestimativas dos danos. Contudo, isso não significa ficar parado à espera dos danos se tornarem mais visíveis. Há medidas que podem ser realizadas antes, durante e após as geadas, as quais podem reduzir o tempo requerido para composição de um plano com medidas de contenção dos danos (que na maioria das vezes, não são evitados por completo). A seguir, foram descritas possíveis medidas e os momentos mais adequados de cada uma:

Antes da geada

- ✓ **Conhecer o evento:** é imprescindível conhecer minimamente o evento e quais fatores locais (topografia, altitude, microclima, cobertura, manejo agrônomo, variedades etc.) que podem intensificar ou amenizar seus efeitos. Somente assim será possível identificar adequadamente os sintomas e realizar o levantamento no menor tempo possível;
- ✓ **Manter histórico da região:** conhecer sua região, a frequência de ocorrências de geadas e áreas de maior probabilidade é muito importante, apesar de nem sempre perfeita. Haverá exceções e é preciso cuidado ao extrapolar informações entre regiões ou ano agrícola;
- ✓ **Monitoramento meteorológico:** os alertas de geada apresentam boa precisão quando próximos do evento. Estar atento aos mesmos é importante, bem como as condições climáticas vigentes na região. Caso as condições de umidade sejam muito baixas e haja entrada de massa de ar polar, a probabilidade de geada é aumentada. O ritmo de redução da temperatura do

ar a partir das 18:00, a umidade relativa do ar e a temperatura do ponto de orvalho, são importantes indicadores da provável ocorrência de geadas.

Após geada

Apesar de várias evoluções os sintomas mais definitivos das geadas serão conhecidos após 8 a 10 dias de sua ocorrência, com estabilização dos danos visuais após o décimo dia. Assim sendo, iniciar o mapeamento logo após a ocorrência sua ocorrência pode resultar em avaliações superestimadas ou subestimadas, pois os sintomas de geada tendem a progredir em seu aspecto visual com o passar dos dias. Popularmente, pode-se dizer que os danos por geada 'andam' ao longo dos dias. Muitos talhões têm intensidade de danos variáveis e a presença de folhas ainda verdes não implica que não haja danos severos, como a própria morte da gema apical. Diante disso, recomenda-se muito bom senso no mapeamento e no manejo adotado. A seguir, são sugeridas medidas que podem auxiliar no processo de mapeamento e definição das medidas de mitigação:

- ✓ **Dia 0:** durante as primeiras horas do dia da geada, o foco é encontrar evidências de sua ocorrência (formação de gelo sobre as folhas ou palhada, folhas congeladas, danos iniciais etc.). O objetivo, então, é identificar a ocorrência, confirmar a necessidade de levantamentos e obter informações preliminares que possam auxiliar na seleção de áreas prioritárias para mapeamento. Trata-se de uma visita rápida, em macro escala, a áreas de maior histórico ou risco potencial. As diferentes equipes do setor agrícola (colheita, plantio, tratos etc.), distribuídas em diversas regiões da unidade, constituem uma 'rede' de informação que deve ser utilizada a favor do responsável pelo levantamento. Além disso, outra medida importante é avaliar os dados horários de temperatura mínima do ar da estação meteorológica mais próxima. É importante que os dados sejam horários, pois permitirão observar não apenas a temperatura mínima atingida, mas também o tempo em que a temperatura permaneceu negativa. Relembrando, em noites de geada as diferenças entre a temperatura da relva e do abrigo termométrico são significativas, em média, próximas a 4°C, sem considerar eventuais efeitos locais. Portanto, valores de temperatura mínima do ar próximas a 2° em abrigo indicam alta probabilidade de geada agrícola;
- ✓ **Dias 1 a 7:** nos primeiros dias após a geada o objetivo é reunir informações que orientem e deem maior confiabilidade as informações que serão geradas. Assim sendo, o mapeamento dos danos por geada deve ser realizado de **forma dirigida**, o que tornará a atividade mais eficiente e precisa. A definição do roteiro e a priorização de áreas para avaliação deverá considerar os seguintes critérios: topografia, histórico, variedade, idade, corte, época de colheita, safra de impacto, cobertura do solo, irrigação, informações preliminares etc. O uso de **sensoriamento remoto** auxilia na elaboração de levantamentos mais precisos e rápidos, por possibilitarem a delimitação de áreas dentro de um mesmo talhão com possível variação dos danos. O CTC oferece aos seus clientes uma ferramenta de monitoramento da lavoura

canavieira, o CTCSat, que através do uso de imagens de satélite e algoritmos consegue mapear com precisão as áreas atingidas por geadas.

Nesse sentido, o uso de imagens anteriores e posteriores ao evento podem permitir a detecção de danos mesmo que em escala inicial. Trata-se de uma ferramenta importante antes e após as avaliações presenciais, mas que **não substitui** as mesmas, à medida que somente com a avaliação presencial será possível verificar quais tecidos (gema apical, laterais ou colmos) além das folhas, foram danificados. No período pré-avaliação pode guiar os locais de amostragem em fazendas ou talhões, favorecendo a formação de blocos similares e dos pontos mais adequados para avaliação. No pós avaliação, podem auxiliar na composição dos mapas finais, ajustando faixas de danos diferenciados, os quais foram devidamente validados em campo. Durante esse período também devem ser revisados os procedimentos de levantamento, definida a equipe e realizado seu treinamento. Quanto mais precisa e padronizada for a coleta em campo, mais simples será seu processamento e confiável a informação gerada;

- ✓ **Dias 8 a 10 (e subsequentes):** trata-se do melhor momento para iniciar as avaliações, pois os sintomas se tornarão mais visíveis (principalmente a morte da gema apical), com redução de eventuais variações dentro dos talhões (seja por fatores topográficos, microclimáticos ou varietais). Em média, o auge da visualização dos danos ocorre após o 10º dia. Contudo, quanto mais intenso for o dano, mais rápida será sua visualização. Assim sendo, o início das amostragens ao redor do 8º e 9º dia é possível desde que se dê preferência a áreas mais próximas cujos danos sejam drásticos e facilmente visíveis ou áreas de plantios e soqueiras, de avaliação bem mais simples.

Critérios de avaliação e consolidação das informações

Embora a maior preocupação esteja relacionada com a safra em andamento, e os possíveis impactos à produtividade e qualidade dos canaviais a serem colhidos, é muito importante avaliar os danos ocorridos em áreas de viveiros e de canaviais em formação. Em áreas onde há colmos, pode-se realizar avaliação da intensidade de injúria por geada, com a coleta de amostras com 10 colmos aleatórios representativos do canavial. O número de amostragens deve ser compatível com as características das áreas amostradas (definido previamente e apontadas em mapa) e a equipe disponível. Avaliar a ocorrência de danos à gema apical (corte transversal do palmito, o qual tende a apresentar colocação marrom na região do meristema – Anexo 1), às gemas laterais (quando mortas, se desmancham ao serem tocadas – Anexo 2) e eventuais rachaduras dos colmos. Contabilizar o total de gemas (apicais e laterais) mortas e viáveis, para então calcular a porcentagem de cada uma das condições. Tais informações devem ser classificadas seguindo um critério de notas, que expressam a intensidade dos danos (adaptado de IAA/PLANALSUCAR, 1994):

- ✓ **Nota 0:** canaviais sem danos às gemas, apenas danos a folhas ou perfilhos jovens;
- ✓ **Nota 1:** até 30% de gemas apicais mortas e sem danos às gemas laterais;
- ✓ **Nota 2:** entre 30 a 60% de gemas apicais mortas e poucos danos às gemas laterais (inferior a 5%);
- ✓ **Nota 3:** 100% de gemas apicais mortas e até 30% de gemas laterais;
- ✓ **Nota 4:** 100% de gemas apicais mortas e mais de 30% de gemas laterais;
- ✓ **Nota 5:** morte de todas as gemas (apicais e laterais), inclusive com rachaduras nos colmos.

As áreas atingidas pela geada serão mapeadas e as notas correspondentes a seus danos serão expressas por cores (Azul - "0"; Verde - "1"; Amarela - "2"; Vermelha - "3"; Cinza - "4" e Preta - "5"), conforme sugerido por Nunes Jr. (2018). Posteriormente, é necessário segregar a área delimitada em três grupos: 1) canaviais a serem colhidos; 2) em desenvolvimento (plantios e soqueiras) e 3) áreas de viveiros. Cada grupo terá um manejo específico e sugere-se a construção de mapas individuais, com diferentes objetivos e legendas:

Mapa 1: reúne os canaviais a serem colhidos na safra atual e sua prioridade para colheita em função dos danos pela geada;

Mapa 2: reúne as áreas de canaviais em desenvolvimento (plantio e brotação de soqueira). Nesse caso, a legenda indicará a necessidade ou não de rebaixamento dos colmos e outras possíveis práticas de manejo a serem adotadas;

Mapa 3: reúne áreas de viveiros e devem ser segregados de acordo com o momento do plantio (viveiros 12 ou 18 meses) e o manejo a ser adotado em virtude dos danos ocorridos (viabilidade de uso como muda, necessidade de rebaixamento ou práticas complementares de cultivo).

Medidas pós mapeamento de danos por geada

1) Canaviais a serem colhidos: dependendo da área afetada pela geada o período para colheita pode ser longo e a administração dos danos permitirá a obtenção dos melhores resultados (normalmente, os menos danosos). As informações de áreas atingidas, diferentes graus de dano e representatividade de moagem devem ser relacionados a informações como maturação atual e a sequência inicial de colheita. A caracterização da qualidade da matéria-prima deve ser realizada em áreas que apresentem maiores danos e não estejam próximas da sequência inicial de colheita. Nesse momento, não é necessário realizar a caracterização da qualidade dos canaviais pouco afetados (somente gema apical). Para facilitar o planejamento, sugere-se a seguinte priorização:

a) Prioridade 1: áreas que apresentem maiores danos (notas 4 ou 5), melhor qualidade de matéria-prima, sob ação de maturadores (especialmente, estressantes) e que já estejam próximas da colheita pelo planejamento inicial;

b) Prioridade 2: áreas que apresentam danos muito elevados (notas 4 ou 5), mesmo que sua colheita ideal fosse ao final de safra. Dificilmente haverá ganhos de qualidade nessa condição e a maior probabilidade é de queda. Áreas que possam representar locais de difícil acesso em épocas chuvosas (como baixadas) devem ser ainda mais priorizadas;

c) Prioridade 3: áreas que apresentem danos intermediários (notas 2 ou 3), melhor qualidade de matéria-prima e que já estejam próximas da colheita pelo planejamento inicial. Se estiverem sob ação de maturadores hormonais, a prioridade se mantém. Contudo, se forem maturadores estressantes, classificar como **prioridade 1**;

d) Prioridade 4: áreas que apresentem danos intermediários (notas 2 ou 3), porém de colheita/maturação tardia;

e) Prioridade 5: áreas de poucos danos (notas 0 ou 1) e que se enquadrem em condições ideais de manejo para o período;

f) Prioridade 6: áreas de danos reduzidos (notas 0 ou 1), porém com colheita tardia devem ser mantidas no planejamento inicial e acompanhada a evolução dos danos.

Para evitar forte oscilação no volume (muitas vezes, as áreas afetadas são distantes da usina) e na qualidade matéria-prima entregue a indústria, deve-se mesclar áreas de prioridade 1 e 2, com áreas de colheita de cana sem danos que possam representar ganhos logísticos para a empresa. Na sequência, deve-se proceder de forma semelhante nas áreas de prioridade 3 e 4 até a exaustão das áreas com danos.

Monitoramento contínuo é fundamental. Dependendo da intensidade dos danos, das características varietais e das condições pós-colheita, reduções significativas da qualidade da matéria-prima podem levar de 30 a 60 para serem observadas. Durante esse tempo, avaliações periódicas devem ser realizadas para a determinação do grau de deterioração dos colmos. Apesar de úteis, a escala de notas não envolve a evolução da degradação da qualidade da matéria-prima, a qual depende não apenas de condições ambientais, mas também das características varietais (aliás, a mais significativa das diferenças na resposta de variedades à geada). Não raro, observa-se que canaviais, com nota de danos inferiores à de outros, apresentam evolução mais acelerada de degradação da matéria-prima. Diante disso, sugere-se a realização periódica da caracterização da qualidade, de forma a se observar a variação de seus parâmetros.

Embora o principal indicador de deterioração seja a dextrana, sua determinação é demorada, onerosa, além de exigir cuidados especiais para a sua introdução em escala na rotina do laboratório. O intenso aumento de açúcares redutores no caldo pode ser um reflexo da deterioração e/ou da inversão da sacarose,

principalmente se há informações preliminares da área para efeito de comparação. Caso não haja informação preliminar, deve-se tomar cuidado pois a elevada concentração de açúcares redutores pode apenas indicar que os colmos amostrados ainda não atingiram o ponto ideal de maturação.

A prática mais comum em caso de geadas é a determinação de acidez titulável (COPERSUCAR, 1981b). São coletadas 3 amostras de 10 canas por área avaliada, seguindo o padrão da unidade para caracterização da qualidade. Após a extração, titular 10 ml de caldo em solução de NaOH (0,1N) até alcançar pH entre 8,3 a 8,4. O consumo (em ml) da solução de NaOH (0,1N) indicará o estado de degradação da amostra. Embora a acidez titulável possa apresentar variações em função da variedade e condições de cultivo, considera-se que o consumo de NaOH (0,1N) em valores superiores a 4,7 ml indicam colmos deteriorados e trará problemas ao processo industrial. Quando os valores permanecerem entre 2,2 a 4,7 ml, a matéria-prima está em processo de deterioração e pode prejudicar em alguma medida a industrialização. Finalmente, quando o consumo de NaOH (0,1N) for inferior a 2,2 ml, pode-se considerar que a cana não está deteriorada e não trará perdas industriais.

Uma alternativa, mais simples e rápida foi proposta por Martin (1977). Nesse caso, amostras de 25 ml de caldo recebem uma quantidade padrão (5 ml) de solução NaOH (0,1N) sendo realizada apenas a medida do pH. Se o pH do caldo for maior do que 7,7 indica ausência de deterioração. Entre pH de 7,7 a 5,25 os colmos estão em processo de deterioração e se inferior a 5,25 em avançado processo de deterioração. Segundo o autor esse método se justifica por existir um forte efeito tampão em caldo de canas deterioradas. Em seu trabalho, Martin (1977) encontrou correlação de 0,96 na classificação de deterioração dos colmos via acidez titulável e o pH do caldo em NaOH.

Cuidados na colheita. Independentemente do método utilizado, as avaliações devem ser realizadas com frequência de 10 a 15 dias, principalmente em áreas de maior dano que venham a ficar mais tempo no campo ou após a ocorrência de chuvas e elevação da temperatura. Caso seja detectada variação inesperada na qualidade do caldo, que sugiram intensificação da degradação da matéria-prima, ou outras ocorrências críticas (como incêndios e, até mesmo, novas geadas), a empresa deve estar preparada para realizar possíveis alterações no planejamento, seguindo os critérios apresentados. No caso de novos eventos de geadas, a maior preocupação estará relacionada ao aumento de áreas atingidas ou aumento da intensidade de danos. Caso as condições do segundo evento não resultem em novos danos, não haverá grande impacto. Pelo contrário, as menores temperaturas tendem a reduzir a velocidade de degradação da matéria-prima.

Além disso, durante a colheita algumas medidas podem auxiliar na redução do material em decomposição, impróprio ao processamento. Em caso de plantas com morte do meristema apical e/ou poucas gemas superiores a deterioração seguirá um gradiente, que inicialmente será mais crítica no topo. É primordial que o desponte seja realizado mais baixo do que o normal, de forma a evitar que o palmito e os entrenós superiores, em fermentação latente, não sejam enviados

para a indústria. Eventualmente, a degradação poderá progredir nos colmos, principalmente em caso da permanência prolongada de canaviais com danos muito severos. Nesse caso, a altura do desponte deve ser ajustada caso a caso e, embora esse processo possa ser limitado pela colheita mecanizada, especialmente em canas tombadas, deve ser realizado sempre que possível.

O uso de maturadores, especialmente estressantes com curta janela para colheita, em áreas sem danos deve ser suspenso ou postergado até a colheita de todos os canaviais afetados. Afinal, será mais um compromisso assumido, sem que haja certezas sobre a real capacidade de cumpri-los. Caso seja possível e viável (época seca do ano) a continuidade de uso de maturadores, eles só são recomendados em áreas com sintomas muito leves de geada (sem morte da gema apical) e que ainda apresente folhas verdes. Além disso, deve-se evitar o uso de moléculas de grande impacto que possam resultar na morte da gema apical ou no aparecimento de brotações laterais. Afinal, mesmo que não tenha morrido, a gema apical pode ter sofrido algum grau de dano que poderá ser intensificado pelo maturador.

Finalmente, uma vez que as canas afetadas por geadas apresentam deterioração acelerada, é essencial que a operação de colheita esteja adequadamente dimensionada e a manutenção das máquinas em perfeito estado. O tempo é curto e não pode haver falhas evitáveis. Embora o dano ocorra no campo, os impactos serão tão ou mais importantes na indústria. Portanto, essa pode e deve colaborar para a minimização das perdas. Quanto maior a disponibilidade de processamento da indústria e de colheita da agrícola, mais rapidamente o problema tende a ser resolvido e menores os danos observados.

2) Canaviais em formação (plantios e brotação de soqueira)

a) Ausência de entrenós: quando os danos de geada ocorrem em canaviais que apresentam apenas folhas ou poucos entrenós (no máximo 2 em menos de 50% das plantas), os perfilhos em desenvolvimento serão rapidamente degradados e uma nova brotação terá início. Nesse caso, a principal medida seria a aplicação de água ou vinhaça, dado que a brotação ocorrerá em um período ainda mais seco. Com o retorno das chuvas, eventuais correções de adubação poderão ser realizadas ou, até mesmo, a aplicação de bioestimulantes que auxiliem no desenvolvimento. Além disso, eventuais escapes de plantas daninhas poderão ocorrer devido a extensão do período para fechamento das entrelinhas;

b) Presença de entrenós: a presença de entrenós tende a retardar a retomada de crescimento pós geada, reduzindo a uniformidade do canavial, o qual apresentará plantas de diferentes graus de injúrias e desenvolvimento. Além disso, dificulta a prática de adubação e eventuais repasses de herbicidas. Assim sendo, apesar dos custos envolvidos, sugere-se que seja realizado o rebaixamento do dossel, seguida das práticas culturais e irrigação, quando possível. Nesse caso, pode-se utilizar roçadoras ou, dependendo do grau de

desenvolvimento dos colmos, a própria colhedora, coletando ou não os toletes. Em áreas sob ação de geada, quanto maior a quantidade de perfilhos com entrenós (mais de 50%) e seu número (superior a 3 ou 4), maior é a necessidade e os impactos positivos dessa prática.

3) Áreas de Viveiros

a) Viveiros para cana de ano: envolve canaviais com desenvolvimento vegetativo mais avançado (7 a 10 meses), e que terão impacto na qualidade e disponibilidade de muda em um momento crítico do ano. Afinal, com exceção de áreas irrigadas, por mais jovens que sejam as mudas, elas estarão submetidas a condições de déficit hídrico que, por si só, podem reduzir a disponibilidade e a qualidade da muda. Nesse caso, duas situações podem ser consideradas.

✓ **Alta mortalidade de gemas ou plantas totalmente mortas:** trata-se do caso mais crítico que impede o uso como muda por completo. Deve-se tratá-la como área comercial, seguindo os critérios de levantamento sugeridos anteriormente. Caso seu aproveitamento industrial não seja possível, devido ao avançado estágio de deterioração, o viveiro necessariamente deverá ser rebaixado. Nesse caso, dado o volume de massa, muitas empresas usam a própria colhedora para a operação. Se mantidos os devidos cuidados de sanidade, nutrição e demais tratamentos culturais, essa área poderá ser utilizada como muda no ciclo seguinte. O uso de irrigação ou fertirrigação é importante, principalmente no auxílio da brotação no período seco;

✓ **Morte da gema apical e de poucas gemas laterais:** nessa condição, o comprometimento do canavial será menor e as mudas poderão ser utilizadas em alguma medida, se tomados os devidos cuidados. Além de uma amostragem mais detalhada dos danos, sugere-se a realização de um teste de germinação das gemas em diferentes porções da planta. Idealmente, o plantio deve ser realizado o mais rápido possível, com o devido descarte das gemas mortas. Caso o plantio imediato não seja possível, a muda poderá permanecer algum tempo no campo. Nesse período, possíveis brotações excessivas na região do ponteiro poderão ocorrer. Tais brotos tendem a ser quebrados durante a operação, principalmente se o plantio for mecanizado. No caso de plantio semi-mecanizado em área total ou MEIOSI, deve-se orientar a equipe a tomar cuidado adicional durante as operações de corte, transporte e plantio. Em caso de dúvida, a muda deve ser descartada seguindo as orientações do item anterior;

✓ **b) Viveiros para plantios de cana de ano-e-meio:** normalmente, estes viveiros são plantados em fevereiro ou março, possuindo na época da ocorrência de geada, tamanho variável em função das condições do ano safrá. Em caso de plantas sem entrenós (ou número reduzido e em poucas plantas), deve-se proceder de forma semelhante ao descrito para canaviais em formação, com cuidados adicionais já requeridos em áreas de viveiro. Caso existam entrenós e o dano da geada se limite a morte da gema apical, os colmos poderão ser utilizados para pequenas multiplicações, plantios de MEIOSI ou replantios,

mesmo que em processo de brotação lateral. Caso não seja viável o aproveitamento da muda, seja por morte total das plantas ou pelas condições ambientais, sugere-se o rebaixamento do canavial. Essa prática é ainda mais importante no caso de viveiros, os quais necessitam de plantas mais uniformes e padronizadas, além dos efeitos de maior velocidade na retomada de crescimento. Em seguida, deve-se efetuar as práticas culturais de soqueira (correção da adubação e controle de plantas daninhas), incluindo irrigação ou fertirrigação.

Observação importante: o uso de irrigação ou fertirrigação será útil em todos os cenários descritos, pois auxiliarão na rebrota dos canaviais, o que reduzirá eventuais falhas. Práticas de nutrição complementar serão úteis durante os meses úmidos de primavera e verão, quando a oportunidade de crescimento deverá ser aproveitada ao máximo. Nesse caso, se aplicam a todos os canaviais que apresentem desenvolvimento, para a safra seguinte, prejudicado em algum grau pela geada.

Considerações finais

A ocorrência de geadas sempre são problemáticas e trazem transtorno aos produtores de cana-de-açúcar, seja por sua natureza eventual e inesperada, seja pela intensidade dos danos. E a extensão de seus efeitos podem intensificar situações que, por si só, já seriam problemáticas. Infelizmente, trata-se da condição da safra 2021/22: afinal já era esperada menor moagem e o único fator de amenização, até o momento, era a melhor qualidade da matéria-prima. Em caso de grande penalização pela geada, a quebra da safra tende a ser ainda maior, pois levará a perdas de produção e qualidade. Diante disso, é fundamental que o produtor esteja atento e realize de forma adequada as medidas de contenção de danos.

Há de se pensar também nos impactos para a próxima safra, 2022/23: a restrição hídrica observada durante o primeiro semestre de 2021 intensificou o cenário já crítico decorrente da seca em 2020. Com isso, parcela significativa dos plantios de ano e meio e inverno apresentam falhas e desenvolvimento reduzido. Situação similar é observada em soqueiras precoces, cuja brotação e desenvolvimento inicial também tem ocorrido de forma lenta. Assim sendo, os canaviais de maior potencial em 2022/23 apresentavam atraso de desenvolvimento antes mesmo dos danos decorrentes da geada e, por conseguinte, essa ocorrência tende a intensificar esse cenário. Há ainda os efeitos das soqueiras de meio e final de safra que acumulam danos da safra anterior, decorrentes da seca, pragas de solo, incêndios e maior idade média. Nesse caso, são tantas as interações possíveis, que se torna difícil prever o comportamento dos canaviais para o próximo ciclo.

Todos esses fatores podem afetar novamente o desempenho dos canaviais no Centro-Sul brasileiro, justamente em um momento de preços elevados e retomada de investimentos no setor. Diante de tal cenário o produtor terá de ser cauteloso e se preparar para os impactos futuros. Uma condição crítica e que pode ser fundamental em 2022 diz respeito aos plantios. A concorrência com grãos e a seca em 2021, acabaram por reduzir ou impedir parte dos plantios que seriam realizados como cana de ano e meio ou inverno. Com isso, será aumentada a área a ser plantada como 12 meses (que tem limites de produtividade e manejo) e de ano e meio em 2022. Essa última modalidade, no entanto, não trará benefícios a próxima safra (a colheita ocorrerá somente em 2023/24). Pelo contrário, trará impactos imediatos: eventual aumento na área plantada em 2022/23 implicará maior consumo de muda, não apenas pelo maior plantio, mas também pelo possível menor tamanho de mudas e reflexos negativos à taxa de desdobra. Se continuada a tendência atual de preços, uma eventual nova redução de produção levará a intensificação ainda maior dos plantios, pois haverá falta de cana e a cana-de-açúcar se tornará mais competitiva com outras culturas. Diante de tais circunstância, o produtor deve avaliar a necessidade de técnicas de multiplicação rápida e baixo consumo de muda, como aquela propiciada pelo plantio de mudas pré-brotadas em sistema de MEIOSI. Não se trata apenas de uma forma de garantir pureza varietal,

sanidade das plantas ou reduzir custos imediatos. Trata-se de garantir uma maior área de exploração comercial em 2022/23 e uma retomada plena de produção nas safras seguintes.

Referências Bibliográficas

- ALDEN, J.; HERMANN, R. K.: Aspects of the cold-hardiness mechanism in plants. **Botan. Rev.**, v.37, p. 37-142, 1971.
- ASTOLPHO, F.; CAMARGO, M. B. P. de; BARDIN, L. Probabilidades mensais e anuais de ocorrência de temperaturas mínimas do ar adversas à agricultura na região de Campinas (SP), de 1891 a 2000. **Bragantia**, v.63 (1), p. 141-147, 2004.
- BAGDONAS, A.; GEORG, J.C.; GERBER, J.F. Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection. **Technical Note n°157**. Geneva: World Meteorological Organization, 1978. 160p.
- BELCHER, B.A.; STOKES, I.E.; RICE, E.R. Cold damage to sugarcane in South Florida, **Sugar J.**, v. 28(5), p. 31-35, 1965.
- BLISS, L.R. Experiencias con jugos refractarios y deteriorados em Tucuman, Argentina. **ATAC**, p. 231-252, 1946.
- BOOTSMA, A. Estimating grass minimum temperatures from screen minimum values and other climatological parameters. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 16, p. 103-113, 1976.
- BOOTSMA, A. **Frost risk survey of Prince Edward Island**. Ottawa: Department of Agriculture and Forestry, Canada, 1980. 35p.
- BRINHOLI, O. **Resistência ao frio de diferentes variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972. 88p.
- BURGOS, J.J. Las heladas em la Argentina. Buenos Aires: **INTA**, 1963. 388p.
- CAMARGO, M.B.P.; PEDRO JÚNIOR., M.J.; ALFONSI, R.R. & ORTOLANI, A.A. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anuais no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 52(2), p. 161-168, 1993.
- CARAMORI, P.H.; MANETTI FILHO, J. Proteção dos cafeeiros contra geadas. **Circular n°79**. Londrina: IAPAR, 1993. 28p.
- CHEN, J.C.P.; CHEN, J.J.J. Evaluation of post-freeze cane juice quality. **Sugar J.**, v. 37(9), p. 21-24, 1973.
- COPERSUCAR. Geadas: causas, efeitos e procedimentos na agroindústria açucareira e alcooleira. **Caderno Copersucar**, São Paulo, 1981. 23p.
- CROSS, W.E. El problema de la caña helada em la fabricación de azucar. **Boletim de la Estacion Experimental Agricola de Tucuman**, p. 52:42, 1945.
- CRUSCIOL, C.A.C., Siqueira, G.F., JACOMASSI, L.M., ARAÚJO JR., O., GARCIA, A. Manejo foliar para mitigação de estresses abióticos na cana-de-açúcar. Anuário Brasileiro de tecnologia de nutrição vegetal, **ABISOLO**, p. 34-37, 2020.

EDMÉ, S.J.; GLAZ, B.S. Field response of sugarcane genotypes to freeze stress with genotype x environment effects on quality traits. **Journal of Crop Improvement**, v.27, p.1-30, 2013.

EGGLESTON, G. Deterioration of cane juice – Sources and indicators. **Food Chemistry**, v. 78, p. 99-107, 2002.

EGGLESTON, G., LEGENDRE, B. L. Mannitol and oligosaccharides: Potential new criteria for determining cold tolerance in sugarcane varieties. **Food Chemistry**, v. 80, p. 451–461, 2003.

EGGLESTON, G.; LEGENDRE, B. L.; RICHARD, C. Effect of harvest method and storage time on cane deterioration I: Cane quality changes. **International Sugar Journal**, v. 103, p. 331–338, 2001.

SNYDER, R. L.; MELO-ABREU; J. P. **Frost protection: Fundamentals, practice, and economics**. Rome: FAO, 2005. 223p.

FOGLIATA, F.A. Deterioro por heladas en algunas variedades de caña de azucar. **Rev. Ind. Agrícola**, Tucumuan, v. 1 (45), p.13-26, 1966.

FORS, A.L. Las heladas y la caña de azucar em Mexico. **Sug. Azucar**, v. 85, p. 58-61, 1971.

EGGLESTON, G., Legendre, B. Mannitol and oligosaccharides as new criteria for determining cold tolerance in sugarcane varieties. **Food Chem.**, v. 80, p. 451–461, 2000.

GILL, H.S.; SINGH, S. Damaging effects of frost on sugarcane in Pujab. 1 – Foliar Injury and bud mortality. **Indian Sugar**, v. 22(8), p. 627-632, 1972.

Gosnell, J.M.; Koenig, M.J.P. Frost. **Sugar News**, v.17, p. 4-5, 1972.

HALE, A.L.; VIATOR, R.P.; EGGLESTON, G.; HODNETT, G.; STELLY, D.M.; BOYKIN, D.; MILLER, D.K. Estimating broad sense heritability and investigating the mechanism of genetic transmission of cold tolerance using mannitol as a measure of post-freeze juice degradation in sugarcane and energy cane (*Saccharum spp.*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.64, p.1657-1663, 2016.

HUMBERT, R.P. Caña de azucar: pérdidas por heladas, cómo reducirlas mucho. **Agric. de las Américas**, v. 24-25, 1973.

IAA/PLANALSUCAR. Geadas: procedimentos com a cana atingida. **Boletim técnico**. Araras, 1994. 18p.

IRVINE, J. E. Testing sugarcane varieties for cold tolerance in Louisiana. **ISSCT Proc**, v.12: 569-574, 1965.

IRVINE, J. E.; LEGENDRE, B. L. Resistance of sugarcane varieties to deterioration following freezing. **Sugar Cane**, v.2, p. 1-4, 1985.

LEGENDRE, B.L.; TEW, T.; BIRKETT, H.; EGGLESTON, G.; FINGER, C.; STEIN, J. Impact of subfreezing temperatures on the 2006 Louisiana sugarcane harvest. **Sugar Journal**, v.70, p.27- 28, 2007.

LEGENDRE, B. L.; TSANG, W. S. C.; CLARKE, M. A. Changes in juice composition of sugarcane as affected by post-freeze deterioration in Louisiana. In Congress of International Society of Sugar Cane Technologists. **Proceedings**, p. 92–107, 1985.

MARTIN, F.A. A rapid method for determining titratable acidity for sugarcane. In Congress of International Society of Sugar Cane Technologists. **Proceedings**, p. 2743-2747, 1977.

MOLION, L. C. B.; FERREIRA, N. J., MEIRA FILHO, L. G. O uso dos satélites ambientais para monitoramento de geadas. INPE, São José dos Campos. 1981.

MOTA, F.S. **Meteorologia agrícola**. 5.ed. São Paulo, Nobel, 1981. 376p.

NUNES Jr., D. Geada: um problema para a cana-de-açúcar. Disponível em: <https://materiais.ideaonline.com.br/geadas>, 2018, 8p.

PEREIRA, A. R; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**, Guaíba: Agropecuária, 2002. 478p.

PROEBSTING, E.L. Adapting cold hardiness concepts to deciduous fruit culture. In: Li, P.H., Sakai, A. (eds). **Plant Cold Hardiness and Freezing Stress**. New York: Academic Press Inc., v 1, p. 267-279,1978.

SENTELHAS, P. C., ORTOLAN, A. A., PEZZOPANE, J. R. M. Estimativa da temperatura mínima de relva e da diferença de temperatura entre o abrigo e a relva em noites de geada. **Bragantia**, v. 54, p. 437-445, 1995.

SOLOMON, S. Post-harvest deterioration of sugarcane. *Sugar Tech*, v. 11(2), p. 109-123, 2009.

VALLI, V.J. Princípios básicos relativos à ocorrência de geadas e sua prevenção. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Departamento Nacional de Meteorologia, 1972. 22p.

ANEXO 1: evolução dos danos a gema apical



ANEXO 2: danos às gemas laterais.





CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA