

Foto: Fabio R. Cavalcanti.



Thermal Pest Control (TPC) I: Caracterização do Tratamento de Fluxo de Ar Quente em Videiras

José Eduardo B. de A. Monteiro¹
Fabio Rossi Cavalcanti²
Geisa Finger³
Mariana de V. Dullius⁴

Introdução

Entre os anos de 2008 e 2012 difundiu-se rapidamente, em vinhedos e pomares brasileiros, o uso da tecnologia de aplicação de fluxo de ar quente (FAQ) para o controle de pragas em condições de campo. A viabilização do uso de FAQ em pomares foi resultado da criação de um implemento agrícola, que se popularizou com o nome de TPC, acrônimo para *Thermal Pest Control*.

O TPC é um processo de tratamento de culturas agrícolas à base de ar quente. Um implemento rebocado por trator lança ar quente nas plantas, com temperatura regulável entre 120°C e 180°C, utilizando um sistema de combustão de gás liquefeito de petróleo. Segundo o fabricante, este tratamento poderia reduzir significativamente a necessidade do uso de fungicidas.

O uso de calor no tratamento e controle de doenças de plantas é uma modalidade de controle físico.

Nesse caso, a ação primária exerce um impacto direto na praga ou patógeno. Em outros casos, o efeito desejado está atrelado a respostas induzidas pela planta (PANNETON et al., 2001). O uso de calor é mais conhecido e empregado no tratamento de propágulos e sementes contra diversas doenças, pois estas partes são mais tolerantes a temperaturas elevadas do que plantas inteiras em estado vegetativo. A termoterapia tem se mostrado efetiva contra patógenos sistêmicos e tem sido usada para eliminar infecções sistêmicas em material de propagação em cultivos como maçã (KECK et al., 1995), cereja (HALL et al., 2002), e uva (BURR et al., 1989). A inovação da tecnologia TPC em relação às termoterapias convencionais estaria em viabilizar o tratamento térmico de plantas inteiras em condições de campo. Em princípio, o uso do calor é utilizado com sucesso no controle de pragas e doenças agrícolas, em determinadas condições (VINCENT et al., 2001).

¹ Eng. Agrôn., Dr., Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, SP. E-mail: eduardo.monteiro@embrapa.br.

² Eng. Agrôn., Dr., Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS. E-mail: fabio.cavalcanti@embrapa.br.

³ Eng. Agrôn., Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Defesa Fitossanitária, Santa Maria, RS. E-mail: ge_finger@yahoo.com.br.

⁴ Eng. Agrôn., M.Sc., Departamento de Pesquisa e Inovação. Vinícola Geisse Ltda., Pinto Bandeira, RS. E-mail:mariana@vinicolageisse.com.br.

Estima-se que em 2011, cerca de 1.000 hectares de vinhedos em todo o Brasil foram tratados com o método, utilizando 50 máquinas; dessas, 19 no Rio Grande do Sul, seis em Santa Catarina e 25 no Vale do São Francisco. Segundo a LazoTPC do Brasil, que comercializa equipamentos de termoterapia de campo, em 2012 a tecnologia seria empregada em pelo menos o dobro de máquinas usadas pelos produtores de uva e vinho no Brasil (Saca Rolhas, 2011). No entanto, quanto aos resultados do uso do TPC em vinhedos, as informações disponíveis até o momento provêm, basicamente, de artigos da mídia e da observação de produtores, na maioria das vezes, sem base científica.

Avaliações preliminares têm sido mascaradas por outros fatores, já que o uso do TPC é feito em vinhedos também tratados com os defensivos químicos usuais. Na ausência de resultados de pesquisa na literatura científica até o presente, há pouca ou nenhuma comprovação técnica ou científica dos benefícios desta tecnologia tanto para o controle de doenças, como para qualquer outro fim. A fim de esclarecer os mecanismos de ação do ar quente em videiras e de avaliar a viabilidade de uso da tecnologia para proteção de plantas, é fundamental a obtenção de parâmetros que permitam definir e caracterizar o tratamento, com qual intensidade e por quanto tempo ele atinge as plantas. Paralelamente, é fundamental conhecer os limites de tolerância das folhas à exposição ao fluxo de ar quente e estabelecer um método para replicar o tratamento em escala reduzida, permitindo a realização de avaliações em condições controladas.

Neste trabalho, o objetivo foi caracterizar o tratamento de fluxo de ar quente em videiras em condições de campo, quantificando as variações típicas de temperatura em plantas tratadas com FAQ produzido pelo TPC e determinando o perfil térmico e a velocidade do fluxo quente na saída do implemento. Também foram definidos os limites de tolerância das folhas ao tempo de exposição e às altas temperaturas do fluxo de ar, e foi testado um método equivalente ao tratamento TPC de campo, em escala reduzida, para ser usado em condições controladas.

Material e Métodos

Perfil térmico e velocidade do vento do fluxo de ar quente (FAQ) gerado pelo implemento TPC

A caracterização do perfil térmico e a velocidade do fluxo de ar quente (FAQ) na saída do implemento TPC foi realizada com um termômetro portátil digital, para medidas de temperatura do ar e velocidade do vento de até 200°C e 162 km h⁻¹, respectivamente. As medições de temperatura e velocidade do FAQ foram feitas a partir de 10cm, na horizontal, da saída de ar do implemento e a distâncias crescentes e regulares (Figura 1A). Os pontos de medição em relação à vertical foram definidos a 20 cm abaixo do nível da base do difusor de ar (-20,0), na mesma altura da base (0,0), e a 20, 40, 60, 80, 100, 120 cm acima do nível da base. Esses pontos de medição foram repetidos a cada 20 cm na horizontal, compondo uma grade regular de pontos de medida. As medições foram realizadas com o TPC em funcionamento contínuo, regulado para produzir fluxo a 140°C. A sonda foi mantida em cada ponto de medida por 15 a 30 segundos até entrar em equilíbrio com a temperatura do fluxo naquele ponto. Com os dados medidos foram gerados os gráficos de superfície com a distribuição espacial de temperatura e de velocidade do fluxo de ar quente para determinação do raio de alcance de tratamento efetivo e dissipação térmica horizontal e vertical.

Aos dados de temperatura e velocidade do fluxo foi ajustada, por regressão linear, uma equação sigmoide, selecionada por melhor representar o perfil horizontal dos dados observados. A equação pode ser descrita como $t = d + (T-d)/(1 + \exp((a-X-(a*b))/(a*c)))$, em que a, b, c, d são parâmetros do modelo, T é a temperatura de regulação do TPC, X é a distância a partir da saída do difusor e t é a temperatura que se quer estimar. Essa equação foi utilizada para a espacialização dos resultados e geração dos gráficos de superfície que descrevem o perfil térmico e de fluxo na saída do difusor de FAQ (Figuras 6 e 7).

Temperatura de folhas de videira tratada com FAQ

Para quantificar as variações típicas de temperatura em plantas tratadas com FAQ, foram utilizados

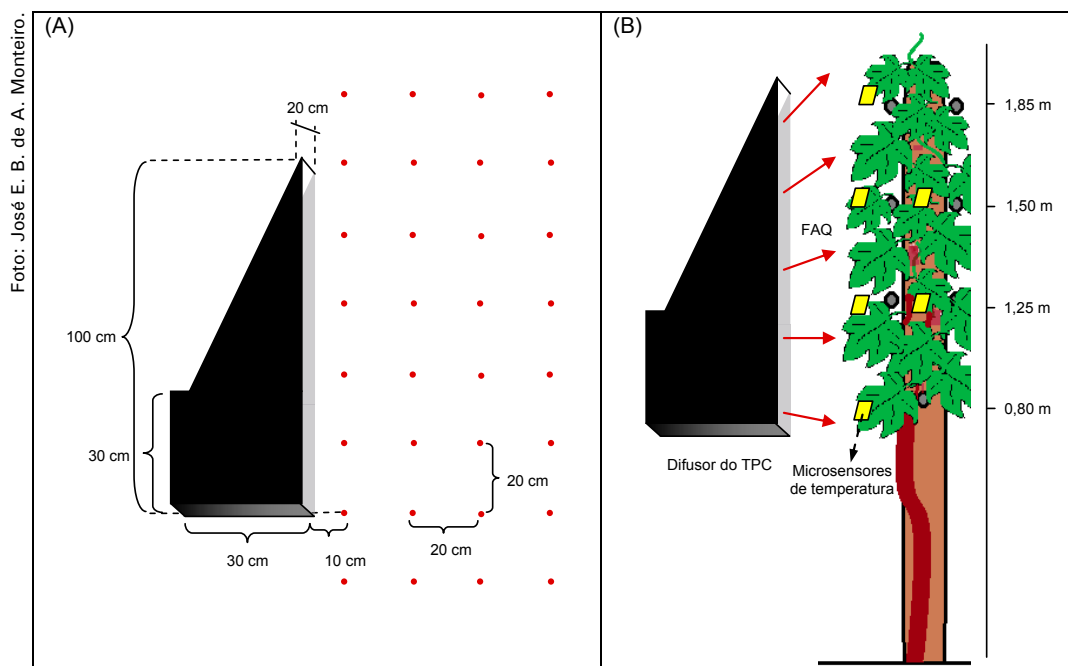


Fig. 1. Dimensões do difusor de ar quente do equipamento *Thermal Pest Control* (TPC) e pontos de posicionamento do termooanemômetro para as medidas de temperatura e velocidade do FAQ (A); posicionamento dos sensores de temperatura de superfície colocados no dossel da videira em relação ao difusor de ar do TPC aplicando fluxo de ar quente (FAQ) (B).

seis sensores de temperatura fixados em diferentes posições da espaldeira. Os sensores utilizados foram do modelo CS220, Campbell Scientific, termopar E cromo-constantan, com amplitude de operação de 0 a 900°C, projetados para medidas em superfícies e com mínimo tempo de resposta. Os sensores foram instalados em diferentes posições de uma videira da cultivar Pinot Noir com cinco anos de idade, conduzida no sistema espaldeira, com espaçamento de 2,50 m entre linhas e de 1,0 m entre plantas, utilizando as folhas do exterior e interior do dossel, e fixados com fita adesiva de modo a ficar em contato direto com o limbo foliar. Quatro sensores foram instalados na parte exterior do dossel e dois instalados na parte interior. Os sensores externos foram fixados na altura do primeiro fio da espaldeira, a 0,80 m a partir do solo, a 1,25 m, a 1,50 m e a 1,85 m. Os sensores internos foram fixados a 1,25 m e a 1,50 m, conforme ilustrado na Figura 1B.

Os sensores foram ligados a um sistema de aquisição de dados para leitura e registro dos dados medidos com frequência de três vezes por segundo. O equipamento de fluxo de ar quente TPC foi acionado e permaneceu funcionando por cinco minutos até que a temperatura do fluxo de saída se estabilizasse a 140°C. Em seguida, foram feitas cinco passagens do TPC na área monitorada em 1ª marcha, a 1,54 km h⁻¹, e depois mais cinco passagens em 2ª marcha, a 2,4 km h⁻¹. O intervalo

entre uma aplicação e outra foi de quatro minutos, tempo suficiente para que a temperatura das folhas retornasse à condição inicial antes da aplicação de ar quente. A distância média entre a saída do difusor de ar e os sensores situados nas folhas das plantas foi de, aproximadamente, 20 cm. Os dados das cinco aplicações foram resumidos pela média, a fim de se determinar a variação típica da temperatura na superfície das folhas, provocada pelo FAQ, antes, durante e após a aplicação do tratamento.

Tolerância das folhas de videira ao calor

A partir dos resultados das avaliações do TPC em campo, foi desenvolvido um método a fim de permitir replicar os tratamentos em escala reduzida, para testes e estudos em videiras em condições controladas, de casa de vegetação. O método para condições controladas consiste no uso de um soprador térmico portátil (HG2000K, Black&Decker), com duas velocidades e temperatura regulável, capaz de produzir FAQ entre 50 e 450°C. O equipamento foi utilizado a uma distância padronizada de aplicação de 11 cm entre o bocal de saída de ar e as folhas de videira tratadas. As regulagens do soprador foram aferidas para gerar, na distância padrão, fluxos de ar com temperaturas de 60°C a 180°C, com incrementos regulares de 10°C (60, 70, 80, ..., 180°C). Dentre as várias intensidades de FAQ geradas pelo soprador térmico, foram identificadas as que eram capaz de reproduzir

com exatidão as temperaturas de folha obtidas nos tratamentos medidos em condições de campo, com TPC. Dessa forma, os tratamentos correspondentes à condição de campo foram utilizados em experimentos de avaliação de doenças, em casa de vegetação (CAVALCANTI et al., 2014).

Os limites de tolerância das folhas de videira às altas temperaturas foram avaliados em mudas da cultivar Cabernet Sauvignon com 60 dias de rebrota, todas saudáveis, em ambiente de casa de vegetação (situada na Embrapa Uva e Vinho, lat. -29,16, lon. -51,53). Os tratamentos testados consistiram em aplicações de FAQ em várias combinações de tempo de aplicação (0,3 s, 0,5 s, 1 s, 2 s e 3 s) e temperatura (50, 70, 90, 110, 130, 150, 170 e 190°C). As avaliações foram realizadas 48 horas após o tratamento com FAQ e o percentual de área morta do limbo foliar foi estimado por avaliador único. Foram avaliadas três repetições por tratamento e cada repetição consistiu em um total de seis folhas de uma planta. Aos dados médios dos tratamentos foi ajustada uma equação por regressão linear simples, a fim de produzir a interpolação dos dados de área injuriada em função da variação da temperatura e do tempo de aplicação.

Efeito do tratamento de FAQ em folhas de videira com míldio

Quanto à hipótese de existência de efeito curativo promovido por FAQ em videira, foi realizada uma avaliação preliminar a fim de coletar evidências sobre os efeitos do FAQ em plantas com míldio. Um experimento foi realizado com mudas de um mesmo clone da cultivar Cabernet Sauvignon com 60 dias de rebrota, em casa de vegetação. As plantas foram inoculadas com suspensão de esporângios de *Plasmopara viticola*, na concentração de 5×10^4 esp. mL⁻¹ em câmara úmida por 24 horas. Os tratamentos de FAQ testados foram realizados aos 14 dias após a inoculação, quando já havia abundante expressão dos sintomas da doença, com cerca de 10 a 30% de área foliar doente. Os tratamentos consistiram em uma única aplicação de FAQ com temperaturas de 100, 120, 140, 160, 180 e 200°C, por 0,5 s cada, em um conjunto de seis folhas de uma planta de videira. As avaliações foram realizadas em cada folha tratada, individualmente, aos dois dias e aos sete dias após o tratamento com FAQ, por meio de avaliação visual dos sinais de doença e de injúrias por calor, e por análise de imagens digitais, antes e após os tratamentos.

Resultados e Discussão

Perfil térmico e velocidade do vento do fluxo de ar quente (FAQ) gerado por TPC

Na avaliação da temperatura do fluxo de ar quente em função da distância do TPC, com temperatura regulada para 140°C, e temperatura ambiente de 18°C no momento das medições, foi possível verificar que, na distância de 10 cm a partir da saída do difusor, a temperatura diminuiu para cerca de 120°C. Na distância de 20 cm a partir da saída do difusor, a temperatura diminuiu para cerca de 110°C, e para 90 a 100°C na região mais baixa de dispersão do fluxo. A partir de 40 cm da saída do difusor, a temperatura do fluxo diminuiu para a faixa dos 60°C (Figura 2).

Considerando que o objetivo do implemento TPC é aplicar o tratamento com determinada temperatura, fica evidente a importância de se manter uma distância constante entre o difusor e as plantas alvo. Variações relativamente pequenas (p. ex. 20 cm), implicam em grande redução da temperatura do FAQ. Portanto, não basta regular apenas a temperatura do fluxo gerado pelo implemento, mas é necessário considerar também a distância até o fluxo atingir a planta ou folha alvo. Essa rápida diminuição da temperatura do FAQ ocorre, principalmente, porque quanto maior a distância do difusor ao alvo, maior a mistura do fluxo turbulento de ar quente com o ar ambiente ao redor. É importante considerar, ainda, os espaçamentos entre espaldeiras usados nos vinhedos comerciais, e a consequente necessidade de se adequar a largura dos difusores. A readequação seria necessária, também, para outros sistemas de condução que resultem em diferenças na arquitetura do dossel.

Nas avaliações da velocidade do fluxo de ar quente em função da distância a partir da saída do difusor do implemento TPC foi verificada uma velocidade do fluxo superior a 110 km h⁻¹ na saída do difusor, reduzindo para cerca de 90 a 100 km h⁻¹ na distância de 20 cm a partir do difusor e de 50 a 70 km h⁻¹ na distância de 40 cm do difusor (Figura 3).

Em condições naturais, velocidades de ar superiores a 100 km h⁻¹ são extremamente danosas às culturas agrícolas em geral, inclusive em vinhedos, causando danos severos como a quebra de ramos e desfolha (PEREIRA et al., 2002). No entanto, avaliações em vinhedos após a aplicação do FAQ constataram ausência de danos significativos, limitando-se apenas

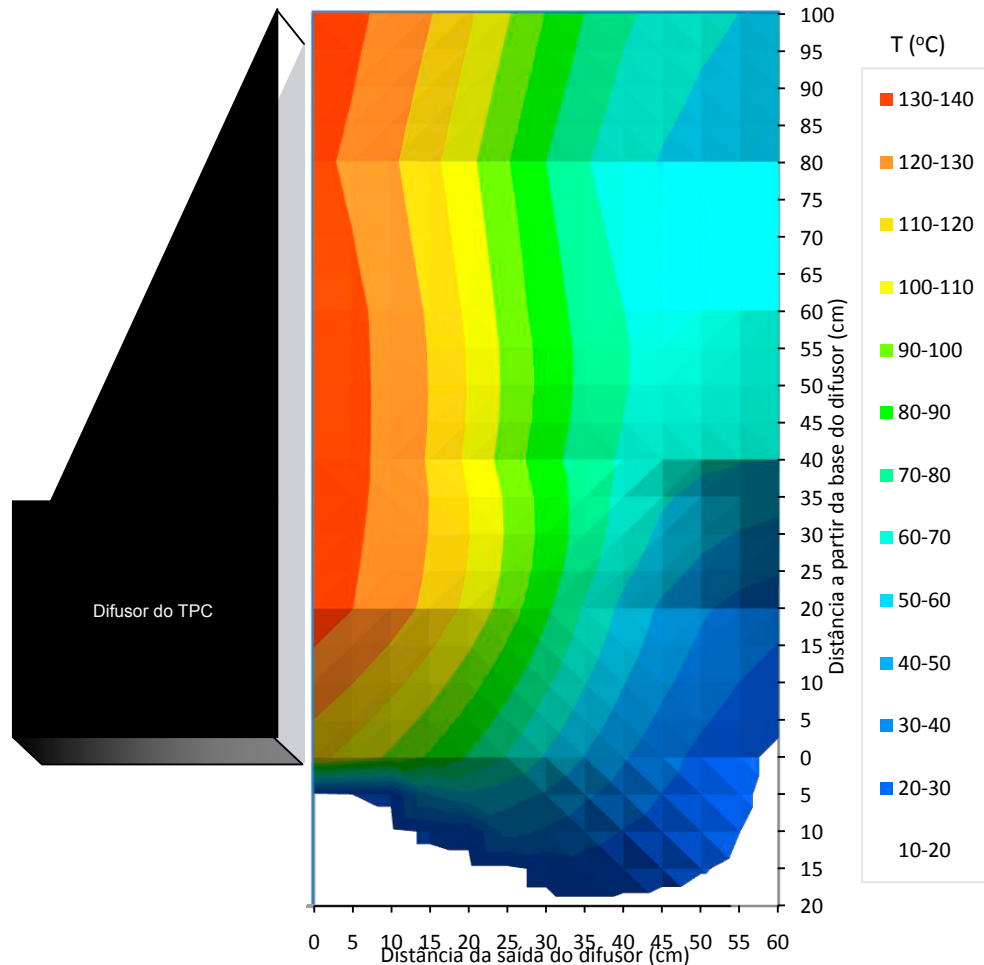


Fig. 2. Temperatura (T) do fluxo de ar quente (FAQ) a partir da saída do difusor do implemento TPC com temperatura regulada para 140°C.

a algumas folhas rasgadas. Nesse caso, apesar da alta velocidade do fluxo na saída do difusor, a área da videira em espaldeira atingida pelo FAQ é relativamente pequena, restringindo-se a uma faixa estreita de 30 a 40 cm de largura, dependendo da distância entre o difusor e a espaldeira. Quanto maior essa distância, maior a dispersão lateral do fluxo, alargando a zona de influência do FAQ, mas diminuindo proporcionalmente sua velocidade e temperatura.

Temperatura de folhas de videira tratada com FAQ

Nas avaliações da temperatura da superfície de folhas do dossel de videira tratadas com FAQ verificou-se situações muito diferentes dependendo da posição considerada do dossel (Figura 4).

No momento antes da aplicação, as folhas encontravam-se com temperatura estável em torno de 24°C. Durante o primeiro segundo após o início da aplicação observou-se um súbito aumento na

temperatura. Considerando que foi realizada uma medida a cada 0,33 segundos, a temperatura máxima foi alcançada entre 0,66 e 0,99 segundos após o início da aplicação. Considerando a velocidade de deslocamento do conjunto trator com implemento, de 2,4 km h⁻¹, e a largura de 20 cm do difusor de ar, é necessário apenas 0,3 segundos para o difusor percorrer a distância da sua largura, do início ao seu fim, em um ponto qualquer de uma folha. A rigor, portanto, a folha tratada com TPC estaria exposta ao FAQ apenas durante esse breve momento. No entanto, considerando a difusão turbulenta do fluxo de ar entre a saída do difusor e a folha, a largura de aplicação do FAQ pode ser maior. Isso aumenta o tempo de exposição da folha mas, também, diminuiria proporcionalmente a temperatura do FAQ ao atingir a folha, como será demonstrado adiante (Figura 6).

O aumento de temperatura nas folhas foi maior na altura de medida de 1,5 m, saindo de 24°C e alcançando 32°C. O menor aumento ocorreu na altura de 0,80 m, onde a temperatura subiu de

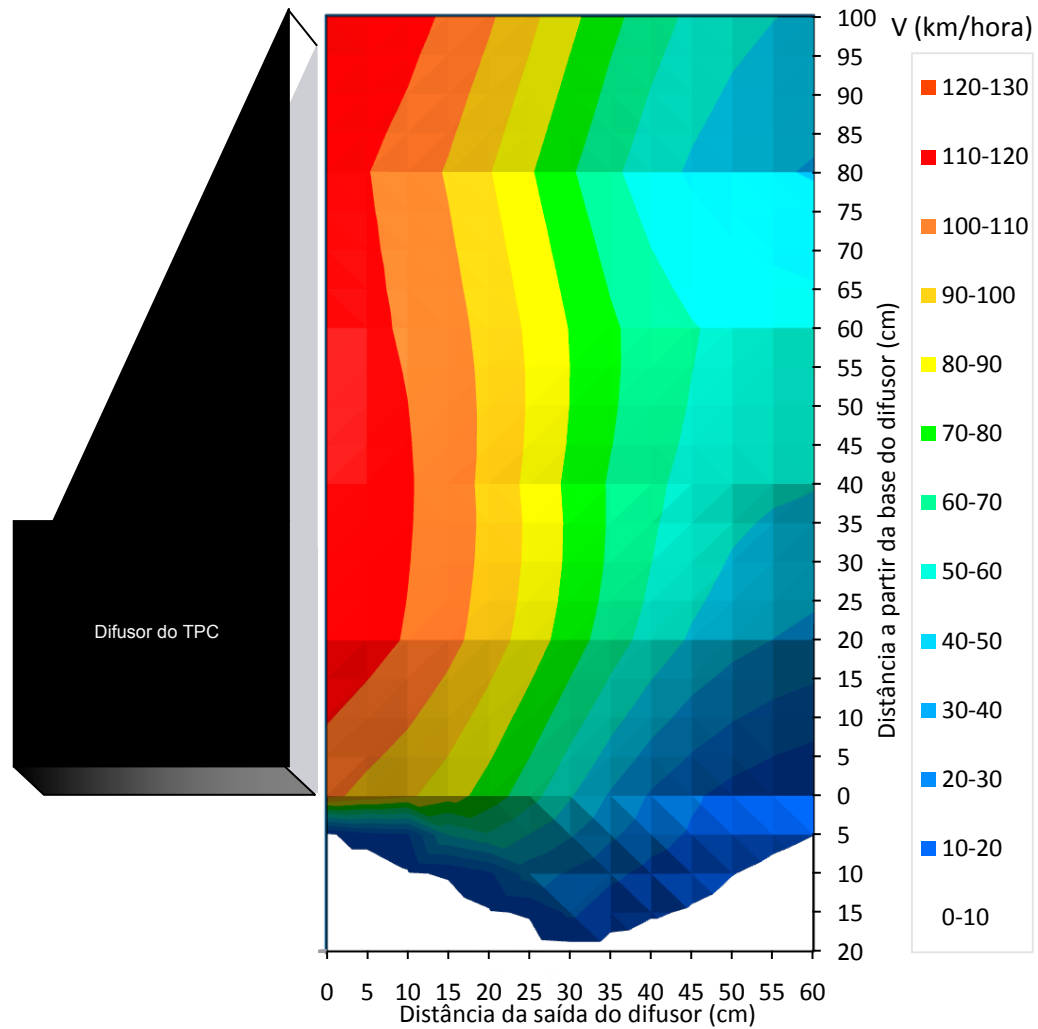


Fig. 3. Velocidade (V), em quilômetros por hora, do fluxo de ar quente (FAQ) a partir da saída do difusor do implemento TPC com temperatura regulada para 140°C.

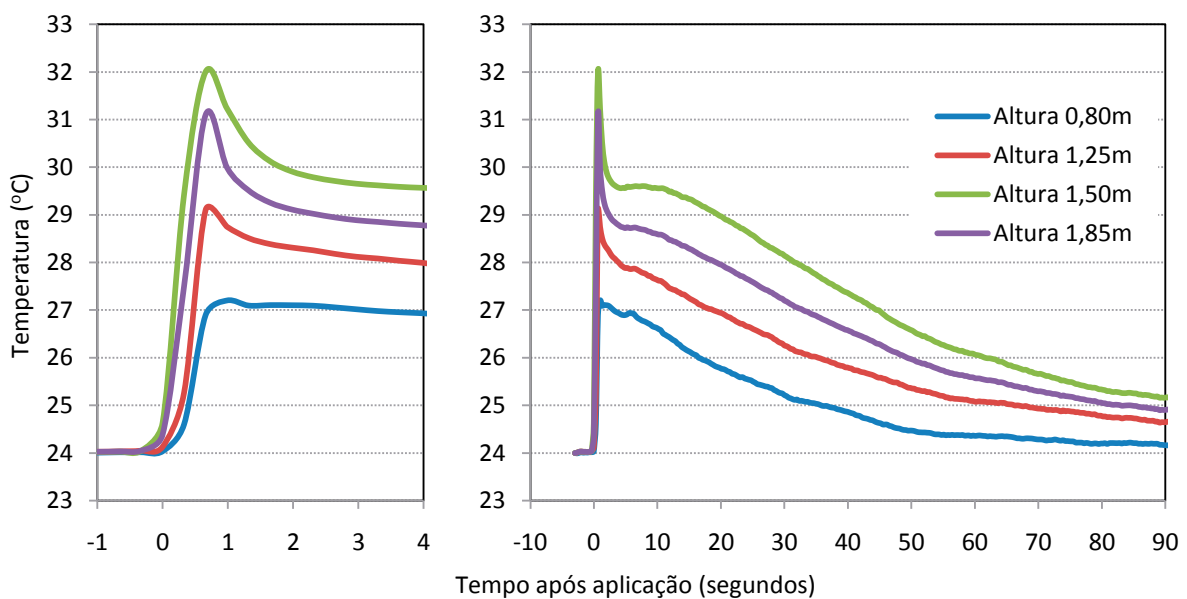


Fig. 4. Curvas médias de variação de temperatura de superfície de folhas da parte externa do dossel de videira conduzida em espaladeira e tratada com fluxo de ar quente (FAQ) a 140°C por TPC com velocidade de deslocamento de 2,4 km h⁻¹, no período de -1 a 4 segundos e -10 a 90 segundos após aplicação do tratamento pelo equipamento.

24°C e chegou até 27°C. Após esse aumento súbito de 3 a 8°C durante os primeiros 0,99 segundos, a temperatura medida caiu entre 1 a 2°C no intervalo de 0,99 e 1,65 segundos para, depois, apresentar um ritmo de queda menor, reduzindo até voltar à temperatura do ambiente em cerca de 1 minuto e meio a 2 minutos (Figura 4). Essa redução rápida no intervalo entre 0,99 e 1,65 segundos pode representar, apenas, o período de tempo necessário para o sensor entrar em equilíbrio térmico com a folha. Por ter massa desprezível, o sensor entra em equilíbrio térmico com o ambiente muito rapidamente. No início do tratamento, entre 0 e 0,99 segundos, o sensor entra em equilíbrio térmico com o ar quente. Depois, entre 0,99 e 1,65 segundos, com a folha. Portanto, a curva de redução lenta da temperatura, após 1,65 segundos, representa melhor a variação da temperatura da folha.

O aumento máximo de temperatura medido em folhas da parte externa e interna do dossel de videira foi variável dependendo da altura considerada (Figura 5). Nas medidas realizadas na parte externa do dossel, a média dos aumentos máximos de quatro aplicações foi a menor na altura do primeiro fio, a 0,80 m de altura em relação ao solo. Os maiores aumentos foram verificados nas medidas a 1,5 m de altura.

Nas medidas realizadas na parte interna do dossel, o aumento máximo a 1,25 m de altura foi de 2,7°C. Diferente, portanto, da medida na parte externa, o que mostra como a massa de folhas do dossel

pode interferir no direcionamento e distribuição do fluxo quente. Por outro lado, na altura de 1,5 m, o ganho térmico chegou a 8,3 °C, praticamente igual ao medido na parte externa. Essas diferenças observadas entre as alturas de medida revelam a desuniformidade na distribuição dos volumes de ar aplicados pelo TPC na espaldeira. Se o objetivo for proporcionar uma aplicação uniforme nas diferentes partes da planta, então uma reestruturação do difusor será necessária.

As avaliações da temperatura de folhas de videira tratadas com FAQ com deslocamento do trator em primeira marcha (Figura 6) resultaram em valores maiores que os obtidos no deslocamento rápido.

Vale enfatizar que as curvas de temperatura da Figura 4 foram geradas com velocidade de deslocamento de 2,4 km h⁻¹, em segunda marcha reduzida. Nesse caso, porém, a velocidade menor, de 1,54 km h⁻¹, implica em maior tempo de exposição das folhas ao FAQ. Considerando a velocidade de deslocamento do conjunto trator implemento, de 1,54 km h⁻¹, e a largura de 20 cm do difusor de ar, seria necessário 0,47 segundos para o difusor percorrer a distância da sua largura, do seu início ao seu fim, até um ponto qualquer de uma folha. Assim, os padrões de variação da temperatura, tanto na maior quanto na menor velocidade de deslocamento do TPC, são os mesmos. A diferença, no entanto, foi que as temperaturas atingiram valores maiores na menor velocidade, devido ao maior tempo de exposição.

Nas avaliações de aumentos máximos de temperatura das folhas nas aplicações com deslocamento de 1,54 km h⁻¹ observou-se o mesmo padrão de resultados, com menor temperatura nas partes mais baixas da espaldeira e maior temperatura na altura de medida de 1,5 m (Figura 7). Porém, todos os aumentos máximos foram maiores, com diferenças entre 1,4 e 5,1°C, dependendo da altura de medida e da posição no dossel.

Estes resultados ilustram a importância da combinação temperatura do fluxo de ar quente e o tempo de aplicação, pois quanto maior o tempo de exposição ao FAQ, maior é a transferência térmica do ar quente para a folha. Mesmo com uma temperatura extremamente alta como 140°C, potencialmente letal para a videira, a planta não apresenta sinais de injúria, pois o tempo

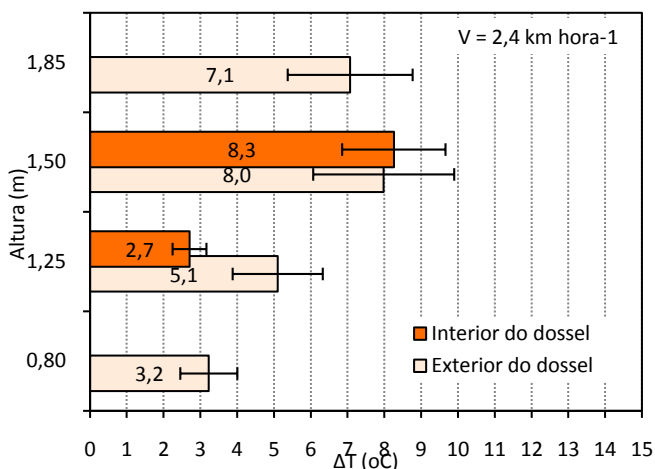


Fig. 5. Aumentos máximos de temperatura (ΔT) registrados nas folhas em cada altura (0,80, 1,25, 1,50 e 1,85 m) e posição (interior, exterior) do dossel de videira conduzida em espaldeira, média de 4 aplicações de fluxo de ar quente (FAQ) com temperatura de fluxo na saída do difusor de 140°C e velocidade de 2,4 km h⁻¹ de deslocamento do implemento.

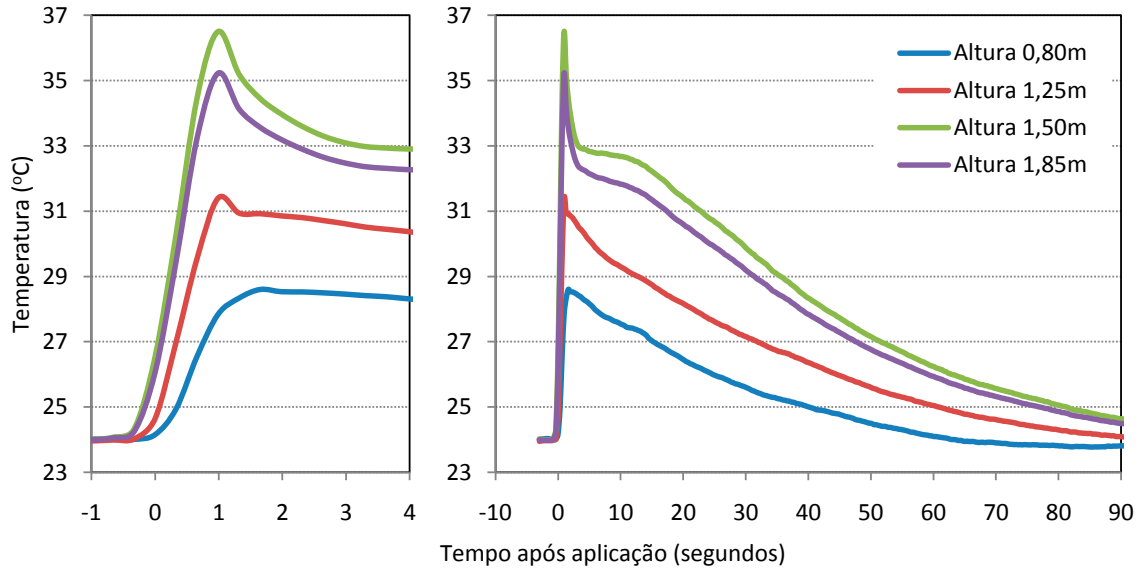


Fig. 6. Curvas médias de variação de temperatura de superfície de folhas da parte externa do dossel de videira conduzida em espaladeira e tratada com fluxo de ar quente (FAQ) a 140°C por TPC com velocidade de deslocamento de 1,54 km h⁻¹, no período de -1 a 4 segundos e -10 segundos a 90 segundos após aplicação do tratamento pelo equipamento.

de exposição é muito curto nas velocidades de aplicação normalmente praticadas no vinhedo. Em função desse tempo de exposição reduzido, as temperaturas máximas verificadas nas folhas não foram tão altas quanto as do FAQ produzidas pelo TPC. Na maior velocidade, as maiores temperaturas medidas nas folhas chegaram a atingir 32°C, na média das aplicações e com temperatura ambiente de 24°C. Na menor velocidade, as maiores temperaturas medidas nas folhas chegaram a cerca de 37°C, na média das aplicações, com pico de 4°C em uma das aplicações.

Tolerância das folhas de videira ao calor

A temperatura do FAQ ajustada no equipamento aplicador, medida dentro do equipamento ou do difusor de ar, não é a mesma do ar que atinge a planta. Além disso, também existe uma diferença muito grande entre a temperatura do FAQ ao atingir a folha, e a temperatura da própria folha. Isso ocorre, por que a quantidade de calor transferida do ar quente para a folha é muito pequena, porque o tempo de exposição da folha é muito curto.

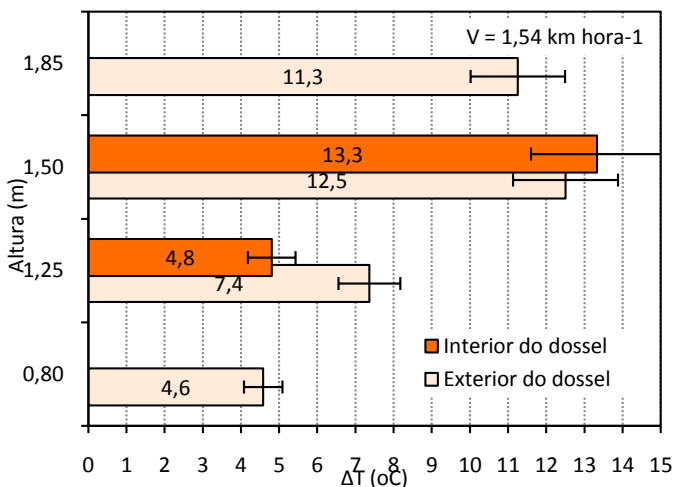


Fig. 7. Aumentos máximos de temperatura (ΔT) registrados nas folhas em cada altura (0,80, 1,25, 1,50 e 1,85 m) e posição (interior, exterior) do dossel de videira conduzida em espaladeira, média de 4 aplicações de fluxo de ar quente (FAQ) com temperatura de fluxo na saída do difusor de 140°C e velocidade de 1,54 km h⁻¹ de deslocamento do implemento.

Mesmo sem variar a temperatura do FAQ, mudanças na velocidade de deslocamento do implemento podem alterar muito a quantidade de calor transferida para as partes da planta e, conseqüentemente, a temperatura dos seus tecidos. Já foi observado que, nas aplicações do TPC em vinhedos, quando o equipamento estaciona num mesmo ponto e permanece aplicando FAQ por alguns minutos, ou mesmo segundos, isso é suficiente para provocar morte de todas as folhas e, também, dos ramos verdes da planta. Portanto, é preciso conhecer os limites de tolerância da planta às altas temperaturas. Na Figura 8 são apresentados os sinais típicos de injúrias por calor observadas em folhas tratadas com FAQ por 0,5 a 130°C e por um segundo a 100, 110, 130 e 160°C. Os sinais de queimaduras provocadas pelo FAQ em folhas saudáveis se caracterizam por partes do limbo foliar seco, morto, com formato irregular e bordas geralmente arredondadas. Na Tabela 1 são apresentados os resultados

interpolados dos percentuais observados de área foliar injuriada, avaliadas em folhas tratadas em diversas combinações de temperatura e tempo de exposição. Esses resultados de tolerância à temperatura foram produzidos em condições controladas, por meio do soprador de calor portátil, o que tornou possível testar vários tempos e temperaturas de aplicação. Os resultados demonstram que quanto maior a temperatura ou quanto maior o tempo de exposição, maior a porção de área foliar danificada pelo calor.

Com um tempo de exposição da folha ao FAQ de 0,45 segundos, que corresponde à velocidade de deslocamento do implemento a $2,4 \text{ km h}^{-1}$, não ocorrem injúrias até a temperatura de 135°C . A partir de 145°C , a área foliar injuriada por calor aumenta rapidamente em temperaturas mais quentes. Por outro lado, com um tempo de exposição de 0,7 segundos, que corresponde à velocidade de deslocamento do implemento a $1,54 \text{ km h}^{-1}$, é seguro aplicar FAQ, sem ocorrência de injúrias, a até 110°C , no caso da cultivar Cabernet Sauvignon. Essas velocidades foram aferidas nos teste de campo, com o trator rebocando o implemento TPC em 2ª e em 1ª marchas reduzidas, respectivamente. A correspondência entre velocidade de deslocamento e tempo de aplicação fez-se considerando uma largura aproximada de aplicação de 30 cm. O difusor utilizado na saída de ar do implemento apresentava 20 cm de largura. Na distância entre a saída do difusor e as plantas tratadas, ocorria uma dispersão lateral do fluxo, alargando a faixa de aplicação. Portanto, os tempos de aplicação correspondem ao tempo para o implemento percorrer a largura de aplicação nas velocidades consideradas.

Na mesma temperatura de 90°C , os primeiros sinais de injúria por calor começam a aparecer com o tempo de aplicação de um segundo. Por outro lado, nos resultados obtidos com FAQ a 140°C , os primeiros danos já começam a ocorrer com apenas 0,45 segundos de tempo de aplicação, ou seja, correspondente a velocidade de $2,4 \text{ km h}^{-1}$ de deslocamento do conjunto mecanizado (trator com implemento TPC).

Efeito do tratamento de FAQ em folhas de videira com míldio

Nas avaliações de folhas com míldio tratadas com FAQ, verificaram-se percentuais de área foliar

injurida em valores semelhantes aos obtidos no ensaio de tolerância ao calor, descritos neste texto. Os tratamentos de 100 e 120°C , não apresentaram alterações nas proporções de área foliar sadia x doente. As imagens produzidas antes e após a aplicação dos tratamentos permaneceram iguais. No tratamento a 140°C , constatou-se o aparecimento de injúrias provocadas pelo calor, limitadas a menos de 15% da folha. No tratamento com FAQ a 160°C , as folhas apresentaram uma média de 35% da área queimada, com máximo de 50%. A Figura 9 ilustra, como exemplo, uma folha de videira com míldio aos sete dias após a aplicação do tratamento com FAQ a 160°C . Os tratamentos a 180 e 200°C provocaram queimaduras mais generalizadas, em proporções acima de 50 e 85% da área foliar, respectivamente, causando queda das folhas entre dois e sete dias após o tratamento (Tabela 2).

Nas folhas com míldio, quando injúrias por calor ocorrem nas partes doentes da folha, as queimaduras tendem a ficar mais limitadas, circunscritas aos contornos das lesões da doença (Figura 9B). Quando ocorre nas partes sadias da folha, seus sinais ou características são semelhantes àqueles observados em folhas completamente sadias (Figura 8, Figura 9C). Em temperaturas mais altas (ex. 160°C) ou exposição mais prolongada, queimaduras maiores podem ocorrer, abrangendo tanto tecido foliar sadio como tecido doente. Nesse caso, ainda assim é possível diferenciar o tecido que era sadio do tecido que era doente, pois as bordas da lesão de míldio tendem a permanecer com coloração diferente após a queimadura, como indicado pelas setas na Figura 9d. Além disso, as lesões por queimadura apresentam bordas arredondadas (Figura 9C), enquanto as lesões de míldio, normalmente limitadas por nervuras da folhas, apresentam bordas mais retilíneas e contorno angular (Figura 9B).

O comprometimento da integridade física no tecido foliar causado pelo míldio, em maior ou menor grau, deve torná-lo mais suscetível aos efeitos do calor e mais propenso a secar, pois observou-se maior proporção de lesões de míldio secas, ou “queimadas”, do que tecido foliar sadio. No tratamento com FAQ a 140°C , as folhas avaliadas por analisador de imagens apresentaram, em média, cerca de 26% de área foliar doente (ou 74% sadia) antes da aplicação do tratamento. Após a aplicação do tratamento, a área foliar “queimada” foi de 12%, dos quais 7,5% corresponderam a área foliar doente removida

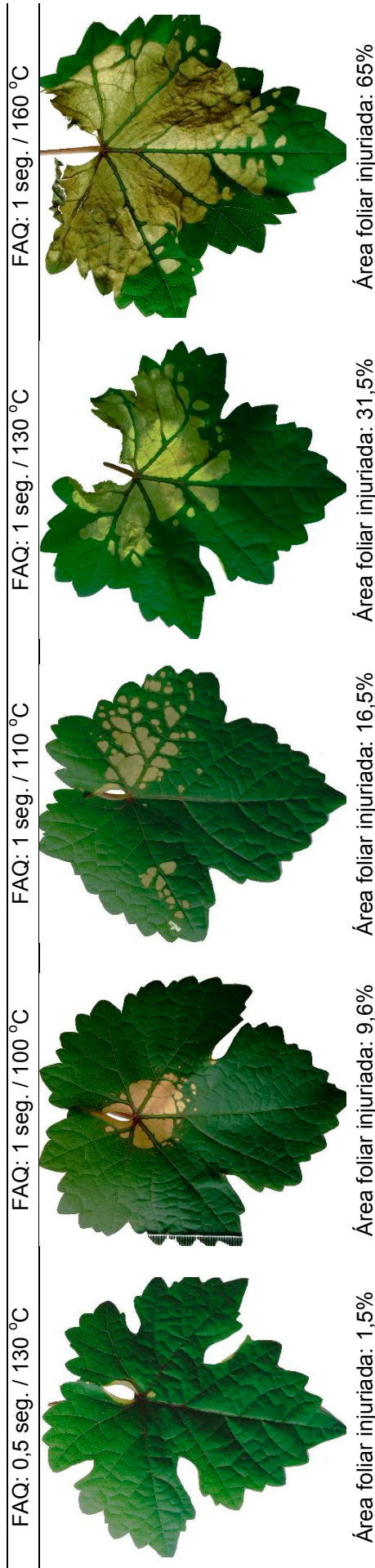


Fig. 8. Sinais típicos de injúrias causadas por calor (queimadura) no limbo foliar de videira, cv. Cabernet Sauvignon, causados FAQ aplicado por 0,5 a 130°C e por 1 segundo a 100, 110, 130 e 160°C. Os percentuais de área foliar injuriada foram quantificados por software de processamento de imagens digitais, Quant V.1.0.22.

Tabela 1. Percentual de área foliar de videira com injúria por calor resultante de tempo de exposição e temperatura do fluxo de ar quente (FAQ), com aplicação por soprador térmico portátil, em cv. Cabernet Sauvignon com 60 dias de rebrota. Valores interpolados por equações ajustadas por regressão linear a partir dos dados observados. As velocidades de deslocamento do TPC correspondem às velocidades necessárias para obter os tempos de aplicação indicados, com base em uma largura de aplicação de 30 cm de largura.

Velocidade correspondente de deslocamento do TPC (Km hora ⁻¹)	Tempo de exposição da folha (segundos)	Temperatura do FAQ ao atingir a folha (°C)																											
		50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180	
3,60	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	11
2,70	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	11	15
2,40*	0,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	10	15	19	23	28	32	36
2,16	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	10	15	19	23	28	32	36	41
1,80	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9	13	17	22	26	30	35	39
1,54**	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	12	16	20	24	29	33	37
1,35	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	10	14	19	23	27	31	36
1,20	0,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	13	17	21	26	30	34	38
1,08	1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7	11	15	20	24	28	33	37
0,72	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	15	19	23	28	32	36	41	45
0,54	2,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	10	14	18	23	27	31	36	40
0,43	2,5	4	8	12	16	21	25	29	34	38	42	47	51	55	59	64	68	72	77	81	85	90	94	98	100	100	100	100	100
0,36	3,0	23	27	32	36	40	45	49	53	57	62	66	70	75	79	83	88	92	96	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

* Velocidade utilizada nas avaliações do TPC em campo, com trator operando em segunda marcha reduzida; ** Velocidade utilizada nas avaliações do TPC em campo, com trator operando em primeira marcha reduzida.

Tabela 2. Resultados observados dos tratamentos com fluxo de ar quente (FAQ) em folha de videira, cultivar Cabernet Sauvignon, retratada aos dois e aos sete dias após aplicação.

Tratamento de FAQ	Resultados das avaliações após tratamento
0,5 segundos a 100°C	Sem alterações, área foliar doente permaneceu constante.
0,5 segundos a 120°C	Sem alterações, área foliar doente permaneceu constante.
0,5 segundos a 140°C	0 a 15% de injúria por calor em área foliar doente ou sadia.
0,5 segundos a 160°C	15 a 50% de injúria por calor em área foliar doente ou sadia.
0,5 segundos a 180°C	50 a 85% de injúria por calor, com queda das folhas em até 7 dias.
0,5 segundos a 200°C	85 a 100% da folha com injúria por calor, com queda das folhas em até 2 dias.

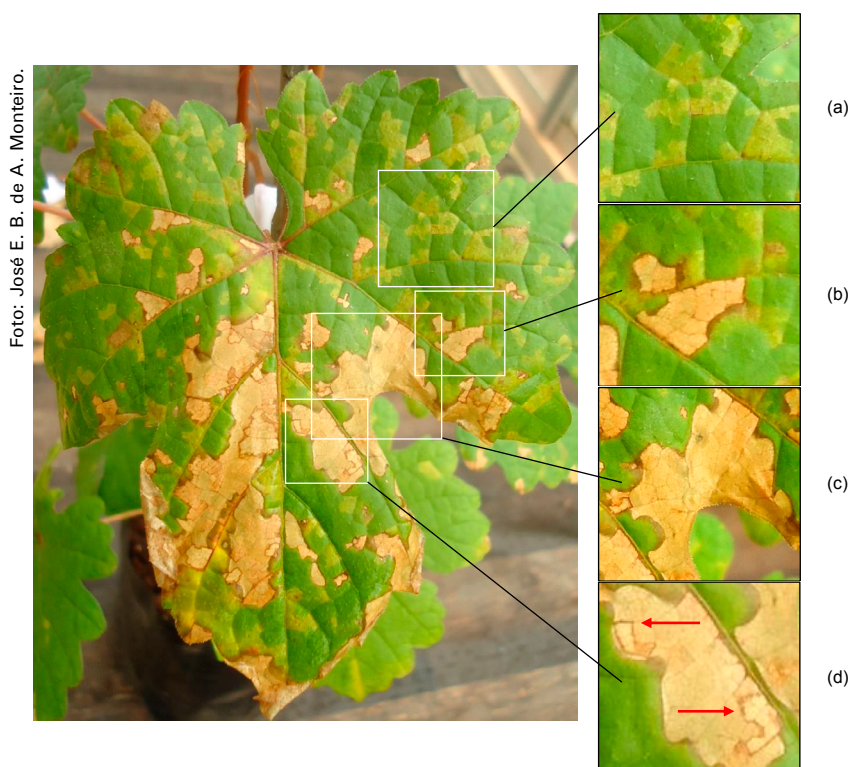


Foto: José E. B. de A. Monteiro.

Fig. 9. Folha de videira, cultivar Cabernet Sauvignon, retratada aos sete dias após aplicação do fluxo de ar quente a 160°C por 0,5 s. A imagem permite identificar lesões em três situações diferentes: (a) lesões férteis de míldio ("manchas de óleo"), lesão plionecrótica; (b) lesões de míldio secas, inativadas pelo calor, holonecrotica; (c) porção do limbo foliar necrosada pelo calor e (d) porção do limbo foliar lesionada pelo calor e com lesões de míldio secas (setas vermelhas).

(queimada) e 4,5% a área foliar sadia removida (queimada).

A remoção de área foliar doente pelo calor seria desejável. No entanto, a proporção de área foliar doente removida foi pequena, 7,5% em 26%, em média. Além disso, também ocorreu injúria em área foliar sadia, o que é um efeito colateral indesejável. Ainda que se consiga definir com precisão uma temperatura, entre 120 e 140°C, que inative as lesões de míldio sem causar danos em área foliar sadia, seria impossível de aplicar na prática, em campo, por diversos motivos. Um deles é a impossibilidade de se aplicar uma temperatura constante nas diferentes partes da planta já que, sempre podem existir folhas mais próximas da saída

do FAQ, e outras mais distantes. Outra dificuldade é que folhas de diferentes idades apresentam diferentes níveis de tolerância ao calor pois, normalmente, folhas mais jovens e tenras são mais sensíveis.

Nesse caso, as avaliações se limitaram aos aspectos visuais externos da folha e das lesões doentes. Restariam, ainda, outras questões a serem avaliadas como, por exemplo, o efeito do calor no patógeno, no progresso da doença ao longo do tempo, na fisiologia da planta e como eventual indutor de resistência da planta. Esses assuntos são abordados na Circular Técnica da Embrapa Uva e Vinho: "Thermal Pest Control (TPC) II: Aspectos gerais do efeito biológico do fluxo de ar quente na proteção da videira contra o míldio", Cavalcanti et al. (2014).

Considerações Finais

As diferenças de temperatura observadas entre os pontos de medida revelam falta de uniformidade na distribuição dos volumes de ar aplicados pelo TPC, tanto na direção vertical, quanto na horizontal. Na direção vertical, medidas técnicas podem ser tomadas para providenciar melhor uniformidade na distribuição de calor. Na direção horizontal, pode ser muito difícil, senão impossível, conseguir a uniformidade necessária pois variações relativamente pequenas, de 20 cm, implicam em grande variação na temperatura do FAQ, e isso ocorre devido a variações naturais na posição das folhas no dossel, devido a agitação das folhas durante a aplicação de FAQ, devido a diferentes espaçamentos entre linhas ou a irregularidades no terreno.

Apesar das altas temperaturas do FAQ, o tempo de tratamento é muito curto, permitindo que apenas uma pequena quantidade de calor seja transferida para as folhas, o que resulta em pequeno aumento efetivo de temperatura das folhas.

A aplicação de FAQ induz a falência de lesões de míldio, e tal fenômeno pode cooperar para reduzir sítios infecciosos da doença. No entanto, o efeito desejável de redução de sítios infecciosos ativos só é obtido em temperaturas muito próximas das que também causam injúrias em área foliar sadia, resultando em aumento do total de área injuriada.

Agradecimentos

À Vinícola Geisse pela concessão de vinhedos para experimentos e contínua parceria.

Aos laboratórios de Pós-Colheita, LACEM e de Microbiologia da Embrapa Uva e Vinho, e aos seus supervisores, pelo irrestrito apoio científico. Ao CNPq pelo suporte financeiro.

Referências

- NOVA tecnologia para o cultivo de uva sem uso de agrotóxicos e pesticidas. **A Lavoura**, n. 680, p. 26-27, 2010.
- BURR, T. J.; OPHEL, K.; KATZ, B. H.; KERR, A. Effect of hot water treatment on systemic *Agrobacterium tumefaciens* biovar 3 in dormant grape cuttings. **Plant Disease**, v. 73, p. 242-245, 1989.
- CAVALCANTI, F. R.; MONTEIRO, J. E. B. A.; ALMANÇA, M. A. K.; HUNOFF, T. S.; RUSIN, C. **Thermal Pest Control (TPC) II: aspectos gerais do efeito biológico do fluxo de ar quente na proteção da videira contra o míldio**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2014. (Embrapa Uva e Vinho. Circular Técnica, 100). No prelo.
- HALL, T. W.; HEIDENREICH, M. C.; CICCARELLI, R.; ANDERSEN, R. L.; TURECHEK, W. W. Eradication of *Pseudomonas syringae* pv. *Syringae* in sweet cherry bud sticks. (Abstr.) **Phytopathology**, v. 92, n. 33, 2002.
- KECK, M.; CHARTIER, R.; ZISLAVSKY, W.; LECOMTE, P.; PAULIN, J. P. Heat treatment of plant propagation material for the control of fire blight. **Plant Pathology**, v. 44, p. 124-129, 1995.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- IBRAVIN. Vinícolas brasileiras aplicam nova tecnologia para cultivo de uva sem uso de agrotóxicos e pesticidas. **Informativo Saca-rolhas**, Bento Gonçalves, v. 2, n. 4, 2011. 28 p.
- VINCENT, C.; PANNETON, B.; FLEURAT-LESSARD, F. (Ed.). **Physical control methods in plant protection**. New York: Springer-Verlag, 2001. 337 p.

Comunicado Técnico, 158

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na: Embrapa Uva e Vinho
Rua Livramento, 515 - Caixa Postal 130
95700-000 Bento Gonçalves, RS
Fone: (0xx) 54 3455-8000
Fax: (0xx) 54 3451-2792
<https://www.embrapa.br/uva-e-vinho/>
1ª edição
1ª impressão (2014): 500 exemplares

Comitê de Publicações

Presidente: César Luis Girardi
Secretária-Executiva: Sandra de Souza Sebben
Membros: Adelião Cargnin, Alexandre Hoffmann, Ana Beatriz da Costa Czermainski, Henrique Pessoa dos Santos, João Caetano Fioravanço, João Henrique Ribeiro Figueredo, Jorge Tonietto, Luísa Veras de Sandes Guimarães e Viviane Maria Zanella Bello Fialho

Expediente

Editoração gráfica: Alessandra Russi