



# Favorabilidade para a aplicação de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar com base em critérios agrometeorológicos

Francieli Santos de Oliveira<sup>1</sup>, Marcella Ferreira<sup>1</sup> e Paulo Cesar Sentelhas<sup>1(\*)</sup>

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP). Av. Pádua Dias, 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. E-mails: francieli.oliveira@usp.br, marcella.ferreira@usp.br e pcsentel.esalq@usp.br

(\*)Autor para correspondência.

## INFORMAÇÕES

### História do artigo:

Recebido em 10 de junho de 2020

Aceito em 20 de novembro de 2020

### Termos para indexação:

tecnologia de aplicação  
temperatura do ar  
velocidade do vento  
umidade relativa  
chuva  
balanço hídrico  
deriva

## RESUMO

O manejo de plantas daninhas na cana-de-açúcar é realizado por meio da aplicação de herbicidas, sendo esta influenciada pelas condições ambientais, que condicionam o número de dias favoráveis para essa operação (NDF). Assim, o objetivo deste estudo foi determinar o NDF nas regiões de Morro Agudo (SP), Rio Brilhante (MS), Uberaba (MG) e Coruripe (AL). Dados diários de temperatura do ar (T), chuva (P), umidade relativa (UR) e velocidade do vento ( $U_{2m}$ ), de 1987 a 2017, foram utilizados para determinar o NDF para a aplicação de herbicidas. Um dia foi considerado como favorável sempre que:  $T_{max} < 30^{\circ}C$ ;  $UR_{min} > 50\%$ ;  $U_{2m}$  entre 0,83 e 2,78  $m s^{-1}$ ;  $ARM/CAD < 0,9$ ; e  $P < 3 mm$ . Com esses dados foram calculadas as probabilidades empíricas de ocorrência do NDF por mês. As localidades de Morro Agudo, Rio Brilhante e Uberaba foram as que apresentaram mais NDFs, especialmente entre março e junho. Na região de Coruripe, foi observado o menor NDF, devido às altas  $U_{2m}$ . A probabilidade empírica de ocorrência de dois NDFs consecutivos foi a maior para todas as localidades, chegando a 26,6% em Uberaba, enquanto a probabilidade de ocorrência de 7 NDFs foi muito baixa, sendo o maior valor igual a 4,6% em Uberaba.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

## Introdução

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil é amplamente difundido, ocupando aproximadamente 8,4 milhões de hectares em todo o território nacional, sendo majoritariamente concentrado nas regiões sudeste e centro-oeste, mas também ocorrendo nas regiões Sul e Nordeste (Conab, 2019).

O manejo de plantas daninhas na canavicultura é pre-

dominantemente realizado por meio do controle químico, em que os herbicidas são aplicados nas modalidades de pré-emergência (Ferreira et al., 2016; Tropaldi et al., 2017) e pós-emergência (Obara et al., 2015; Silva et al., 2015). A aplicação de herbicidas em campo consiste na deposição de gotas contendo o ingrediente ativo sobre o alvo biológico, com tamanho e densidade adequados por meio do processo físico-mecânico de pulverização (Cogap, 2010).

Antuniassi & Baio (2008) consideram que o sucesso de

uma aplicação de herbicidas está relacionado a fatores como a seleção das pontas de pulverização, ajuste do volume de calda, parâmetros operacionais, condições ambientais favoráveis e momento correto da aplicação. Dentre as condições ambientais que podem influenciar a eficiência da aplicação, a temperatura e a umidade relativa do ar são as variáveis mais importantes, afetando a operação em si e, conseqüentemente, o controle das plantas daninhas (Cieslik et al., 2013). Segundo esses autores, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar podem reduzir a ação dos herbicidas devido à menor retenção de calda, além de contribuir para a rápida evaporação das gotas. Além disso, Christofolletti (1999) cita que a velocidade do vento é outra variável meteorológica que exerce importante influência sobre a qualidade da aplicação de herbicidas, já que esta age diretamente sobre as gotas alterando seu direcionamento quanto ao alvo, fenômeno conhecido como deriva. Sendo assim, quanto maior a velocidade do vento, maior a deriva do produto aplicado (Costa et al., 2007). Por outro lado, sob condições de baixa velocidade do vento há tendência de que as gotas permaneçam mais tempo em suspensão no ar, o que também não é desejável.

Nos últimos anos, diversas táticas vêm sendo estudadas para minimizar a deriva nas aplicações de defensivos agrícolas. Tais estratégias incluem a utilização de pontas de pulverização com indução de ar e com pré-orifício, que promovem gotas com diâmetro volumétrico maior e, conseqüentemente, menos suscetíveis à deriva (Balan et al., 2008; Godinho Júnior et al., 2017). Outras alternativas apontadas para a redução de deriva são a adição de adjuvantes à calda de aplicação (Cunha et al., 2003) e a redução de pressão na ponta de pulverização (Costa et al., 2007). No entanto, mesmo empregando-se tais estratégias para a redução da deriva, ainda há a necessidade de se realizar as aplicações sob condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento adequadas para tal.

Além dos fatores ligados diretamente às condições ambientais ótimas para a aplicação de herbicidas, deve-se considerar ainda as condições ideais para a trafegabilidade das máquinas agrícolas no campo, no caso das pulverizações terrestres. Neste sentido, Vieira et al (2019) definiram o número de dias trabalháveis para máquinas agrícolas utilizando como critério a precipitação mínima, a capacidade de água disponível do solo (CAD) mais adequada para esse tipo de avaliação e a relação entre o armazenamento de água real do solo (ARM) e a CAD.

Esse trabalho tem como hipótese que a integração entre as condições ambientais favoráveis para aplicação e para o tráfego de máquinas no campo podem determinar o número de dias trabalháveis com foco na favorabilidade para a aplicação de herbicidas. Deste modo, o objetivo deste estudo foi determinar a ocorrência de dias favoráveis à aplicação de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar em

diferentes regiões produtoras do Brasil, visando auxiliar o planejamento agrícola e melhorar a eficiência de aplicação e do controle de plantas daninhas.

## Material e métodos

Para a determinação dos dias favoráveis à aplicação de herbicidas foram selecionados municípios cujos dados climatológicos serviriam de base para as análises, em função de sua importância na produção de cana-de-açúcar. Os dados de produção foram obtidos do banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo os municípios escolhidos aqueles que apresentaram os maiores valores de produção no ano de 2017 (dados disponíveis no Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA). Foram selecionados os três maiores produtores nacionais: Morro Agudo (SP); Rio Brilhante (MS) e Uberaba (MG), além do maior produtor da região nordeste, Coruripe (AL) (Tabela 1).

A variação sazonal média das chuvas e temperaturas das localidades selecionadas são apresentadas na Figura 1. Nos municípios de Morro Agudo e Uberaba tal variação é muito semelhante. Em Rio Brilhante tem-se uma amplitude térmica mais acentuada e maiores volumes de precipitação ao longo do ano em relação às regiões de Morro Agudo e Uberaba. Já Coruripe contrasta das demais localidades, pois a estação chuvosa se concentra de abril a agosto e a temperatura é mais elevada e com menor variação sazonal.

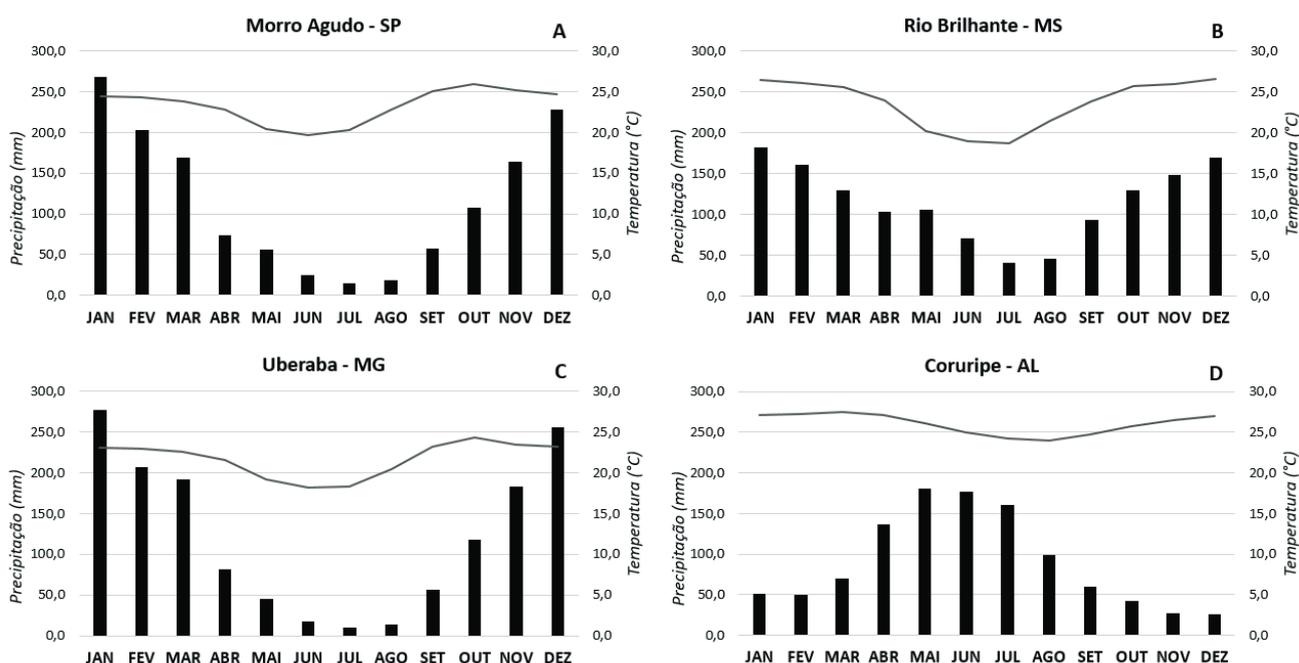
Os dados referentes às variáveis meteorológicas necessários para a caracterização climática das localidades e para as análises dos dias favoráveis para a aplicação de herbicidas foram obtidos junto à base de dados NASA *Prediction of Worldwide Energy Resource* (NASA/POWER; <http://power.larc.nasa.gov>). Foram utilizados um período de 31 anos (1987 a 2017) de dados diários de temperatura máxima ( $T_{max}$ ), média ( $T_{med}$ ) e mínima ( $T_{min}$ ), radiação solar (RS), chuva (P), umidade relativa média (URmed) e velocidade do vento ( $U_{2m}$ ). Os dados meteorológicos provenientes do NASA POWER, apesar de algumas limitações, vêm sendo empregada e analisada no Brasil por diversos autores (Monteiro et al., 2018; Duarte et al., 2019; Dias, 2020), apresentando resultados satisfatórios. Os dados de URmed foram transformados em umidade relativa mínima (URmin) por meio do método proposto por Allen et al. (1998), no qual a URmin é calculada pela relação entre a pressão de saturação de vapor à  $T_{min}$  ( $e_{s_{T_{min}}}$ ), que representa a pressão real de vapor do dia ( $ea$ ), e a pressão de saturação de vapor à  $T_{max}$  ( $e_{s_{T_{max}}}$ ).

De acordo com Alvares et al., (2013), seguindo os critérios definidos pela classificação climática de Köppen, Morro Agudo apresenta clima do tipo Aw (clima tropical com estação seca de inverno), com temperatura média anual de 22,6 °C e chuva anual de 1450 mm. Rio Brilhante

**Tabela 1.** Municípios produtores de cana-de-açúcar selecionados para o presente estudo. Dados geográficos dos municípios obtidos pela base de dados NASA Prediction of Worldwide Energy Resource e dados de área colhida e produção em 2017 do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA).

Local	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área colhida (ha)	Produção (ton)
Morro Agudo (SP)	-20,73	-48,05	564,88	99.000	8.118.000
Rio Brilhante (MS)	-21,80	-54,54	373,21	89.662	7.551.683
Uberaba (MG)	-19,75	-47,94	823,59	75.200	6.768.000
Coruripe (AL)	-10,12	-36,18	52,71	38.000	1.740.000

**Figura 1.** Caracterização climática mensal (temperatura – linha e chuva – coluna) das regiões de Morro Agudo, SP; Rio Brilhante, MS; Uberaba, MG; e Coruripe, AL. Dados obtidos da base NASA POWER.



possui clima do tipo Am (clima tropical de monções) com temperatura média anual de 23,7 °C e chuva anual de 1440 mm. Uberaba apresenta clima do tipo Cwa (clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente), com temperatura de 22,3 °C e chuva de 1570 mm anuais. Já Coruripe apresenta clima do tipo As (clima tropical com estação seca de verão) com temperatura média anual de 24,4 °C e chuva anual de 1372 mm.

A determinação do número de dias favoráveis para a aplicação de herbicidas levou em consideração os limites e intervalos descritos pelo Manual de Tecnologia de Aplicação, elaborado pelo Comitê de Boas Práticas Agrícolas (COGAP, 2010), associado à Associação Nacional de Defesa Vegetal (ANDEF). Segundo esse documento, as condições ambientais ideais para a pulverização de produtos fitossanitários, tais como os herbicidas, são: UR<sub>min</sub> > 50%; U<sub>2m</sub> entre 0,83 e 2,78 m s<sup>-1</sup> (3 e 10 km h<sup>-1</sup>); e Tmax < 30° C. Aliados a esses critérios, outros referentes ao ARM/CAD adequado ao tráfego de máquinas no campo e à P, foram incorporados à análise. Para contabilizar o armazenamento diário de

água no solo, foi gerado o balanço hídrico climatológico sequencial diário segundo o modelo de Thornthwaite; Mather (1955), utilizando-se a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith (Allen et al, 1998). Vieira et al. (2019) definiram os parâmetros para a determinação de dias favoráveis para o tráfego de máquinas na cultura da cana-de-açúcar no estado de São Paulo sendo eles: ARM/CAD < 0,9; P < 3 mm e CAD = 40 mm. A CAD de 40 mm foi definida por Vieira et al. (2019), como sendo a mais adequada para estudos de trafegabilidade, já que foi a que possibilitou o melhor ajuste entre os dias trabalháveis estimados e observados em canaviais de 32 localidades do estado de São Paulo.

A distinção entre dias favoráveis e não favoráveis foi feita programando-se os critérios acima em planilha eletrônica Excel®. Todos os dias entre 1 de janeiro de 1987 e 31 de dezembro de 2017 foram classificados em favoráveis ou não favoráveis para cada um dos parâmetros considerados (UR, U<sub>2m</sub>, Tmax, ARM/CAD e P). Para que um dia fosse considerado favorável à aplicação de herbicidas, ele

deveria ter todos os parâmetros como favoráveis, sendo que ao final de cada mês foram contabilizados o número de dias em que a condição foi favorável e obtida a média mensal considerando-se séries históricas de 31 anos. Além disso, foi realizada análise considerando-se os parâmetros individualmente visando identificar quais deles foram os principais limitadores à aplicação de herbicidas para cada local, sendo assim possível inferir sobre quais estratégias poderão ser adotadas para viabilizar o manejo de plantas daninhas.

A partir das análises acima, foram calculadas as probabilidades empíricas simples e condicionais de ocorrência de dias favoráveis (F) e não favoráveis (NF) à aplicação de herbicidas, de acordo com as equações a seguir (Monteiro et al., 2014):

$$P(F) = \left(\frac{F}{N}\right)$$

$$P(NF) = [1 - P(F)]$$

$$P(F/F) = \left(\frac{F/F}{F}\right)$$

$$P(NF/F) = [1 - P(F/F)]$$

$$P(NF/NF) = \left(\frac{NF/NF}{NF}\right)$$

$$P(F/NF) = [1 - P(NF/NF)]$$

em que: N é o número total de dias; F é o número de dias favoráveis; NF é o número de dias não favoráveis; P(F/F) é a probabilidade empírica de ocorrência de um dia ser favorável dado que o dia anterior foi favorável; P(NF/F) é a probabilidade empírica de um dia não ser favorável dado que o dia anterior foi favorável; P(F/NF) é a probabilidade empírica de ocorrência de um dia favorável dado que o dia anterior não foi favorável; P(NF/NF) é a probabilidade empírica de ocorrência de um dia ser não favorável dado que o dia anterior não foi favorável.

Por meio da cadeia de Markov, as probabilidades empíricas condicionais foram usadas para calcular a probabilidade empírica de dias consecutivos favoráveis à aplicação de herbicidas, empregando-se uma equação “geométrica”, de acordo com Robertson (1976):

$$P(n) = P(F) \times P(F/F)^{n-1}$$

em que P(n) é a probabilidade empírica de ocorrência de “n” dias consecutivos favoráveis à aplicação de herbicidas. Foram considerados de 2 a 7 dias consecutivos para aplicação. Realizou-se uma análise mensal da probabilidade empírica de ocorrência de dias favoráveis consecutivos e, posteriormente, obteve-se a média histórica de dias favoráveis consecutivos para cada mês, considerando-se a série histórica de 31 anos de cada local.

## Resultados e discussão

Os fatores limitantes para a ocorrência de dias favoráveis para a aplicação de herbicidas foram se alterando ao longo do ano nas regiões estudadas (Figura 2). Em Morro Agudo (Figuras 2A), o fator que mais limitou a favorabilidade à aplicação de herbicidas entre dezembro e março foi a chuva e o ARM/CAD elevado. De abril a setembro, a URmin foi o fator mais restritivo à aplicações de herbicidas, enquanto que em outubro e novembro a Tmax foi o fator que mais limitou as condições de pulverização. Situação semelhante foi observada em Uberaba (Figura 2C, também da região Sudeste, onde no período de novembro a março o fator mais limitante às pulverizações foi a chuva e o ARM/CAD, enquanto que de abril a setembro a URmin foi quem mais prejudicou a aplicação dos herbicidas e no mês de outubro tanto a URmin como a Tmax foram os fatores mais restritivos.

Em Rio Brillhante (Figura 2B), os principais fatores limitantes para a aplicação de herbicidas foram os elevados valores de Tmax de outubro a abril e baixa URmin de maio a setembro. Já em Coruripe (Figura 2D), a velocidade do vento foi o principal fator limitante para a aplicação de herbicidas durante todo o ano, já que a região é uma zona sujeita a alta frequência de ventos intensos. Além disso, a Tmax de novembro a março e a chuva de abril a outubro também contribuíram para a limitação dos dias favoráveis para a aplicação de herbicidas nessa região.

A distribuição da ocorrência de dias favoráveis à aplicação de herbicidas foi bastante semelhante entre os municípios Morro Agudo e Uberaba, com os maiores números de dias favoráveis para a aplicação de herbicidas entre os meses de março a maio (Figuras 3A e 3C). Na região de Rio Brillhante (Figura 3B), a variação sazonal dos dias favoráveis às pulverizações com herbicidas se assemelha ao ocorrido nas duas localidades da região Sudeste, porém com uma drástica redução do número de dias trabalháveis. Em Coruripe, por sua vez, observa-se que o número de dias favoráveis foi acentuadamente inferior aos demais municípios. O maior número de dias favoráveis registrado ao longo dos 31 anos em Coruripe foi observado nos meses de maio e junho, porém, com a média de dias favoráveis  $\leq 1$  dia (Figura 3D). Vale salientar que o presente estudo foi realizado empregando-se dados meteorológicos e de disponibilidade

de água no solo na escala diária, o que não permite avaliar a disponibilidade de horas favoráveis ao longo do dia para as operações agrícolas que exigem a pulverização de produtos químicos. Assim, o baixo número de dias favoráveis à pulverização de herbicidas em Coruripe reflete que na média dos dias há poucas chances de condições favoráveis à operação, o que provavelmente se dá em algumas poucas horas do dia, especialmente nas primeiras horas da manhã, entre 5 e 9 h, quando a velocidade do vento diminui consideravelmente na região costeira (Santos et al., 2012).

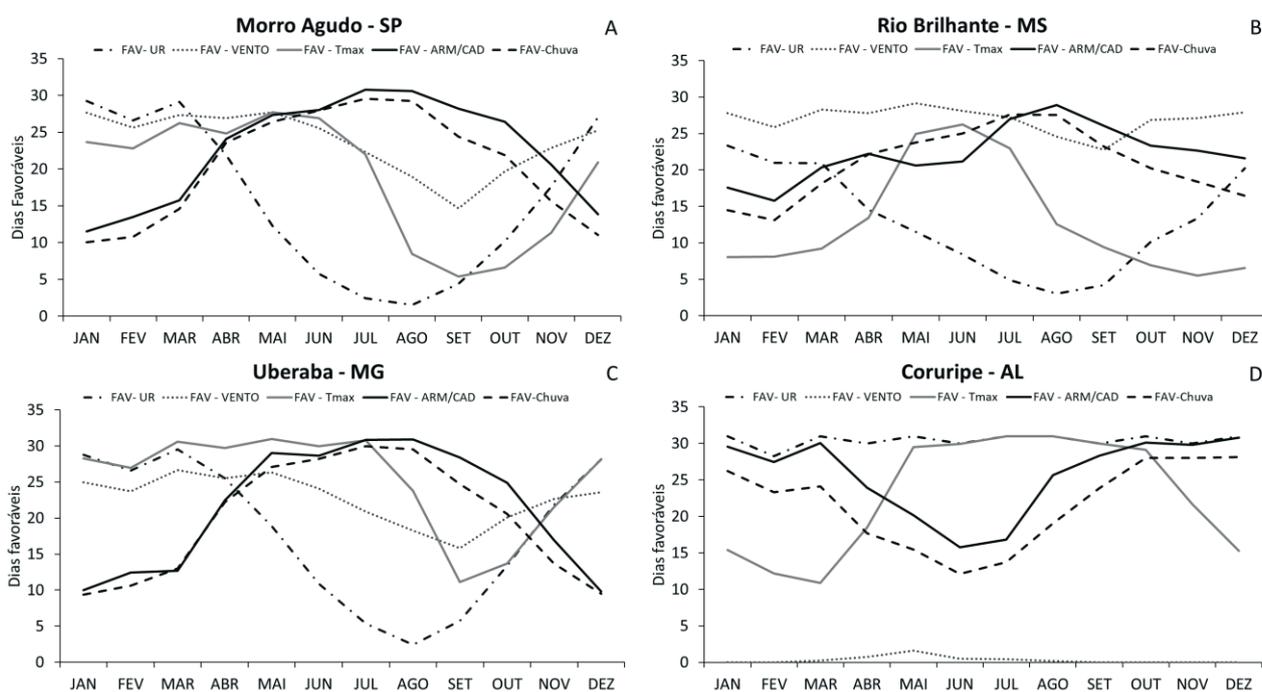
Os resultados apontam a grande influência da variabilidade climática sobre a quantidade de dias favoráveis à aplicação de herbicidas dentro de cada mês. Observa-se que a partir dos meses de abril e maio, época que marca o início do período mais seco ano para os municípios de Morro Agudo, Uberaba e Rio Brillhante, houve maior amplitude entre o número mínimo e máximo de dias favoráveis às pulverizações (Figuras 3A, 3B e 3C). Considerando-se o mês de abril, verifica-se a ocorrência desde nenhum dia favorável à aplicação de herbicidas até 16 dias em Morro Agudo (Figura 3A), semelhante ao que é observado para Uberaba (Figura 3C), onde a variação foi de 3 a 18 dias favoráveis. Em Rio Brillhante (Figura 3B) a variação foi bem menor, oscilando de 0 a 6 dias favoráveis no mês de maio. Os períodos de menor favorabilidade para as aplicações de herbicidas ocorreram de julho a novembro em Morro Agudo (Figura 3A), de agosto a fevereiro em Rio Brillhante (Figura 3B), de julho a outubro em Uberaba (Figura 3C) e

em praticamente todo o ano, mas especialmente de julho a abril em Coruripe (Figura 3D).

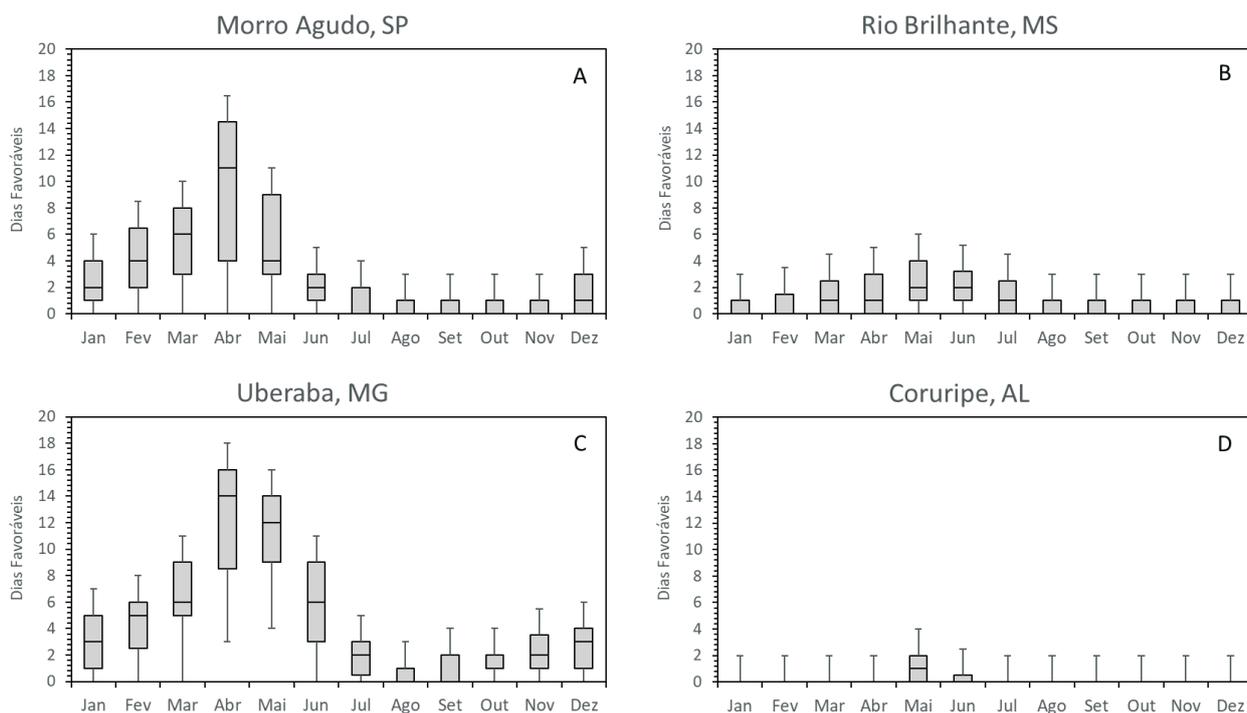
De acordo com a Figura 3, os limites inferiores e superiores da quantidade de dias favoráveis à aplicação de herbicidas, estão, provavelmente, relacionados à ocorrência de anos atípicos, em que podem ser observados eventos extremos de temperatura e precipitação, tanto elevando o número de dias favoráveis, como reduzindo-os. Por exemplo, Natividade et al. (2017), verificaram que para o estado de Minas Gerais há uma tendência de aumento dos extremos de temperatura, apontado pelo aumento de dias e noites quentes. Já para a precipitação, os autores verificaram uma intensificação das diferenças já existentes entre as regiões do estado, corroborando com os resultados obtidos para o município de Uberaba.

A eficiência biológica dos herbicidas aplicados no solo depende da disponibilidade de água no solo para que o mesmo possa ser solubilizado e absorvido pelas plantas a serem controladas, de modo que relaciona-se uma maior eficiência de controle ocorrendo em período úmido (Correia & Kronka, 2010). No entanto, de acordo com os resultados, observa-se que a maior ocorrência de dias favoráveis para a aplicação de herbicidas se encontra no período de transição entre a época úmida e a seca. Desse modo, nessas condições, os produtos aplicados, independentemente de serem pré ou pós-emergente, devem apresentar características tais como, alta solubilidade em água e fraca ou moderada adsorção ao solo (Christoffoleti et al., 2008; Correia & Kronka, 2010).

**Figura 2.** Fatores limitantes para a ocorrência de dias favoráveis à aplicação de herbicidas nas regiões de Morro Agudo (SP) - A, Rio Brillhante (MS) - B, Uberaba (MG) - C e Coruripe (AL) - D. Fav - UR = favorabilidade para a condição de URmin > 50%; Fav - Vento = favorabilidade para a condição de velocidade do vento entre 0,83 e 2,78 m s<sup>-1</sup> (3 e 10 km h<sup>-1</sup>); Fav - Tmax = favorabilidade para a condição de Tmax < 30°C; Fav - ARM/CAD = favorabilidade para a condição de ARM/CAD < 0,9; Fav - Chuva = favorabilidade para a condição de chuva < 3 mm.



**Figura 3.** Número de dias por mês favoráveis à aplicação de herbicidas nas regiões de Morro Agudo, SP (A), Rio Brilhante, MS (B), Uberaba, MG (C) e Coruripe, AL (D).



Dentre os herbicidas registrados para a cultura da cana-de-açúcar, Carvalho et al. (2012) verificaram que amicarbazone, hexazinone, isoxaflutole e sulfentrazone têm propriedades positivas para aplicação no solo em época seca, assim como o imazapic que também tem eficácia de controle consistente nessa condição, de acordo com Azania et al. (2009).

Soluções relacionadas à tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas podem propiciar a realização da operação mesmo em condições adversas de velocidade de vento elevada. Em estudo realizado por Costa et al., (2007), constatou-se que a escolha de um adequado tipo de ponta de pulverização pode reduzir a deriva, de modo que nas condições do experimento, ponta de pulverização de jato plano com indução de ar AVI 11002 promoveu as menores quantidades de depósito devido à deriva, enquanto que o modelo de jato cônico JA-2 mostrou-se mais suscetível ao aumento da deriva em função do aumento da velocidade do vento, entre as demais pontas testadas.

A eficiência de uma aplicação de herbicidas também pode ser influenciada pelo tipo de formulação, de modo que dispersões em óleo (OD) e suspoemulsões (SE) podem reduzir a deriva em uma aplicação, ao passo que um concentrado solúvel (SL) geralmente apresenta alta concentração de surfactante, o que tende a diminuir a eficiência da aplicação (Hilz & Vermeer, 2013). Assim, a combinação entre o tipo de formulação do produto e a ponta de pulverização devem ser consideradas para garantir a mitigação da deriva, atuando ainda como uma estratégia de contorno

para aplicações realizadas em localidades que apresentem altas velocidade de vento, como em Coruripe.

A probabilidade empírica de ocorrência de dias favoráveis consecutivos ao longo do ano é uma importante informação para as operações agrícolas de campo já que devido à grande extensão das áreas de cultivo de cana-de-açúcar, muitas vezes é impossível se realizar a aplicação de herbicidas em apenas um dia. Deste modo, as probabilidades empíricas de ocorrência de dias consecutivos para a aplicação de herbicidas foram determinadas para cada um dos locais analisados (Figura 4).

As maiores probabilidades empíricas de ocorrência de dias favoráveis consecutivos coincidem com os meses em que há maior número de dias favoráveis (Figura 4), sendo que a maior probabilidade foi a da ocorrência de dois dias favoráveis consecutivos, que atingiu o valor de 18,2% em Morro Agudo no mês de abril (Figura 4A), 5,3% em Rio Brilhante no mês de maio (Figura 4B), 26,7% em Uberaba no mês de abril (Figura 4C) e de cerca de 1% em Coruripe no mês de maio (Figura 4D). A probabilidade de ocorrência de 7 dias consecutivos favoráveis à aplicação de herbicidas alcançou o valor máximo de 4,6% em Uberaba no mês de abril (Figura 4C), seguida das localidades de Monte Alto, com 2,6% (Figura 4A), e Rio Brilhante, com 0,5% (Figura 4B). No município de Coruripe (Figura 4D), a probabilidade de ocorrência de mais de dois dias favoráveis consecutivos para aplicação de herbicidas foi praticamente nula.

Tradicionalmente, o dimensionamento de um sistema

mecanizado segue o modelo proposto por Mialhe (1974), que dentre outros fatores, considera o tempo disponível para realizar a operação em horas, calculado com base em uma equação que relaciona o número total de dias no período previsto para realizar a operação e os fatores redutores deste. Segundo Oliveira, (2012), um dos fatores redutores mais complexos de ser determinado é o número de dias úteis impróprios (NDUI), que corresponde aos dias em que a máquina não pode operar devido às condições impróprias devido às condições meteorológicas e/ou ao excesso de umidade do solo. Mialhe (1974) utilizou o critério de seca agrônômica para calcular o NDUI, sendo que quando o solo está em capacidade de campo existe restrição ao trabalho das máquinas e em seca agrônômica, fora da capacidade de campo, o trabalho pode ser realizado. Porém, de acordo com Milan (2013) este método não considera particularidades de operações específicas como a aplicação de defensivos agrícolas, onde a umidade relativa do ar, temperatura e a velocidade do vento exercem importante influência sobre a eficiência da operação. Sendo assim, os resultados do presente estudo demonstram de forma holística todos os possíveis fatores que afetam a aplicação de herbicidas em canaviais, incluindo as restrições impostas pela umidade do solo, como também considerado por Mialhe (1974), juntamente com as demais particularidades da operação em questão, como enfatizado por Milan (2013), trazendo uma melhor orientação em relação à favorabilidade para a apli-

cação de herbicidas, auxiliando assim na racionalização do planejamento desta prática agrícola.

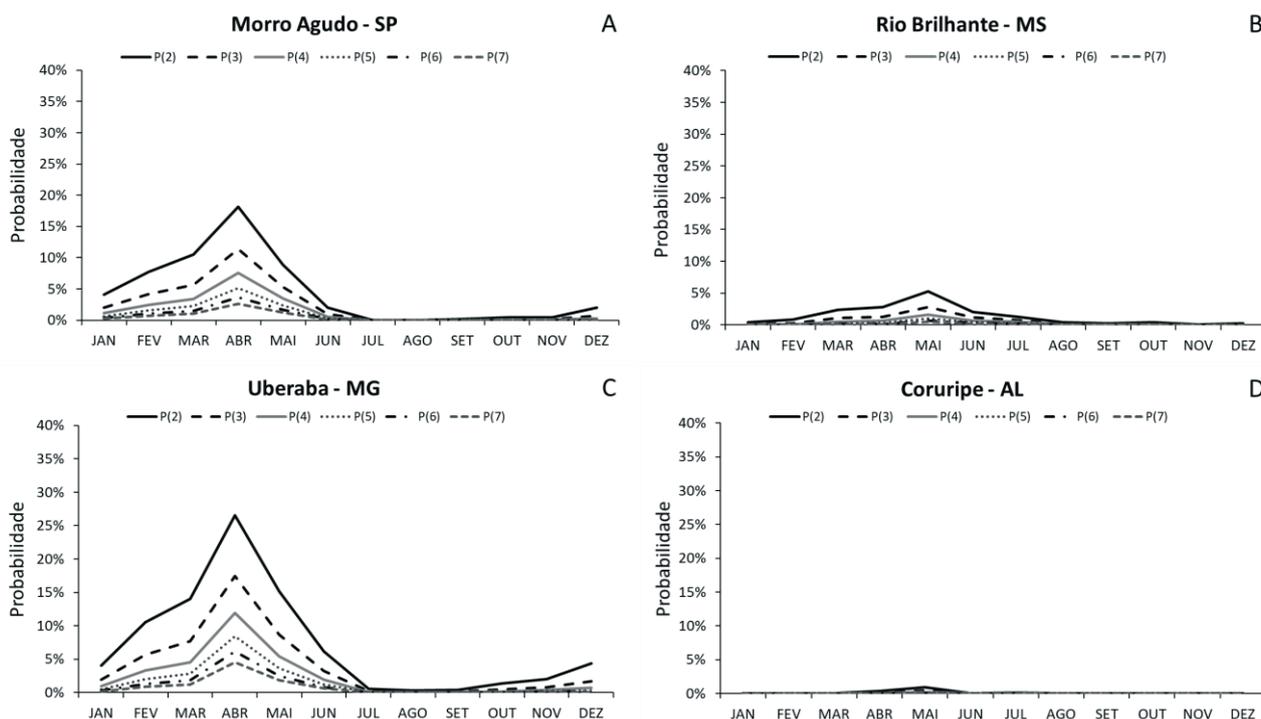
### Conclusões

Os fatores que mais limitaram a ocorrência de dias favoráveis para a aplicação de herbicidas se alteraram ao longo do ano para as localidades de Morro Agudo (SP), Rio Brilhante (MS), Uberaba, MG) e Coruripe (AL), no entanto, a Tmax, a chuva, a URmin e o ARM/CAD são os mais importantes nas regiões de Morro Agudo, Rio Brilhante e Uberaba, enquanto que para a região de Coruripe a velocidade do vento foi o fator mais restritivo.

A maior concentração de dias favoráveis em Morro Agudo, Rio Brilhante e Uberaba ocorreram entre os meses de março e maio, de maio a junho e de março a junho, respectivamente. Em Coruripe foi observado o menor número de dias favoráveis ao longo do ano e isso se deveu principalmente às elevadas velocidades do vento nessa região.

Desse modo, nas regiões de Morro Agudo, Rio Brilhante e Uberaba há um maior tempo para planejamento das pulverizações ao longo do ano. Em contrapartida, em Coruripe, os produtores devem buscar técnicas alternativas e horários específicos no período da manhã que possibilitem as aplicações de herbicidas, contornando as condições desfavoráveis impostas pelas condições meteorológicas.

**Figura 4.** Probabilidade empírica de ocorrência de dias consecutivos favoráveis à aplicação de herbicidas nos municípios de Morro Agudo (SP) - A, Rio Brilhante (MS) - B, Uberaba (MG) - C e Coruripe (AL) - D. P (2), P(3), P(4), P(5), P(6) e P(7) representam as probabilidades empíricas de ocorrência de 2 a 7 dias favoráveis consecutivos.



## Agradecimento

O terceiro autor é grato ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de pesquisa (nível 1A).

## Contribuição dos autores

F. S. OLIVEIRA e M. FERREIRA concepção do trabalho, aquisição e análise dos dados e redação do artigo. P. C. SENTELHAS concepção do trabalho, análise dos dados, redação e revisão do artigo.

## Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ANTUNIASI, U. R.; BAILO, F. H. R. Tecnologia de aplicação de defensivos. In: VARGAS, L.; ROMAN, E. S. (Ed.). **Manual de manejo e controle de plantas daninhas**. 2. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2008. p. 174–175.
- AZANIA, C. A. M.; AZANIA, A. A. P. M.; PIZZO, I. V.; SCHIAVETTO, A. R.; ZERA, F. S.; MARCARI, M. A.; SANTOS, J. L. Manejo químico de convulvulaceae e euphorbiaceae em cana-de-açúcar em período de estiagem. *Planta Daninha*, v. 27, n. 4, p. 841–848, 2009.
- BALAN, M. G.; ABI-SAAB, O. J. G.; SILVA, C. G. da; RIO, A. do. Deposição da calda pulverizada por três pontas de pulverização sob diferentes condições meteorológicas. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 29, n. 2, p. 293–298, 2008.
- CAMARGO, A. P. de; MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; PICINI, A. G. Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos superúmidos, com base na amplitude térmica diária. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 7, n. 2, p. 251–257, 1999.
- CARVALHO, S. J. P. de; DIAS, A. C. R.; MINAMIGUCHI, M. H.; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Atividade residual de seis herbicidas aplicados ao solo em época seca. *Revista Ceres*, v. 59, n. 2, p. 278–285, mar. 2012.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F.; DAMIN, V.; CARVALHO, S. J. P.; NICOLAI, M. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: BASF. 2008. 85 p.
- CHRISTOFFOLETTI, J. C. **Considerações sobre a deriva nas pulverizações agrícolas e seu controle**. São Paulo: TeeJet South América, 1999. 15 p.
- CIESLIK, L. F.; VIDAL, R. A.; TREZZI, M. M. Fatores ambientais que afetam a eficácia de herbicidas inibidores da ACCase: revisão. *Planta Daninha*, v. 31, n. 2, p. 483–489, jun. 2013.
- COGAP - COMITÊ DE BOAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS. **Manual de tecnologia de aplicação**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://www.fmcagricola.com.br/images/manuais/ANDEF\\_MANUAL\\_TECNOLOGIA\\_DE\\_APLICACAO\\_web.pdf](https://www.fmcagricola.com.br/images/manuais/ANDEF_MANUAL_TECNOLOGIA_DE_APLICACAO_web.pdf)>. Acesso em: 28 jul. 2019.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar safra 2019/2020 - Primeiro levantamento. **Monitoramento agrícola - cana-de-açúcar**, v. 6, n. 1, p. 58, 2019.
- CORREIA, N. M.; KRONKA, J. Eficácia de herbicidas aplicados nas épocas seca e úmida para o controle de Euphorbia heterophylla na cultura da cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, v. 28, n. 4, p. 853–863, dez. 2010.
- COSTA, A. G. F.; VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E.; CARBONARI, C. A.; ROSSI, C. V. S.; CORRÊA, M. R.; SILVA, F. M. L. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. *Planta Daninha*, v. 25, n. 1, p. 203–210, 2007.
- CUNHA, J. P. A. R.; TEIXEIRA, M. M.; COURY, J. R.; FERREIRA, L. R. Evaluation of Strategies to Reduce Pesticide Spray Drift. *Planta Daninha*, v. 21, n. 2, p. 325–332, 2003.
- DIAS, H.B. **Sugarcane variety trait modelling: evaluating and improving the APSIM-Sugar model for simulating crop performance under current and future climates across Brazil**. 2020. 228p. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba.
- DUARTE, Y.C.N.; SENTELHAS, P.C. NASA/POWER and DailyGridded weather datasets—how good they are for estimating maize yields in Brazil? *International Journal of Biometeorology* v.64, p. 319–329, 2020.
- FERREIRA, D. T. D. R. G.; SILVA, V. M. da; SILVA, I. C. da; SANTOS, J. M. D.; ALMEIDA, F. F. A. de; SOUZA, R. C. de; FERREIRA, V. M. Controle de três espécies de Euphorbia por herbicidas aplicados em pré-emergência sobre a palhada de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Herbicidas*, v. 15, n. 4, p. 332, 2016.
- GODINHO JÚNIOR, J. de D.; VIEIRA, L. C.; PEREIRA, L. O. A.; RUAS, R. A. A.; FARIA, V. R.; CARVALHO FILHO, A. Deriva do herbicida 2,4-D aplicado com pontas hidráulicas de jato plano tipo leque. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 12, n. 4, p. 550–554, 2017.
- HILZ, E.; VERMEER, A. W. P. Spray drift review: The extent to which a formulation can contribute to spray drift reduction. *Crop Protection*, v. 44, p. 75–83, 1 fev. 2013.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Tabela 1612: Quantidade produzida de cana-de-açúcar nos municípios brasileiros**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612#resultado>>. Acesso em: 28 jul. 2019.
- MIALHE, J. A. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. 1974. 301p.
- MILAN, M. **Planejamento de sistemas mecanizados agrícolas**. Curso de Engenharia Agronômica Piracicaba (apostila de desempenho e custo). Universidade de São Paulo. 2013.
- MONTEIRO, L. A.; SENTELHAS, P. C.; PIEDADE, S. M. DE S. Dias trabalháveis para o manejo do solo em função da chuva e da disponibilidade hídrica do solo em diferentes regiões brasileiras. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 9, n. 3, p. 459–475, 2014.
- MONTEIRO, L.A., SENTELHAS, P.C. AND PEDRA, G.U. Assessment of NASA/POWER satellite-based weather system for Brazilian conditions and its impact on sugarcane yield simulation. *International Journal of Climatology*, v. 38, p. 1571–1581, 2018.
- NATIVIDADE, U. A.; GARCIA, S. R.; TORRES, R. R. Tendência dos Índices de Extremos Climáticos Observados e Projetados no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 4, p. 600–615, 2017.
- OBARA, F. E. B.; BRUNHARO, C. A. C. G.; MELO, M. S. C. de; NICOLAI, M.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Selectivity of imazapic and imazapyr association applied in different sugarcane growth stages. *Nucleus*, v. 12, n. 1, p. 15–26, 2015.
- OLIVEIRA, M. P. de. **Dimensionamento operacional e econômico de um sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar: estudo de caso**. 2012. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba.
- ROBERTSON, G. W. **Dry and wet spells**. Malaysia: Project Field Report, 1976. 28 p.
- SANTOS, S. R. Q.; VITORINO, M. I.; BRAGA, C. C.; CAMPOS, T. L. O. B.; SANTOS, A. P. P. O Efeito de brisas marítimas na cidade de Belém-PA: Utilizando análise multivariada. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, p. 1110–1120, 2012.
- SILVA, P. V.; MONQUERO, P. A.; MUNHOZ, W. S. Controle em pós-emergência de plantas daninhas por herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 4, p. 21–32, 2015.

TROPALDI, L.; ARALDI, R.; BRITO, I. P. F. S. de; SILVA, I. P. de F. e; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Herbicidas inibidores do fotossistema II em pré-emergência no controle de espécies de capim-colchão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 1, p. 30, 2017.

VIEIRA, L. H. de S.; SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. B. Agrometeorological and Soil Criteria for Defining Workable Days for Rational Mechanized Sugarcane Harvest in Southern Brazil. **Agricultural Sciences**, v. 10, n. 05, p. 597–621, 2019.

SILVA, P. V. da; MONQUERO, P. A.; MUNHOZ, W. S. Controle em pós-emergência de plantas daninhas por herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 21–32, 2015.

TROPALDI, L.; ARALDI, R.; BRITO, I. P. F. S. de; SILVA, I. P. de F. e; CARBONARI, C. A.; VELINI, E. D. Herbicidas inibidores do fotossistema II em pré-emergência no controle de espécies de capim-colchão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 1, p. 30, 2017.

VIEIRA, L. H. de S.; SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. B. Agrometeorological and Soil Criteria for Defining Workable Days for Rational Mechanized Sugarcane Harvest in Southern Brazil. **Agricultural Sciences**, v. 10, n. 05, p. 597–621, 2019.

#### REFERENCIAÇÃO

OLIVEIRA, F. S.; FERREIRA, M.; SENTELHAS, P.C. Favorabilidade para a aplicação de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar com base em critérios agrometeorológicos. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.28, e026749, 2020.



# Favorability for herbicides application in the sugarcane crop based on agrometeorological criteria

Francieli Santos de Oliveira<sup>1</sup>, Marcella Ferreira<sup>1</sup> and Paulo Cesar Sentelhas<sup>1(\*)</sup>

<sup>1</sup>University of São Paulo - College of Agriculture "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP). Av. Pádua Dias, 11, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP, Brazil. E-mails: francieli.oliveira@usp.br, marcella.ferreira@usp.br and pcsentel.esalq@usp.br

(\*)Corresponding author.

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 10 June 2020

Accepted 20 November 2020

### Index terms:

application technology

air temperature

wind speed

relative humidity

rainfall

water balance

spray drift

## ABSTRACT

The management of weeds in sugarcane crop is carried out through the applications of herbicides, which is influenced by environmental conditions, conditioning the number of favorable days for this operation (NFD). Thus, the objective of this study was to determine the NFD in the regions of Morro Agudo (SP), Rio Brilhante (MS), Uberaba (MG) and Coruripe (AL), Brazil. Daily data of air temperature (T), rainfall (P), relative humidity (RH) and wind speed ( $U_{2m}$ ), from 1987 to 2017, were used to determine the NFD for herbicide application. A given day was considered as favorable whenever:  $T_{max} < 30^{\circ}C$ ;  $RH_{min} > 50\%$ ;  $U_{2m}$  between 0.83 and 2.78  $m\ s^{-1}$ ;  $SAW/SWHC < 0.9$ ; and  $P < 3\ mm$ . Based on these data, the empirical probabilities of NFD occurrence per month were calculated. The locations of Morro Agudo, Rio Brilhante and Uberaba were those with more NFDs, mainly between March and June. In the Coruripe region, the lowest NFD was found, which was a consequence of the high  $U_{2m}$ . The empirical probability of occurrence of two consecutive NFDs was the highest for all locations, reaching 26.6% in Uberaba, while the probability of occurrence of 7 NFDs was very low, with the highest value being 4.6% in Uberaba.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

## CITATION

OLIVEIRA, F. S.; FERREIRA, M.; SENTELHAS, P.C. Favorabilidade para a aplicação de herbicidas na cultura da cana-de-açúcar com base em critérios agrometeorológicos. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.28, e026749, 2020.