

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

IGOR MENDES SCARPIN

**TEMPO DISPONÍVEL PARA A PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA NO
ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

IGOR MENDES SCARPIN

**TEMPO DISPONÍVEL PARA A PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA NO
ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL**

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Rita de Cassia Felix Alvarez

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS
2020



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Igor Mendes Scarpin

ORIENTADOR: Rita de Cassia Felix Alvarez

**Tempo disponível para pulverização agrícola no Estado de Mato
Grosso do Sul**

Prof(a) Dr (a) Rita de Cassia Felix Alvarez

Presidente

Prof(a) Dr (a) Fábio Henrique Rojo Baio

Prof(a) Dr (a) Karina Marie Kamimura

Chapadão do Sul, 03 de março de 2020.

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação de mestrado a minha família, especialmente aos meus pais, José Ilair Scarpin e Elisa Mendes da Silva Scarpin, ao meu irmão, Lucas Mendes Scarpin e a minha noiva, Stela Garcia Queiroz Barbosa.

A minha orientadora, Dr^a. Rita de Cássia Félix Alvarez e ao meu Coorientador Dr. Fábio Henrique Rojo Baio e a instituição Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e funcionários.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, por ter me guiado e abençoado, em toda minha trajetória, por ter colocado pessoas boas que me ajudaram a crescer como ser humano e profissionalmente.

Agradeço imensamente ao meu professor Dr. Fábio Henrique Rojo Baio, que sempre me apoiou e incentivou meus estudos.

A minha orientadora Dr^a. Rita de Cássia Félix Alvarez, por todos os ensinamentos e apoio durante a execução desse trabalho.

A minha noiva, por sempre estar ao meu lado, nos momentos mais difíceis que enfrentamos durante essa jornada.

Aos meus pais e irmão por todo apoio e incentivo.

A todos envolvidos na condução desse trabalho e aos amigos.

A empresa Innova Agrotecnologia, pela disponibilidade e apoio prestado.

EPÍGRAFE

“O que quer que você faça, faça o melhor que puder”.

Jackie Chan

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapas de classificação do clima, segundo Köppen e da pluviosidade no Estado de Mato Grosso do Sul (INMET).....	12
Figura 2. Mapa das Estações meteorológicas automáticas no Estado do Mato Grosso do Sul (INMET), da classificação de solo (EMBRAPA, 2006) e localização da fazenda Cinco Estrelas.....	13
Figura 3. Representação esquemática da sequência de cálculos para a definição do Tempo Disponível das operações agrícolas.....	14
Figura 4. Representação gráfica das atividades previstas para o cultivo da primeira safra (soja) e da segunda safra (milho).....	16
Figura 5. Horas favoráveis para pulverização agrícola mecanizada segundo as restrições da temperatura do ar, umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento e umidade do solo durante o verão no Estado de Mato Grosso do Sul.....	17
Figura 6. Horas favoráveis para pulverização agrícola mecanizada segundo as restrições da temperatura do ar, umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento e umidade do solo durante o outono no Estado de Mato Grosso do Sul.....	18
Figura 7. Horas favoráveis para pulverização agrícola mecanizada segundo as restrições da temperatura do ar, umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento e umidade do solo durante o inverno no Estado de Mato Grosso do Sul.....	19
Figura 8. Horas favoráveis para pulverização agrícola mecanizada segundo as restrições da temperatura do ar, umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento e umidade do solo durante a primavera no Estado de Mato Grosso do Sul.....	20
Figura 9. Mapa do Tempo Disponível total mensal à pulverização agrícola no Estado do Mato Grosso do sul.....	22
Figura 10. Tempo Disponível (h) para a Pulverização mecanizada de acordo com a probabilidade de ocorrência de ser igualada ou superada, durante a estação do verão e segundo uma série histórica de dez anos.....	23
Figura 11. Tempo Disponível (h) para a Pulverização mecanizada de acordo com a probabilidade de ocorrência de ser igualada ou superada, durante a estação do outono e segundo uma série histórica de dez anos.....	24
Figura 12. Tempo Disponível (h) para a Pulverização mecanizada de acordo com a probabilidade de ocorrência de ser igualada ou superada, durante a estação do inverno e segundo uma série histórica de dez anos.....	25
Figura 13. Tempo Disponível (h) para a Pulverização mecanizada de acordo com a probabilidade de ocorrência de ser igualada ou superada, durante a estação da primavera e segundo uma série histórica de dez anos.....	26

Figura 14. O Tempo Disponível à pulverização agrícola em relação a simulação do Ritmo Operacional (RO) exigido pela máquina nos decêndios do ano agrícola..... 27

SUMÁRIO

RESUMO	10
ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO	11
MATERIAL E MÉTODOS	12
Local de Estudo	12
Coleta de Dados	13
Procedimento de calculo.....	14
Elaboração dos mapas	15
Validação do cenário real	15
RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

TEMPO DISPONÍVEL PARA A PULVERIZAÇÃO AGRÍCOLA NO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL

RESUMO: O dimensionamento de sistemas mecanizados agrícolas depende das condições edafoclimáticas, da cultura e do regime de trabalho. Objetivou-se determinar a variabilidade espacial de tempo disponível durante o ano agrícola para a pulverização mecanizada no Estado de Mato Grosso do Sul. As restrições meteorológicas impostas como horas desfavoráveis foram: temperatura ambiente acima de 32°C, umidade relativa do ar abaixo de 50%, velocidade do vento acima de 15 km h⁻¹ e umidade volumétrica do solo acima de 39% (equivalente a 90% da capacidade de água disponível). Os modelos matemáticos foram elaborados para dez anos, baseados nos dados históricos das estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia instalada na região. Foi possível a determinação do tempo disponível para a pulverização agrícola no Estado do Mato Grosso do Sul. O tempo disponível para a pulverização agrícola em um cenário com área de 1.050 ha não é suficiente para atender ao ritmo operacional na maioria dos decêndios do ano agrícola, quando da utilização de um único pulverizador autopropelido. A variável mais limitante foi a umidade do solo.

Palavras-chave: Defensivos agrícolas; compactação do solo; condições meteorológicas

AVAILABLE TIME FOR AGRICULTURAL SPRAYING IN THE STATE OF MATO GROSSO DO SUL

ABSTRACT: The dimensioning of mechanized agricultural systems depends on the edaphoclimatic conditions, the culture and the work regime. Objective: to determine the spatial variability of the time available during the agricultural year for a mechanized spraying in the State of Mato Grosso do Sul. As meteorological restrictions imposed as unfavorable hours were: temperature above 32°C, relative temperature below 50%, speed above 15 km h⁻¹ and volumetric humidity above 39% (equivalent to 90% of the available water capacity). The mathematical models were developed for ten years, based on historical data from automatic stations of the National Institute of Meteorology applied in the region. It was possible to determine the time available for agricultural spraying in the state of Mato Grosso do Sul. The time available for agricultural spraying in a scenario with an area of 1,050 ha is not enough to meet the operational pace in most decades of the agricultural year, when the use of a single self-propelled sprayer. A more limiting variable was soil absorption.

Keywords: Pesticides; soil compaction; meteorological conditions

INTRODUÇÃO

O estudo do tempo disponível para as operações mecanizadas é de suma importância para o correto dimensionamento do parque de máquinas, o qual, é limitado pelas condições edafoclimáticas, ou seja, pelas variáveis meteorológicas e umidade do solo.

O processo de dimensionamento do parque de máquinas deve ser feito de forma acurada, o qual pode ser um fator de diminuição de custos, pois sua racionalização pode levar o aumento da lucratividade (Artuso et al., 2015). Segundo Milan & Rosa (2015), essa melhoria da rentabilidade pode representar, dependendo da cultura, de 20 a 40% dos custos de produção. Contudo as condições meteorológicas e de umidade do solo vão interferir diretamente nesse processo.

Entretanto os produtores dão relevância ao defensivo agrícola a ser aplicado e pouca importância à tecnologia de aplicação (Carvalho et. al., 2014). Neste sentido a pulverização de produtos fitossanitários torna-se a principal ferramenta de controle de pragas, assegurando produtividade e desenvolvimento da agricultura (Ferreira, 2015).

A pulverização agrícola é frequentemente paralisada em função das condições meteorológicas inadequadas ou com solo em condições de umidade inadequada. De forma geral, as condições meteorológicas ideais para as aplicações de defensivos agrícolas são estabelecidas como temperatura abaixo de 30°C, umidade relativa acima de 55% e velocidade do vento entre 3 e 12 km h⁻¹ (Antuniassi, 2017).

Com os estudos das variações climáticas, podem-se contabilizar momentos desfavoráveis à pulverização ao longo do dia. Com isso, Oliveira et. al., (2015) propõe realizar aplicações noturnas, a fim de minimizar as perdas ocasionadas por condições meteorológicas desfavoráveis (umidade, temperatura e velocidade do vento), ou seja, reduzindo o risco de deriva e perdas por evaporação. Deriva nada mais é que o depósito de produto fora do alvo desejado (Baio & Antuniassi, 2015).

Com o monitoramento dessas variáveis climáticas a chance de sucesso de uma aplicação passa a ser alta, porém a umidade do solo é o fator decisivo para o tráfego da máquina. Além de causar maior amassamento da cultura, devido ao alto índice de patinação, ocorre a compactação de solo, quando em condições de alta umidade.

A análise das condições restritivas da umidade do solo para a pulverização agrícola está relacionada à umidade na capacidade de campo (CC), quando o solo se torna plástico. Pinto (2000), em estudos de construção civil, relata que solos argilosos, em condições de umidade volumétrica, entre 30% e 40% (equivalente a 90% da capacidade de água disponível), ficam próximo a umidade ótima a compactação. A compactação do solo é dada pelo aumento da sua

densidade e resistência à penetração, provocados pela sua diminuição da porosidade e da aeração, prejudicando o crescimento do sistema radicular da planta (Souza et al., 2015).

A compactação do solo é potencializada quando as operações são realizadas em condição inadequada de umidade do solo, ou seja, quando a umidade volumétrica do solo está próxima a capacidade de campo (Etana et al., 2013). No entanto, a literatura não mostra a umidade ideal do solo (em porcentagem de CC) para as operações mecanizadas, de acordo com as diferentes condições de texturas (Gava et al., 2018).

Com este estudo, o produtor terá a possibilidade de diagnosticar as regiões com menores números de horas favoráveis, e então planejar e escalonar, logisticamente, o parque de máquinas durante o ano, levando em conta a necessidade de número de máquinas, de acordo com o período de tempo disponível para o trabalho e sua capacidade de campo operacional, além de definir a tecnologia de aplicação ideal para sua região. Objetivou-se determinar o tempo disponível durante o ano agrícola, para a pulverização mecanizada, no Estado de Mato Grosso do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de Estudo

O estudo incluiu todo o território do Estado de Mato Grosso do Sul, localizado entre as coordenadas 17° 34' 37" S e 54° 45' 28" W (Sonora) e 23° 58' 13" S e 55° 02' 08" W (Sete Quedas). De acordo com a classificação de Köppen, o clima no Estado apresenta, *Aw*, clima tropical com inverno seco e temperatura média do ar do mês mais frio superior a 18°C, *Cfa*, sendo clima temperado úmido com verão quente e *Cwa*, clima quente, inverno seco, temperatura média acima de 22°C no mês mais quente e abaixo de 18°C no mês mais frio.

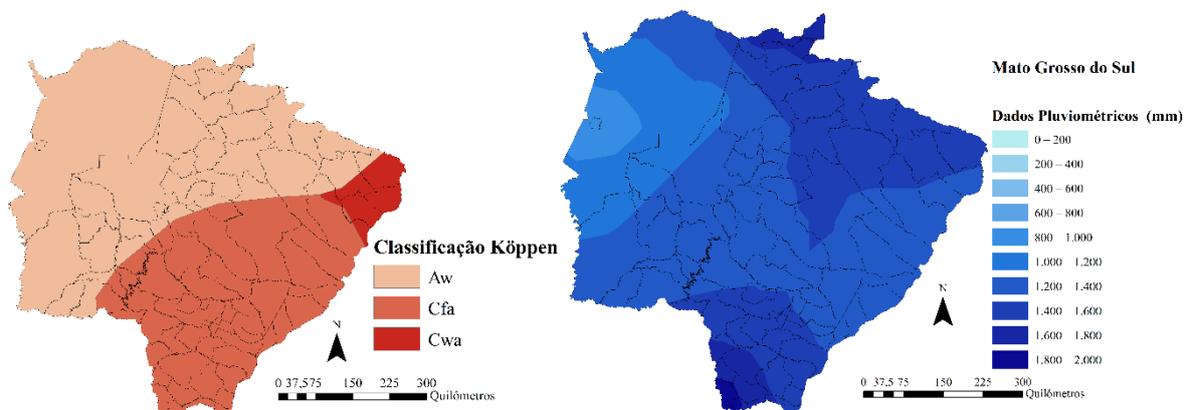


Figura 1. Mapas de classificação do clima, segundo Köppen e da pluviosidade no Estado de Mato Grosso do Sul (INMET).

O Estado de Mato Grosso do Sul encontra-se em uma área de transição climática, sofrendo a atuação de diversas massas de ar, o que implica em contrastes térmicos acentuados, tanto espacial quanto temporalmente. A região está numa zona de encontro de diversas massas que atuam no território brasileiro.

Coleta de Dados

Foram utilizados os dados arquivados mensurados pelas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas no Estado do Mato Grosso do Sul. Os dados utilizados são de uma série histórica horária de um período de 10 anos agrícolas entre 1 de setembro de 2008 até 31 de Agosto de 2018. A estação automatizada armazena os dados horários de temperatura máxima e mínima, umidade relativa máxima e mínima, ponto de orvalho máximo e mínimo, pressão atmosférica máxima e mínima, direção do vento e velocidade das rajadas, radiação solar e precipitações. A localização das estações automáticas está representada na Figura 2.

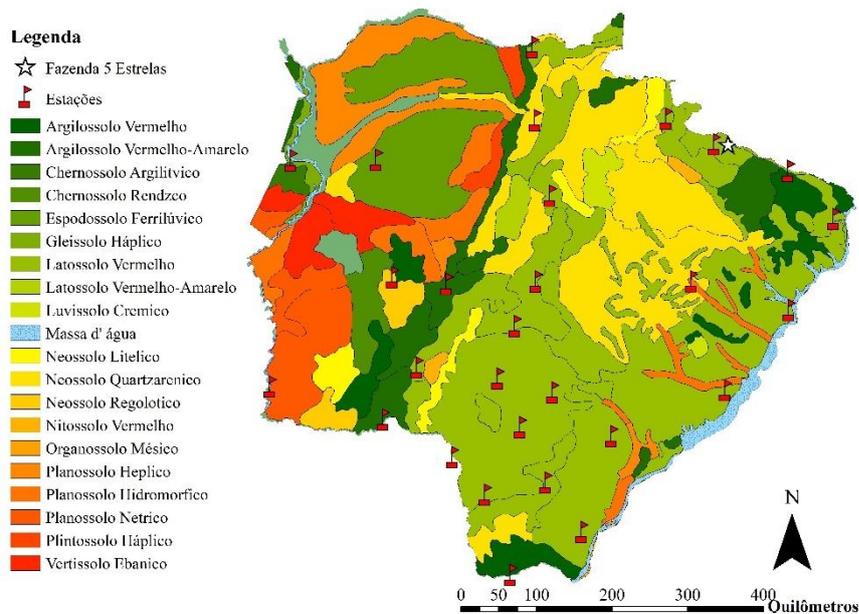


Figura 2. Mapa das Estações meteorológicas automáticas no Estado do Mato Grosso do Sul (INMET), da classificação de solo (EMBRAPA, 2006) e da localização da fazenda Cinco Estrelas.

Os dados do INMET foram filtrados e transferidos a um banco de dados on-line, onde foi utilizado linguagem de programação *Script* (PHP), e gerenciador de dados MySQL (Linguagem de consulta estruturada). O banco de dados foi alimentado com os dados de interesse: série histórica horária da velocidade do vento ($m s^{-1}$); da umidade relativa do ar (%); da temperatura

do ar (°C); da pluviosidade (mm); e do ponto de orvalho (°C). Para então ser submetidos aos cálculos, através do próprio sistema de programação.

Procedimento de calculo

O tempo disponível para a realização das operações agrícolas depende basicamente do número de horas totais reservados para a operação, ou seja, dos dias impróprios (clima e umidade do solo) para o trabalho das máquinas e da jornada de trabalho (Mialhe, 1974).

Calculou-se o Tempo Disponível (h) para a pulverização agrícola tratorizada na região, em função das seguintes restrições impostas à pulverização: velocidade do vento superior a 12 km h⁻¹ (3,33 m s⁻¹); umidade relativa do ar inferior a 50%; e temperatura ambiente superior a 32 °C, essas restrições foram baseada nas condições adequadas para pulverização agrícola, segundo (Antuniassi, 2017). Nesse trabalho a umidade restritiva do solo foi adotada a 90% da CC para a pulverização mecanizada. Segundo Mantovani et al. (1987) um Latossolo Vermelho-Escuro, em condições de umidade volumétrica, acima de 39% (equivalente a 90% da capacidade de água disponível), fica propício à compactação.

Para tanto, foi necessário estimar o balanço hídrico horário, para a série histórica, no qual foi realizado por fórmulas inseridas nas programações. Para o cálculo do balanço hídrico foi determinada a Evapotranspiração (ET_o) pelo método de Penman-Monteith, conforme metodologia proposta pelo boletim FAO-56 (Allen et al., 2005), a partir dos dados de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m s⁻¹), radiação solar (kJ m⁻²), sendo considerado três texturas de solo, argiloso, médio e arenoso (predominante na região), com 2,5 t ha⁻¹ de cobertura de palha de trigo e com profundidade de armazenamento de água de 0,20 m (Gava et al., 2013). Sequência de cálculos foi definida por programações (Figura 3).

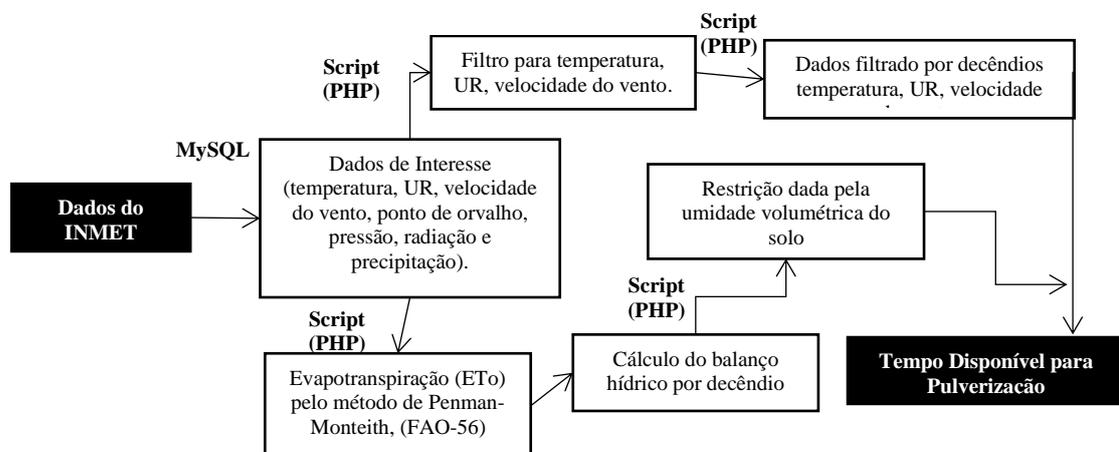


Figura 3. Representação esquemática da sequência de cálculos para a definição do Tempo Disponível das operações agrícolas.

Elaboração dos mapas

Os mapas foram processados pelo programa de sistemas de informações geográficas (SIG) ArcGis 10.5 (ESRI, Redlands, CA, USA). A metodologia de interpolação foi por Densidade de Kernel, adequada para dados meteorológicos. Esse método é bastante eficaz para fazer interpolação de dados utilizando estatística não paramétrica (Barbosa et al., 2014). Seu objetivo é interpolar um valor de intensidade para cada célula de uma grade considerando uma função simétrica, centrada na célula.

A análise de probabilidade de um evento ocorrer novamente ou ser superado foi calculado pelo método de Kimball, no qual é dada a porcentagem do TD à pulverização agrícola ocorrer ou ser superada. As probabilidades empíricas foram calculadas pela Equação 1.

$$F = \frac{M}{N+1} \quad (1)$$

Onde:

F é a frequência; M número da ordem; N número de anos de observação.

Estes dados foram tabulados, e processados para formar mapas, com 50%, 75% e 90% de probabilidade, de forma a determinar, a probabilidade do TD ocorrer ou ser superado nos meses do ano agrícola. Foi contabilizado também o TD dado por cada restrição da pulverização agrícola. Assim determinou-se o fator que afetou mais as operações agrícolas. O TD para a pulverização agrícola foi contrastado com o Ritmo Operacional proposto pelo cenário real através de gráficos do Excel®.

Validação do cenário real

Foi utilizado o planejamento das operações agrícolas para a Fazenda Cinco Estrelas, localiza-se no município de Cassilândia/MS, segundo o cultivo planejado de soja e milho de segunda safra do ano agrícola de 2019/2020. Esse planejamento foi disponibilizado pelo escritório de consultoria da propriedade. As coordenadas geográficas aproximadas foram: 18°48'15"S e 52°26'38"W (Figura 2).

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2013), com textura argilosa e teor de argila médio de 440 g kg⁻¹. A precipitação anual média é de 2.196 mm e temperatura média de 22,5°C, respectivamente. O clima da região é caracterizado de acordo com a classificação Köppen, como clima tropical com estação seca no inverno (Aw). Sua altitude média é de 815 m, com relevo predominantemente suave de inclinação entre 1 e 2%.

A Fazenda conta com um pulverizador autopropelido Jacto modelo *Uniport 2500 Star* (Pompéia, Brasil), em área cultivada de 1050 ha. A área real total é dividida em quinze talhões de 70 ha cada. Através desses parâmetros, disponibilidade da máquina e programação das operações, que foi calculado a simulação do cenário real. A proposta em usar esse cenário, é devido ao fato dele representar a grande maioria das propriedades do Estado do Mato Grosso do Sul. O planejamento das atividades previstas foi representado pela Figura 4.

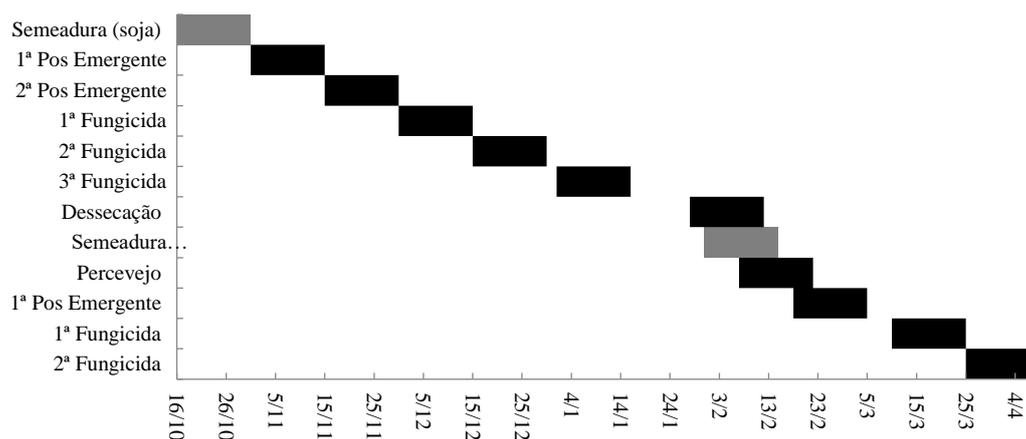


Figura 4. Representação gráfica das atividades previstas para o cultivo da primeira safra (soja) e da segunda safra (milho) para a safra 2019/2020.

A capacidade de campo operacional (Mialhe, 1974) foi calculada a partir dos dados dimensionais do pulverizador e das estimativas de eficiência de pulverização apresentadas por ASAE (1998). A Capacidade de Campo Operacional (CCO) da pulverização agrícola foi calculada utilizando a velocidade média de 17 km h^{-1} ($4,72 \text{ m s}^{-1}$), largura efetiva de 27 m e eficiência média de 60%, resultando numa CCO de $27,50 \text{ ha h}^{-1}$, como ocorre em campo.

O modelo matemático das restrições foi aplicado à um cenário agrícola real, proposto pelo planejamento das horas necessárias à pulverização, possibilitando uma análise estatística do Ritmo Operacional (RO) dessa operação. O RO, vem a ser a razão entre a quantidade de trabalho a ser realizado, dentro do TD para cada operação (Mialhe, 1974).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o verão, sendo a estação mais quente e chuvosa do ano, a temperatura do ar e a velocidade do vento são as variáveis que menos causaram redução, significativa, nas horas favoráveis a pulverização agrícola neste período, durante a série histórica estudada. A

quantidade para essas variáveis não reduziu de 500 h mensais para todo o Estado de Mato Grosso do Sul. A umidade do solo foi a variável que mais limitou (Figura 5).

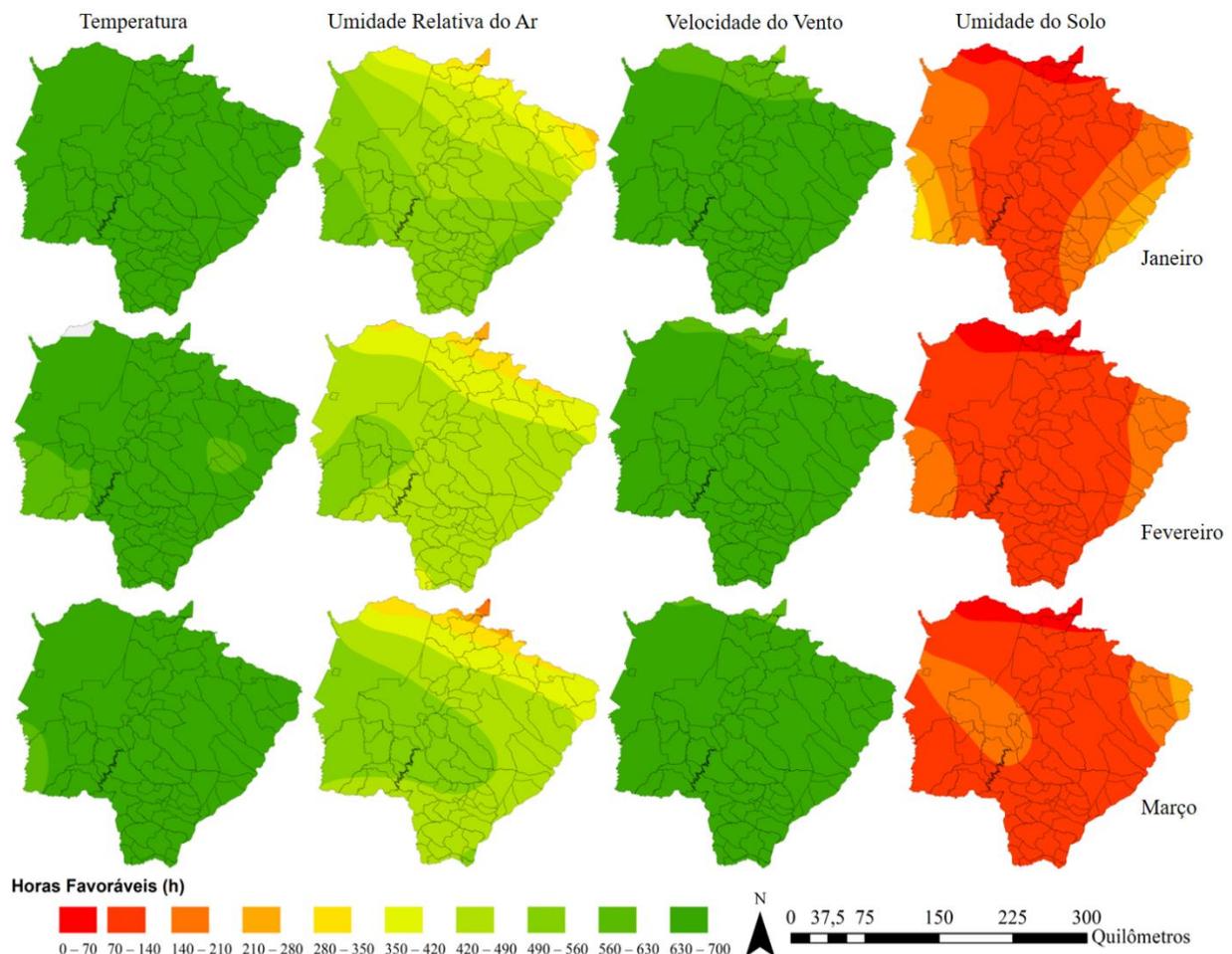


Figura 5. Horas favoráveis para pulverização agrícola mecanizada segundo as restrições da temperatura do ar, umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento e umidade do solo durante o verão no Estado de Mato Grosso do Sul.

Para a variável, umidade relativa do ar, nos meses de fevereiro e março, apresenta uma redução nas horas favoráveis. Iniciando na região sudoeste e seguido para as regiões do pantanal e centro norte, onde no sul do Estado as horas favoráveis chegaram reduzir a 300 h mensais.

Os meses de Janeiro, Fevereiro e Março, sendo caracterizados pelas intensas chuvas, justifica tal fato de que a variável umidade do solo, é a responsável por limitar as horas favoráveis a pulverização no Estado de Mato Grosso do Sul. No entanto este período demanda grande quantidade de movimentação de máquinas no campo, em todo o Estado, sendo o período de colheita da primeira safra e plantio da segunda safra, além das pulverizações de dessecação e defensivos agrícolas nas cultivares tardias e na cultura sucessora. Na região sudeste, na cidade

de Uberlândia, Estado de Minas Gerais, foi encontrada maior disponibilidade de horários para aplicação de defensivos agrícolas nas condições adequadas para os meses de Novembro, Dezembro, Janeiro e Fevereiro e menor disponibilidade de horas apropriadas para aplicação de pesticidas foi encontrada nos meses de Agosto e Setembro (Cunha et al., 2016). Tal conclusão se dá por não considerar a umidade do solo, que quando excedida, causa a compactação do solo.

O outono, durante os meses de Abril, Maio e Junho, é caracterizado pela estação onde os dias começam a ficar mais curtos e mais frescos, o qual a temperatura não sofre redução nas horas favoráveis. A umidade relativa do ar e a umidade do solo, são as variáveis que mais limitam o número de horas favoráveis a pulverização, entorno de 400 e 300 horas mensais, respectivamente, para as regiões centrais do Estado (Figura 6).

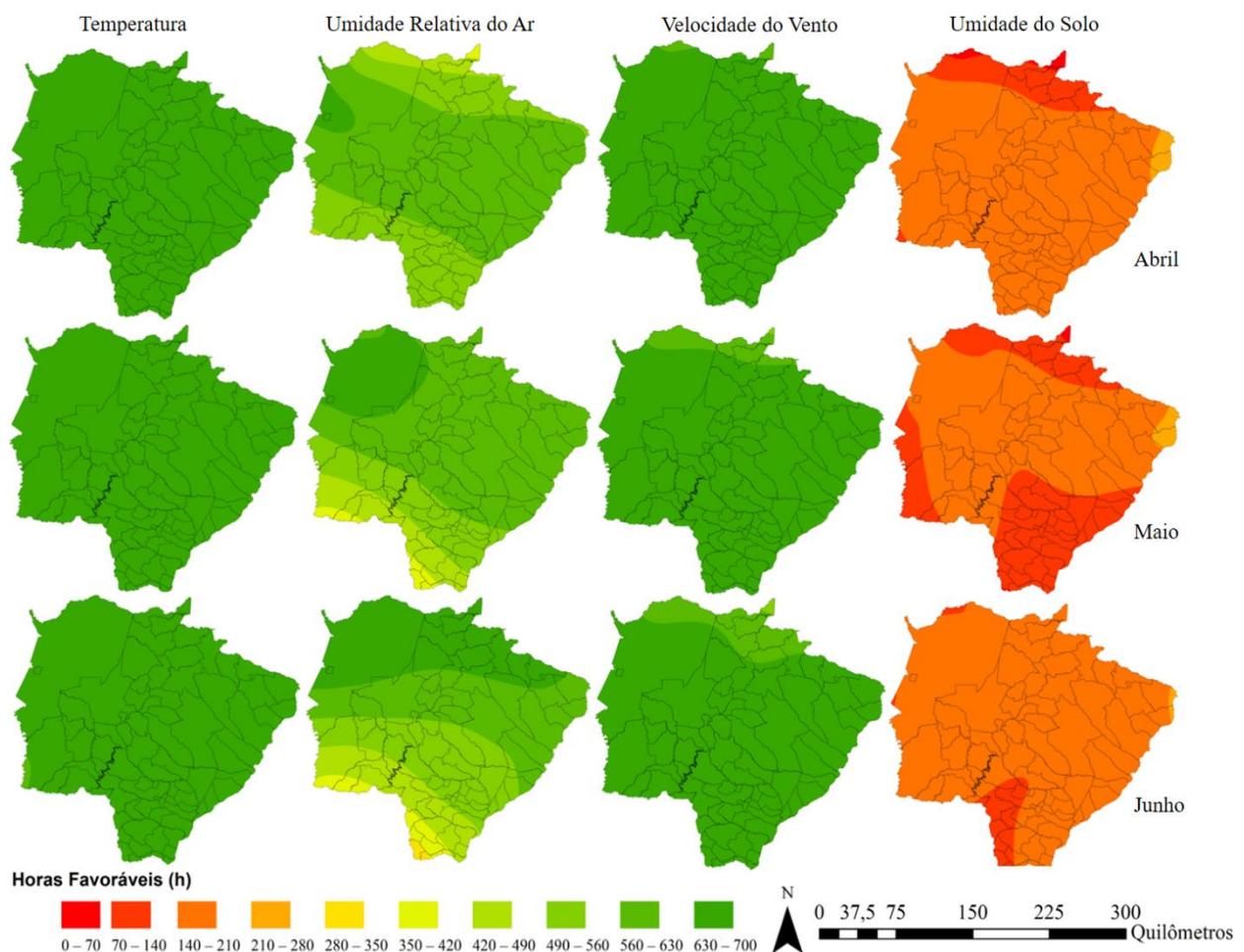


Figura 6. Horas favoráveis para pulverização agrícola mecanizada segundo as restrições da temperatura do ar, umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento e umidade do solo durante o outono no Estado de Mato Grosso do Sul.

Com o número de horas favoráveis a pulverização agrícola reduzida, até 200 h, pela UR, deve se atentar a tecnologia de aplicação para evitar perdas de produtos e baixo nível de controle de doenças e pragas, já que nesse período, se encontra a segunda safra em pleno desenvolvimento, em grande parte do Estado, e ainda, culturas anuais. Uma das alternativas para minimizar as perdas nessas condições de baixa UR, além de usar gotas mais grossas, é adotar o uso de adjuvantes. Porém, deve haver uma escolha adequada desses produtos, pois os adjuvantes podem modificar as características físico-químicas da calda de aplicação, principalmente quanto à viscosidade e tensão superficiais (Santinato et al., 2017).

Nos meses de Julho, Agosto e Setembro entrando na estação inverno, a temperatura é o fator que menos limita as horas favoráveis, mais de 600 h mensais em todo o Estado (Figura 7). Com essa análise pode se afirmar que a aplicação ocorre com condições de temperatura ideais, o que reduz a perda por evaporação. Neste sentido, viabiliza o uso de gotas menores, que garante uma maior cobertura do alvo e penetração no dossel da planta. Quanto menor o tamanho da gota maior o risco de perda por deriva e evaporação (Madureira et al., 2015). A velocidade do vento apresenta redução na região central norte, que forma uma faixa até o sul do Estado, seguindo baixas altitudes, 400 h e pouco limita nas regiões mais altas, 600 h.

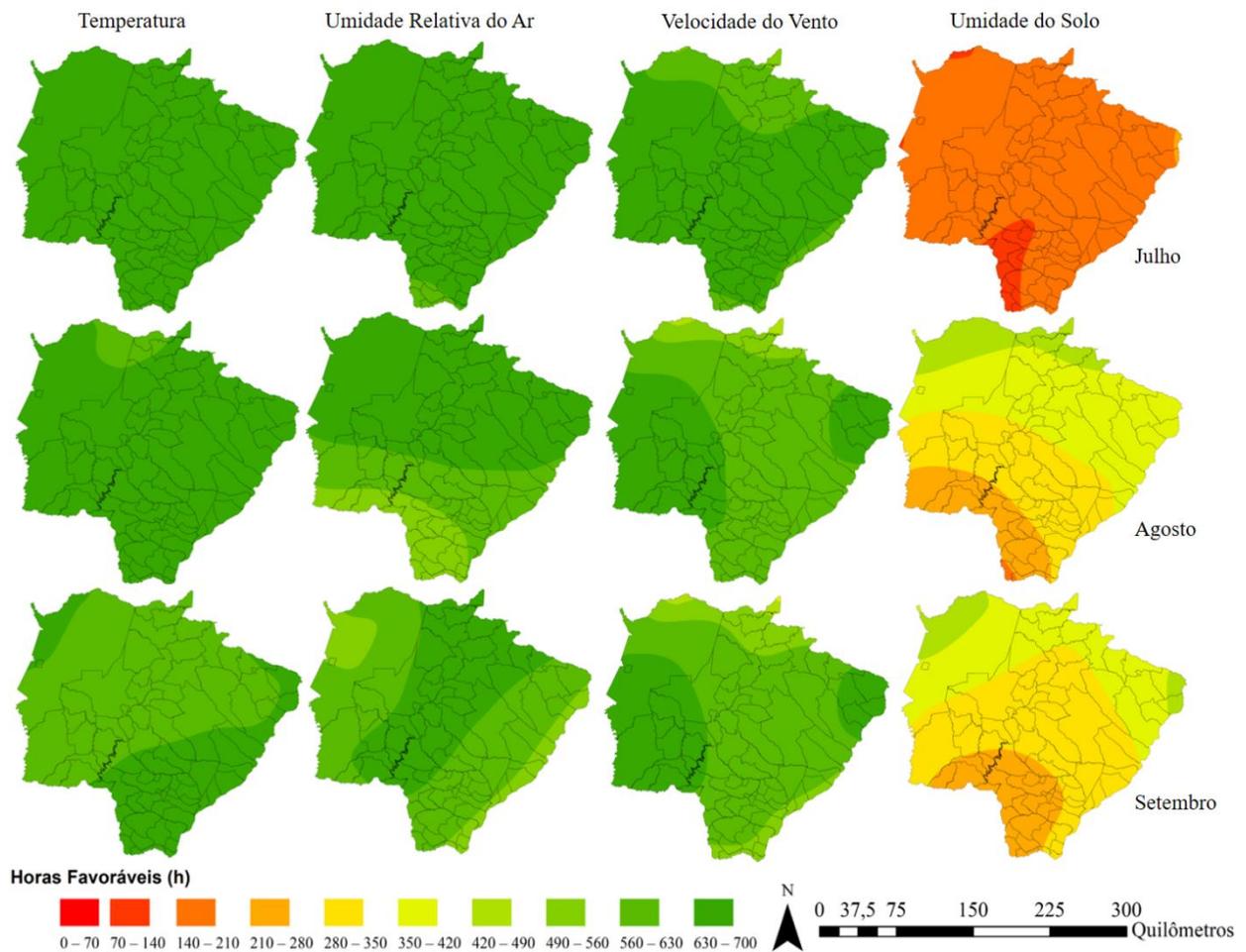


Figura 7. Horas favoráveis para pulverização agrícola mecanizada segundo as restrições da temperatura do ar, umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento e umidade do solo durante o inverno no Estado de Mato Grosso do Sul.

Os valores mais baixos para a UR se concentram nos meses de Setembro e Agosto. Observa-se que a UR reduz as horas favoráveis, nas regiões ao norte, 50 a 200 h mensais, e parte da região leste e do pantanal 300 a 400 horas mensais. A umidade do solo apresenta um aumento vindo da região norte, para a região sul do Estado, conforme, se estende a estação do inverno para os meses de Agosto e Setembro. A umidade do solo apresenta regiões com 400 h contornando a região do pantanal, centro norte e leste, sentido ao sul do Estado. As horas da umidade do solo aumentam, conforme se reduz da umidade do ar, podendo ser observado na Figura 7.

Na primavera, os dias começam a alongar e as noites ficam mais curtas, as temperaturas ficam mais amenas e se inicia o período de chuva. Observando a Figura 8, nos meses de

Outubro, Novembro e Dezembro, as variáveis temperatura, UR e Velocidade do Vento, pouco limitaram as horas favoráveis a pulverização agrícola no Estado de Mato Grosso do Sul.

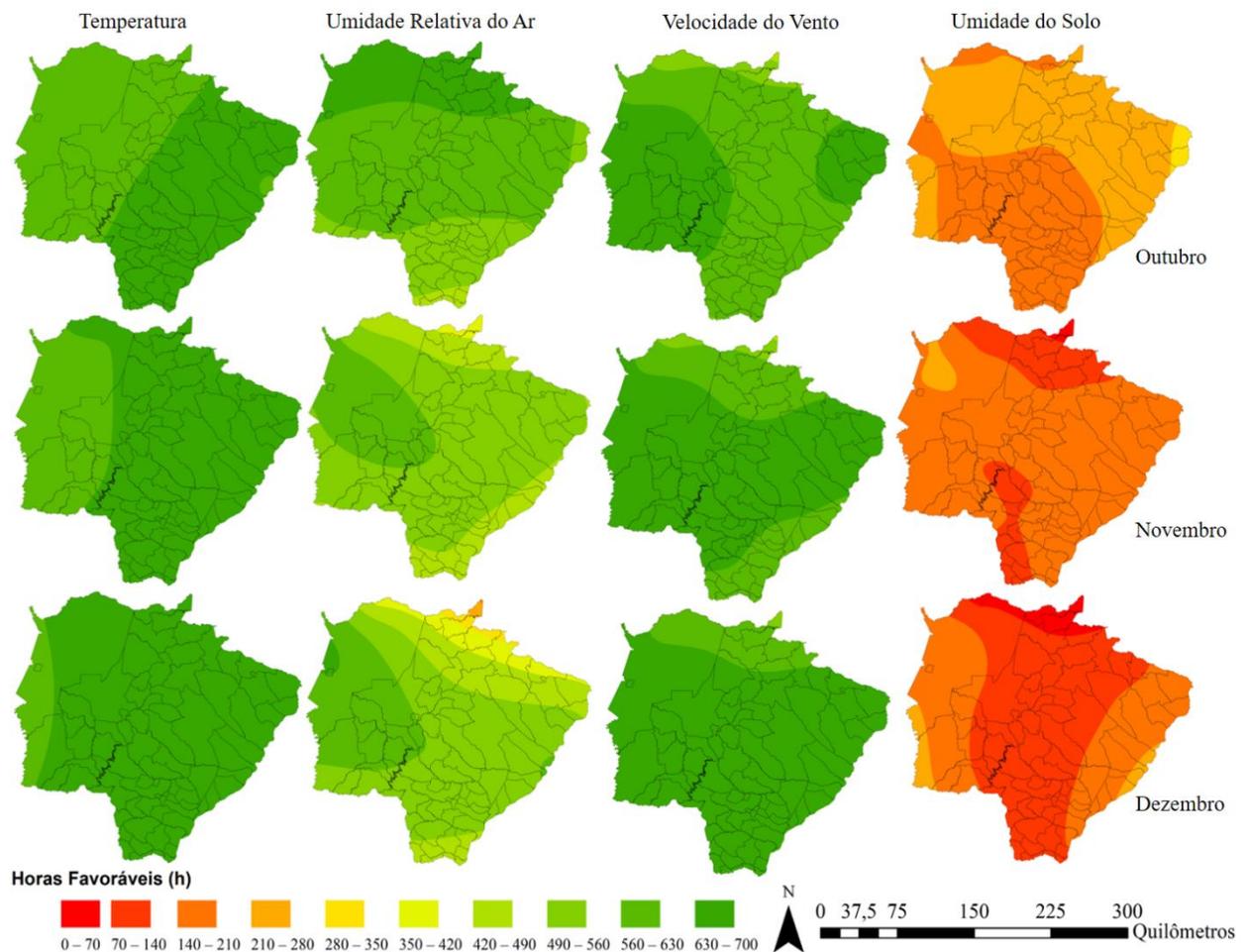


Figura 8. Horas favoráveis para pulverização agrícola mecanizada segundo as restrições da temperatura do ar, umidade relativa do ar (UR), velocidade do vento e umidade do solo durante a primavera no Estado de Mato Grosso do Sul.

A variável umidade do solo no mês de Outubro apresenta de 200 a 300 h nas regiões do pantanal, central norte e leste do Estado, no qual apenas o sudoeste apresenta menos de 200 h favoráveis. No mês de Novembro e Dezembro, as regiões sudoeste, norte e parte do pantanal apresentam os menores número de horas, pelo qual caracterizam as regiões mais baixas, onde a umidade se concentra mais, corroborando com os mapas da UR, que o mesmo apresenta um aumento das horas nessas regiões.

A pressão causada pelos rodados do pulverizador ao solo com excesso de umidade, resulta na compactação. Esse processo ocorre nos meses mais chuvosos, devido ao maior tempo que

esse solo precisa para perder água (Baio et al., 2017). Segundo Cardoso et al. (2013), a compactação do solo devido ao tráfego de máquinas acarreta na perda da estabilidade dos seus agregados e afeta o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, resultando em prejuízos ao produtor.

As horas favoráveis no Estado de Mato Grosso do Sul não foi afetado pela velocidade do vento e pela temperatura, que apresentou valores acima de 500 h, em todo Estado e em todos os meses da série estudada. O valor máximo foi de 700 h nos meses de Abril, Maio e Junho e o menor foi de 450 h para os demais meses e sempre na região central do Estado, seguindo do sul ao norte do Estado. Foi observado que nos momentos em que a velocidade do vento ultrapassa os limites, a umidade relativa do ar também ultrapassa. No entanto a umidade do solo, dentre as variáveis estudadas (Temperatura, UR e Velocidade do vento) é a que mais limitou a pulverização agrícola, corroborando com os resultados obtidos por Gava et al. (2018) em estudo.

Estimando o TD para a pulverização agrícola nas regiões do Estado de Mato Grosso do Sul, torna possível planejar as aplicações, adequando o número de pulverizadores, e na escolha da tecnologia de aplicação correta, atendendo as demandas local, e conseqüentemente aumentar o controle nos meses com menos disponibilidades de horas. O TD de uma operação agrícola, é dada não apenas pela jornada de trabalho e pela eficiência da máquina, mas também pelas condições edafoclimáticas, ou seja, está relacionado a interação das variáveis climáticas e da condição de umidade de solo.

Considerando todas as restrições dadas pelas variáveis analisadas à pulverização agrícola, os meses de Outubro, Novembro, Dezembro e Fevereiro são os mais críticos, e apresentam menor TD (Figura 9). A interação dessas variáveis reduz drasticamente o TD, quando comparadas isoladamente. O insucesso de uma aplicação está associado ao uso de tecnologia inadequada junto a não observância das condições atmosféricas (Azevedo, 2015). Em ordem de importância no sucesso da aplicação de defensivos agrícolas, deve-se considerar inicialmente a velocidade do vento, depois a umidade relativa do ar e, por fim, a temperatura (Nicolai & Christoffoleti, 2014).

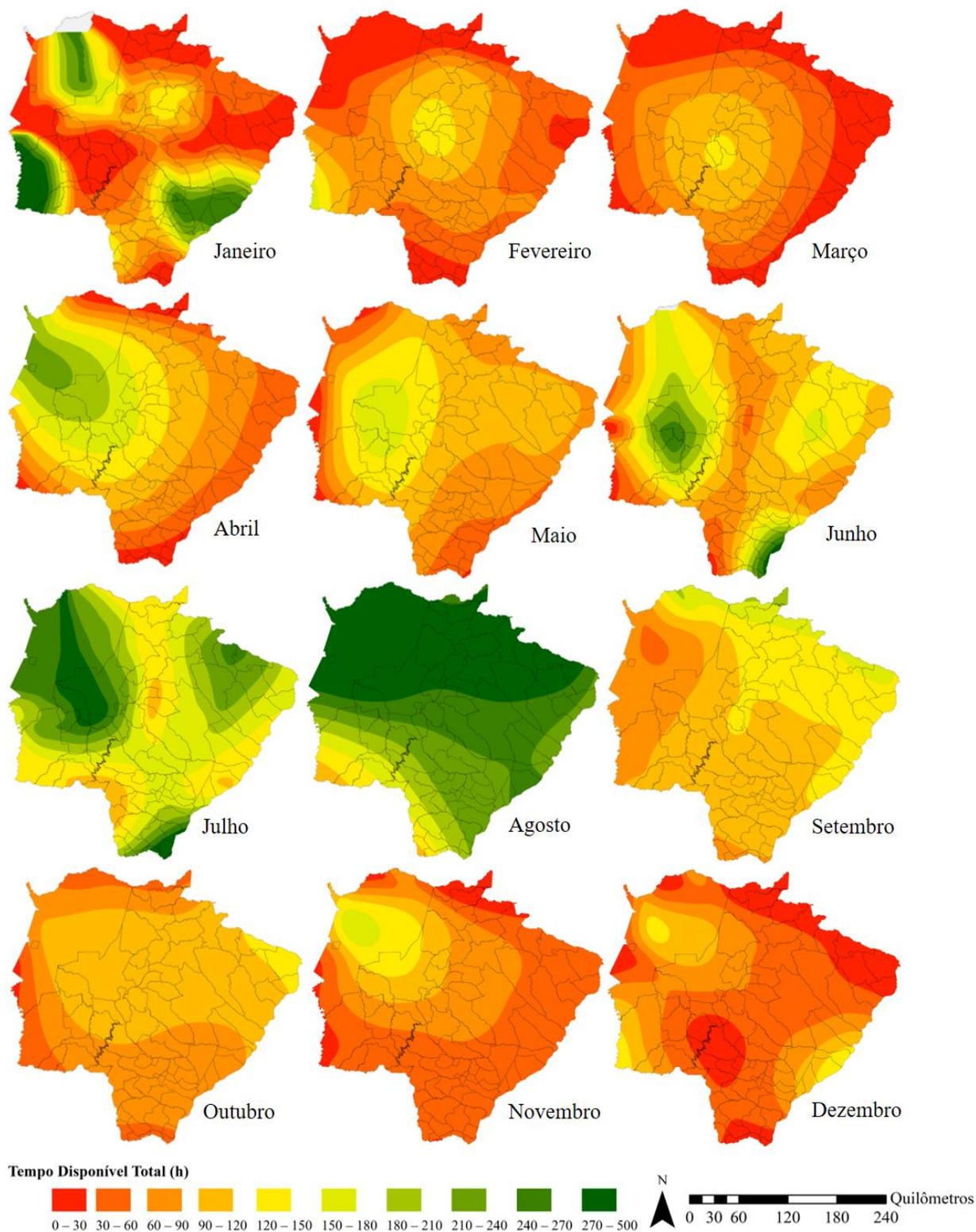


Figura 9. Mapa do Tempo Disponível total mensal à pulverização agrícola no Estado do Mato Grosso do Sul.

Na Figura 9, representada pelos mapas de TD mensal nota-se uma relação direta entre a pluviosidade e as horas disponíveis para a pulverização agrícola. O qual o mês de Julho e

Agosto é o que apresenta maior TD, e distribuído em todo o território do Estado. Observa-se também que quando inicia as chuvas (mês de Setembro e Outubro), o TD começa diminuir em todo território, principalmente nas extremidades. Na região do pantanal é possível observar algumas zonas que ficam alagadas, devido a presença de solos classificados como, Planossolo e Chernossolo, que são solos de características encharcados. No início das chuvas o TD é menor que nas outras regiões, porém a medida que as chuvas vão se regularizando o TD passa a ser maior em alguns pontos dessa região. A provável explicação, além do tipo de solo, é por ser uma região com baixas altitudes e altas temperaturas, fazendo com que o solo perca água em um tempo mais curto que nas regiões de maior altitude, e a umidade relativa do ar que é alta nessas regiões.

A região norte do Estado (Figura 9), apresenta ao longo do ano, os menores valores de TD, quando comparadas a região sul do Estado. Tal fato pode ser dar por conta das altas altitudes, que se caracteriza por um clima mais chuvoso e com rajadas de vento mais constantes, interferindo diretamente nas demais variáveis meteorológicas (UR e temperatura), e também por predominar solo argiloso, dentre eles os Argilosos e Latossolos, no qual a drenagem pelo excesso de água é mais lenta.

A Figura10 apresenta as probabilidades (50%, 75% e 90%), de ocorrer o respectivo número de horas de cada atividade, calculado com base no histórico climático de dez safras. É possível observar que quanto maior o nível de certeza (Probabilidade) de ocorrência de um determinado número de horas favoráveis, menor será este número.

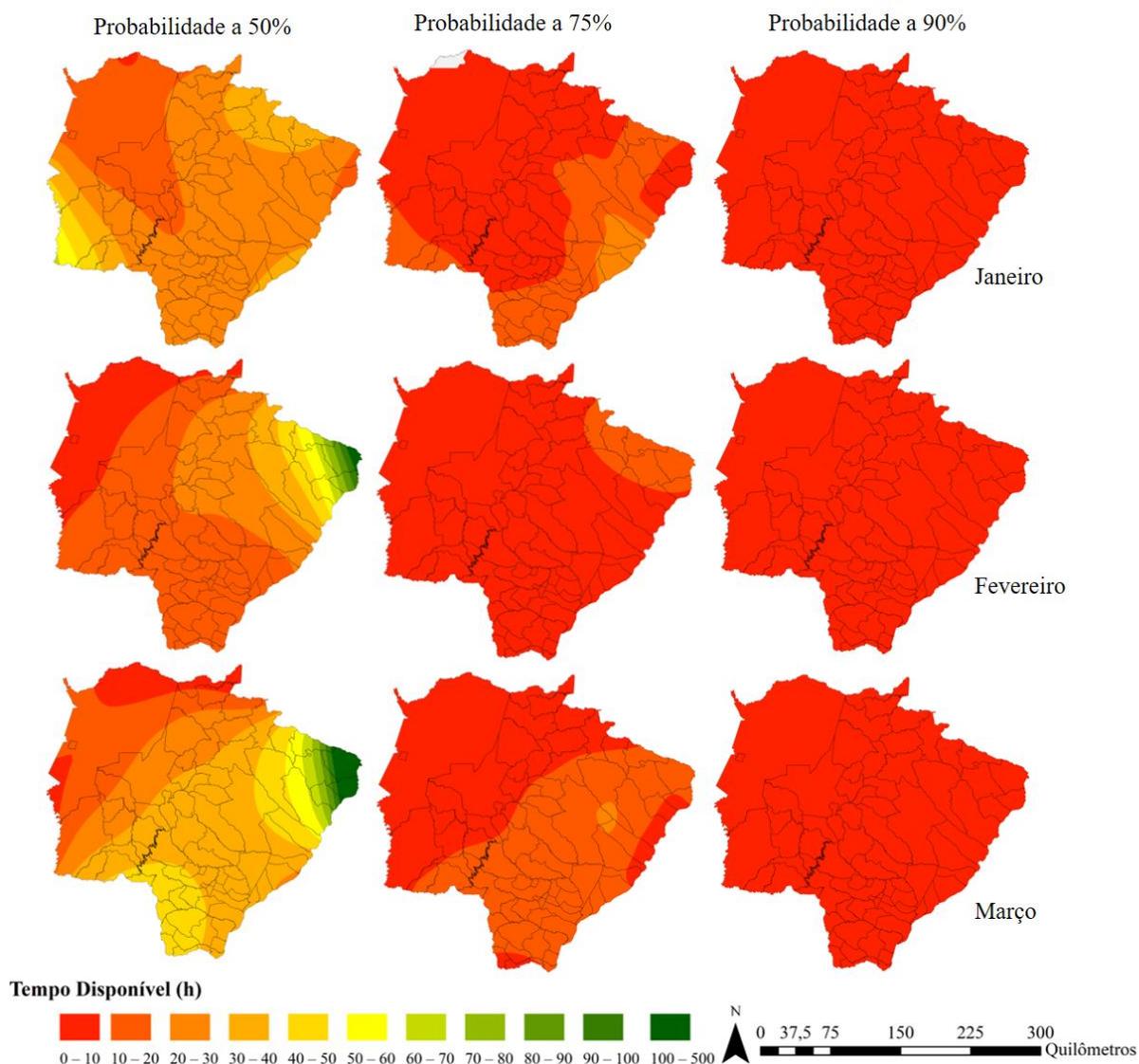


Figura 10. Tempo Disponível (h) para a Pulverização mecanizada de acordo com a probabilidade de ocorrência de ser igualada ou superada, durante a estação do verão e segundo uma série histórica de dez anos.

Para os meses de Janeiro, Fevereiro e Março (verão), mesmo com 50% de probabilidade não há horas disponíveis acima de 50 h. Nestas condições a pulverização fica limitada pela umidade do solo, o qual é a variável que mais limita a pulverização agrícola nesta estação chuvosa.

No outono, observa-se um aumento no número de horas favoráveis, iniciando em Abril, nas regiões mais centrais do Estado, com a probabilidade de 50% de ocorrência (Figura 11). Conforme a estação vai se estendendo, entrando nos meses maio e Junho, onde as chuvas começam a sessar, ocorre um aumento significativo no numero de horas nas regiões sudeste, centro norte e leste do Estado.

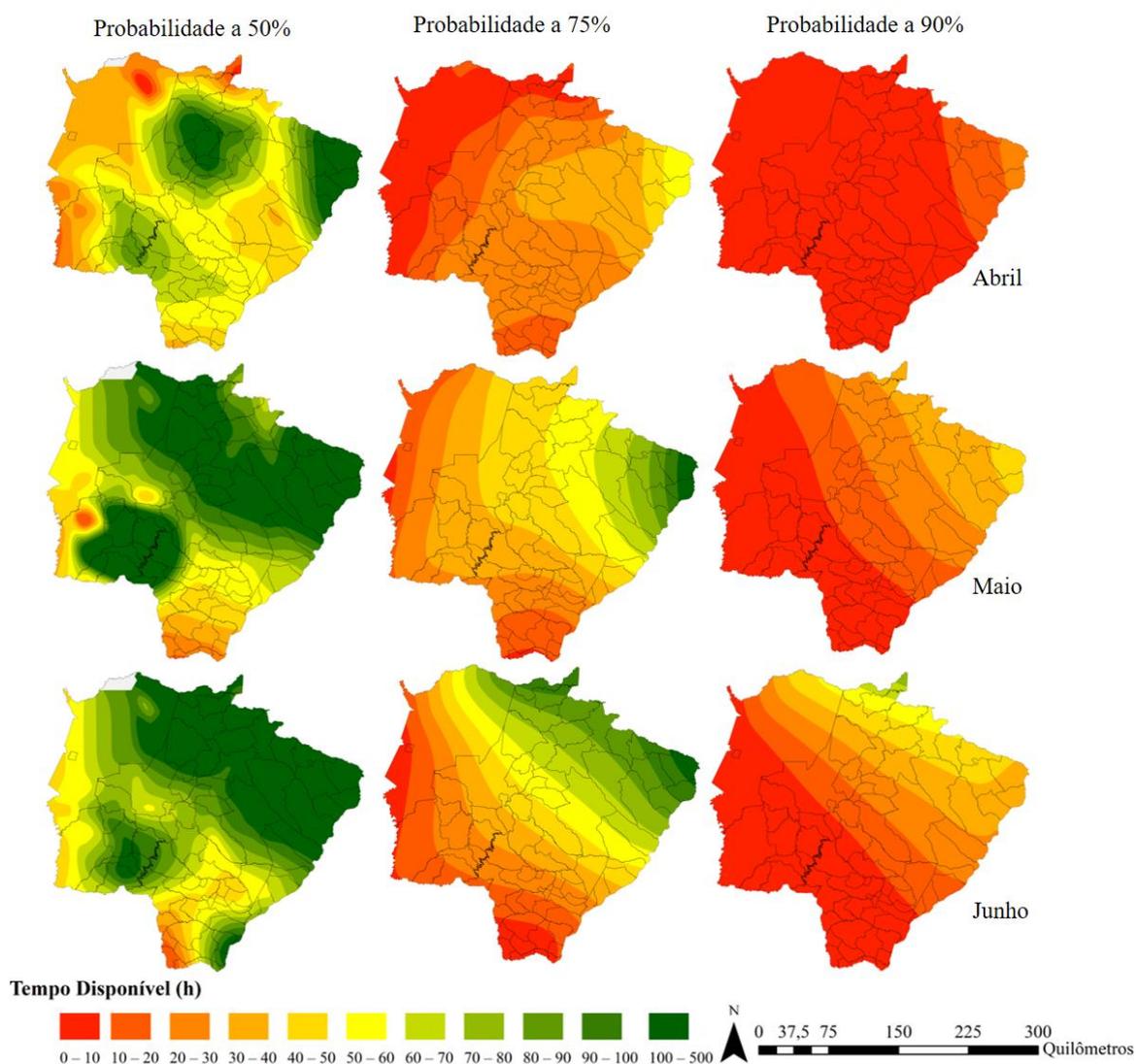


Figura 11. Tempo Disponível (h) para a Pulverização mecanizada de acordo com a probabilidade de ocorrência de ser igualada ou superada, durante a estação do outono e segundo uma série histórica de dez anos.

A partir do mês de Julho, entrando na estação mais seca do ano, o inverno. Há um aumento no TD, na probabilidade de 50%, 75% e 90%. Conforme a estação segue para os meses mais secos (Agosto e Setembro) o TD aumenta em todas as probabilidades. O TD é maior nas regiões centro norte e leste do Estado. Como exemplo, no mês de Agosto que, com probabilidade de 50% de certeza, tem-se um mínimo de 250 h de TD à pulverização em grande parte da região leste do Estado, e quando aumenta a probabilidade para 90% reduz para próximo de 100 h (Figura 12).

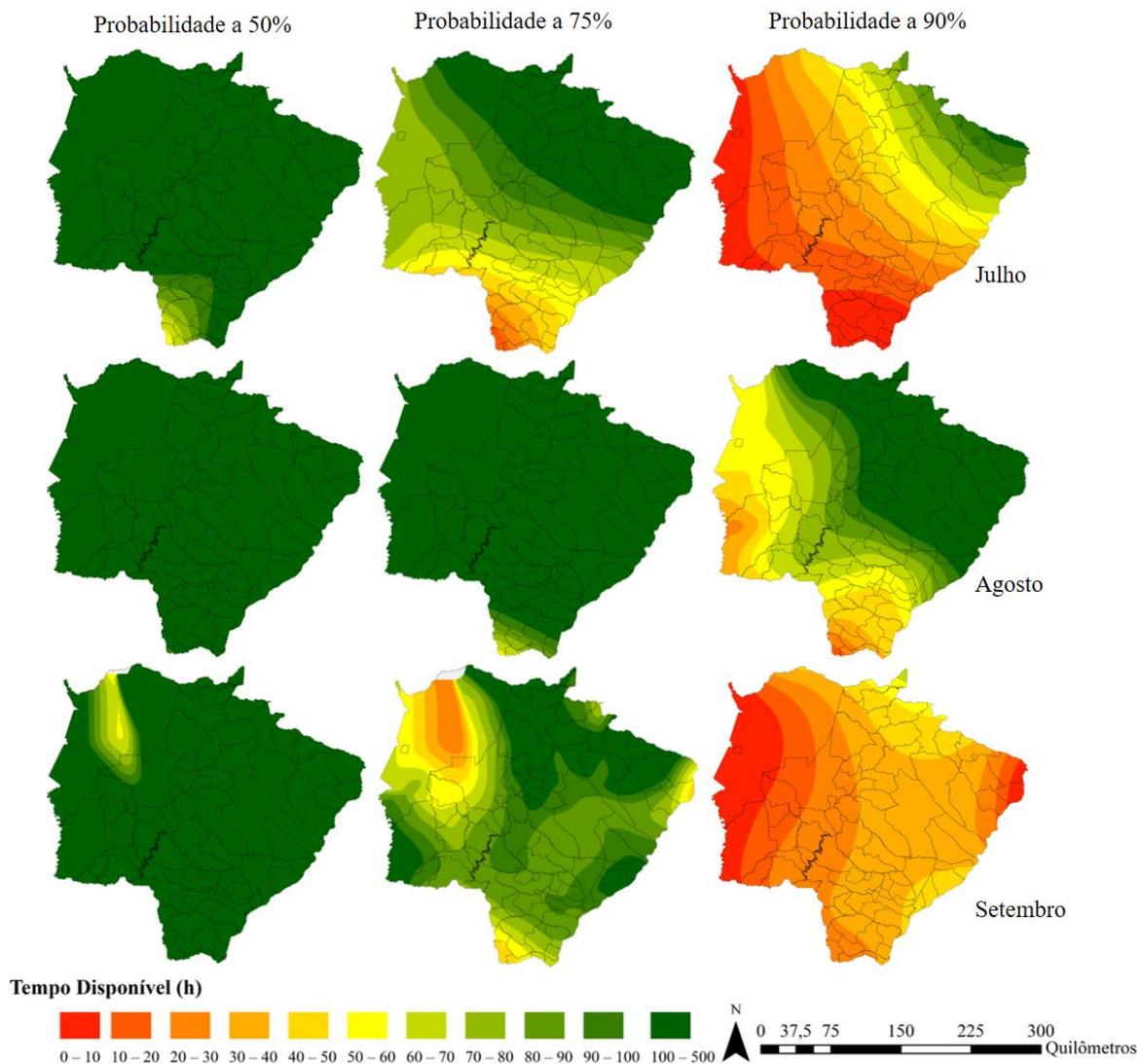


Figura 12. Tempo Disponível (h) para a Pulverização mecanizada de acordo com a probabilidade de ocorrência de ser igualada ou superada, durante a estação do inverno e segundo uma série histórica de dez anos.

Durante a primavera, o TD volta a reduzir, e consequentemente reduzindo a probabilidade de ocorrência, no qual para os meses de Outubro, Novembro e Dezembro não há mais que 50 horas de TD para probabilidade de 90% de certeza (Figura 13). Nesses meses se demanda em grande quantidade o TD para a pulverização mecanizada e o produtor fica limitado a menos de 50% de certeza de ocorrer um mínimo de 100 h todo o Estado. No mês de dezembro, a chance de ocorrer TD acima de 50 horas é menor que 50% de probabilidade.

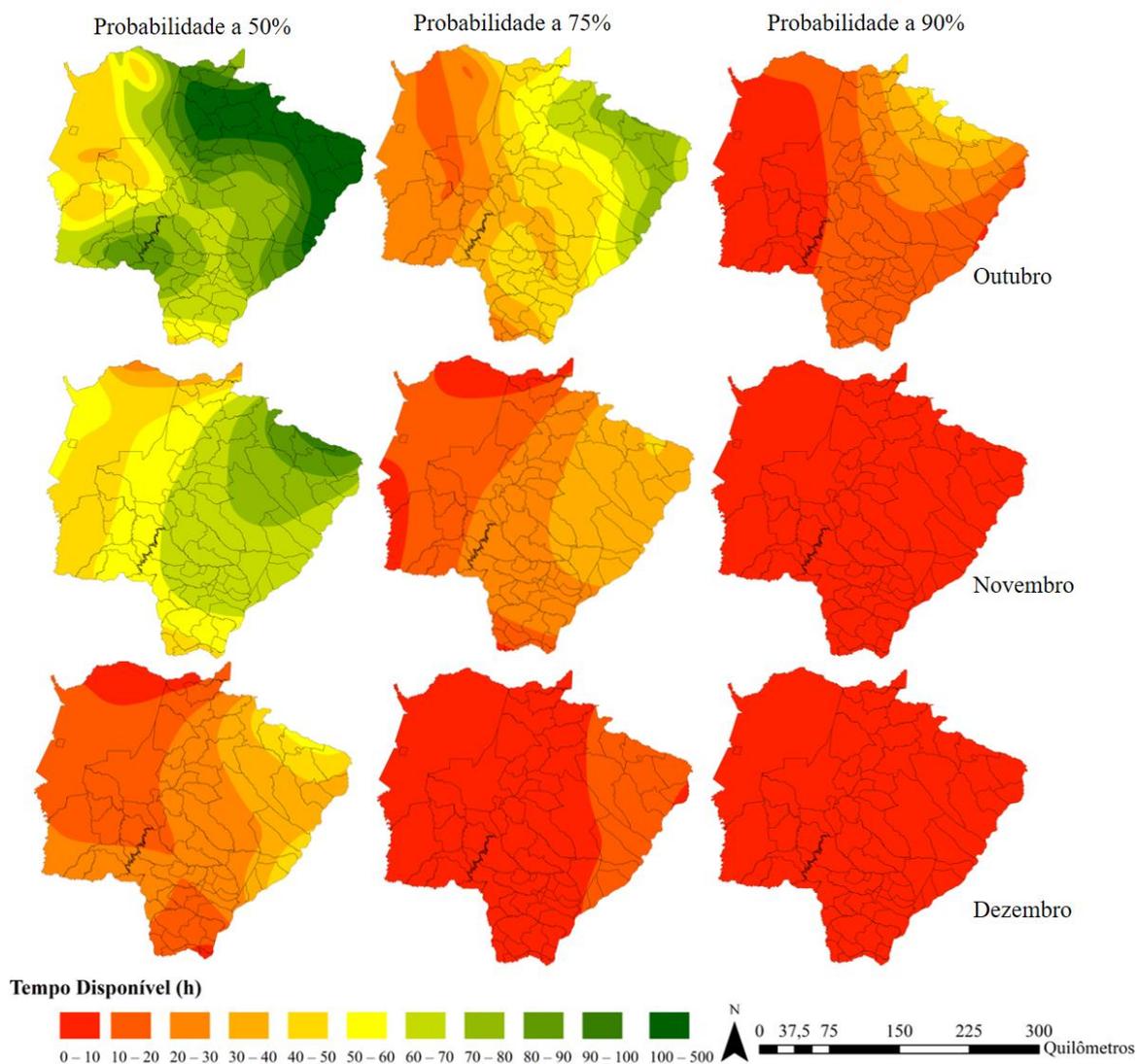


Figura 13. Tempo Disponível (h) para a Pulverização mecanizada de acordo com a probabilidade de ocorrência de ser igualada ou superada, durante a estação da primavera e segundo uma série histórica de dez anos.

Assim, não é possível executar a pulverização agrícola, com 50% de probabilidade nos meses de dezembro a março em praticamente todo o território do Estado do Mato Grosso do Sul. Tal limitação se resume principalmente pela variável umidade do solo, que mesmo isolada se mostrou ser o mais prejudicial ao TD e assim pode-se afirmar que em grande parte do Estado ocorre problemas de compactação de solo, condizendo com a realidade prática, a campo. Valadão et al. (2015), estudando a compactação do solo no sistema radicular da soja, avaliaram que, onde o solo foi trafegado oito vezes, houve alteração na área do sistema radicular da soja e na distribuição no perfil do solo.

As horas necessárias para atender ao RO, segundo a simulação, hipotética, do Ritmo operacional (RO) para os 1050 ha, nos decêndios de Outubro, Novembro, Dezembro, Fevereiro e Março ultrapassam as horas disponíveis para a pulverização mecanizada (Figura 14). Dentre esses períodos ocorre a coincidência da necessidade das operações de dessecação na cultura da soja (safra) e as primeiras aplicações de herbicida pós-emergente, como também da aplicação de inseticidas para o controle de percevejos na cultura do milho de segunda safra, exigindo um RO de até 980 ha por decêndio nessa operação de em um único turno de trabalho. Portanto, entende-se que o agricultor realiza as pulverizações em condições de umidade do solo alta, ocasionando maior compactação no trajeto do pulverizador. O aumento da densidade e compactação do solo pode estar relacionado principalmente com o tráfego de máquinas (Baio et al., 2017).

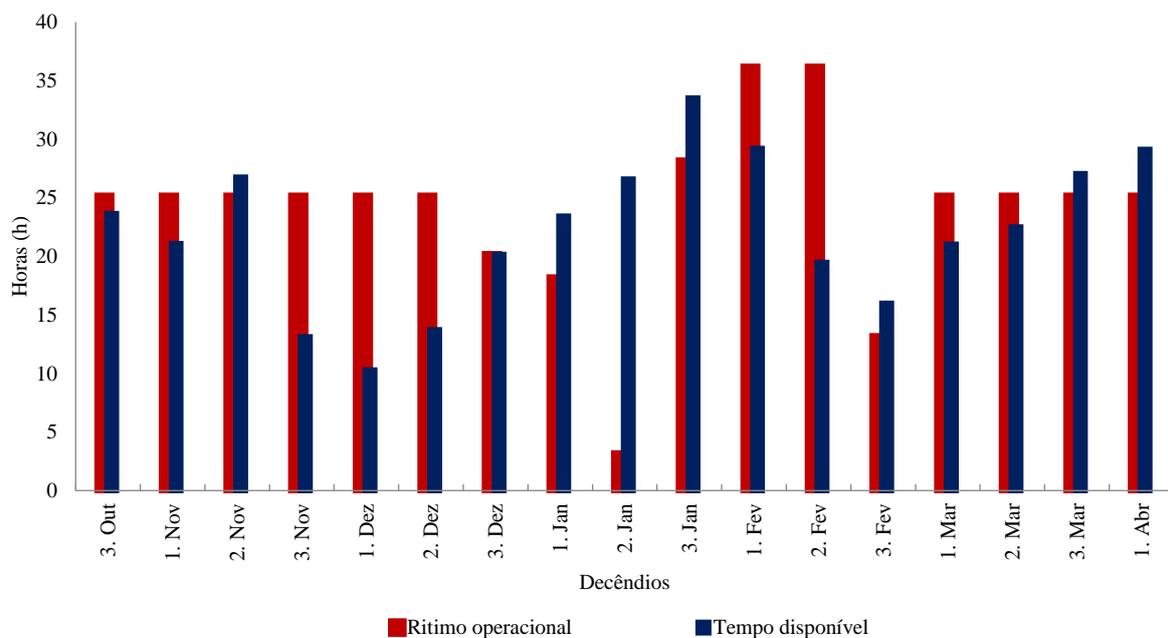


Figura 14. O Tempo Disponível à pulverização agrícola em relação a simulação do Ritmo Operacional (RO) exigido pela máquina nos decêndios do ano agrícola.

Para cumprir as operações planejadas, neste cenário hipotético, é necessário tomar algumas medidas, como aumentar o número de conjuntos mecanizados agrícolas ou o contrato de serviços terceirizados. A aplicação aérea pode ser uma alternativa para alcançar o RO, evitando o tráfego excessivo de máquinas nas áreas com a umidade do solo sob risco de compactação. Ferreira (2015) aponta a pulverização aérea como uma das formas de aplicação

de defensivos agrícolas em vigor no Brasil com boas perspectivas de crescimento nos próximos anos.

CONCLUSÃO

É possível determinar o Tempo Disponível, para a pulverização agrícola no Estado do Mato Grosso do Sul.

A umidade do solo é a variável que mais limita o Tempo Disponível em todo o Estado de Mato Grosso do sul.

Pode se afirmar que, para o modelo hipotético, de uma propriedade de 1050 ha, com soja primeira safra e milho segunda safra, um único pulverizador capaz de aplicar 27,50 ha h⁻¹ (Dimensões: 27m barra e 17km h⁻¹), não realiza as aplicações nas condições de umidade de solo adequadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNIASSI, U. R. Tecnologia de aplicação: Conceitos básicos, inovações e tendências.. In: TOMQUELSKI, G. V. et al. (Eds.). **Publicações Fundação Chapadão: Soja e Milho** 2011/2012. 5 ed. Chapadão do Sul: Fundação Chapadão. 2012. cap. 16, p. 113-139.

ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. K.; MOTA, A. A. B.; CHECHETTO, R. G. Entendendo a tecnologia de aplicação. **Botucatu: FEPAF**, 2017.

ARTUZO, F.D.; JANDREY, W.F.; CASARIN, F.; MACHADO, J.A.D. Tomada de decisão a partir da análise econômica de viabilidade: estudo de caso no dimensionamento de máquinas agrícolas. **Custos e Agronogócio**. v.11, n. 3, 2015.

ASAE. Agricultural machinery management data. St. Joseph: **ASAE Standards**, 1998. p.360-6.

AZEVEDO L.A.S. Tecnologia de aplicação para misturas em tanque. Azevedo LAS. Misturas de tanque de produtos fitossanitários: teoria e prática. Rio de Janeiro, **Editora IOMS**, p177-203. 2015.

BAIO, F.H.R.; ANTUNIASSI, U. R. Pulverização automática. **Cultivar Máquinas**, v. 8, p. 16-18, 2015.

BAIO F.H.R., SCARPIN I.M., ROQUE C.G, NEVES D.C. Soil resistance to penetration in cotton rows and interrows. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.21, n.6, p.433-439. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n6p433-439>.

BARBOSA, N. F., STOSIC, B. D., STOSIC, T., LOPES, P. M., MOURA, G. B. D. A., MELO, J. S. Kernel smoothing dos dados de chuva no Nordeste. **Revista Brasileira de Engenharia**

Agrícola e Ambiental, v.18, n.7, p.742-747. 2014.

CARVALHO, L. R.; E. F., REIS; I. R. TEIXEIRA; HOLTZ, V. Avaliação de estandes e pontas de pulverização para o controle de mofo branco na cultura do feijão. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 2014.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A. DOS; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M. DE; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. DE M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, v.70, n.4, p.274-289, 2013.

CUNHA, JPAR, PEREIRA, JNP, BARBOSA, LA, & SILVA, CR. Janelas de aplicação de pesticidas na região de Uberlândia-MG, Brasil. **Bioscience Journal** , v.32 n.2, p.403-411, 2016.

ETANA, A., LARSBO, M., KELLER, T., ARVIDSSON, J., SCHJONNING, P., FORKMAN, J., & JARVIS, N. Persistent subsoil compaction and its effects on preferential flow patterns in a loamy till soil. **Geoderma**, v.192, p.430-436, 2013.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed., Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006. 306p.

FERREIRA, M. L. P. C. A pulverização aérea de agrotóxicos no Brasil: cenário atual e desafios. **Revista de Direito Sanitário**, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 18-45, abr. 2015.

GAVA, R., SCARPIN, I. M., BAILO, F. H., WASSOLOWSKI, C. R., & NEVES, D. C. Time available for spraying and mechanized sowing in the northeast of the state of mato grosso do sul and south of goiás. **Engenharia Agrícola**, v.38, n.3, p.443-450, 2018.

GAVA R, FREITAS PSL, FARIA RT, REZENDE R, FRIZZONE JA Evaporação da água do solo sob densidades de cobertura com resíduo vegetal. **Engenharia Agrícola** v.33, n.1 p.89-98, 2013.

GUIMARÃES, G. L. Principais fatores comerciais condicionantes da disponibilidade de produtos isolados e em misturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, **Gramado**. v.29., 2014.

MADUREIRA RP, RAETANO CG, CAVALIERI JD Interação pontas-adjuvantes na estimativa do risco potencial de deriva de pulverizações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.19, n.2 p.180-185, 2015.

MANTOVANI, E. C. Compactação do solo. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado** (ALICE), 1987.

MILAN, M.; ROSA, J.H.M. Corte, transbordo e transporte (CTT): aspectos relevantes e uso da modelagem para o CTT. In: BELARDO,G.C. et al. Processos Agrícolas e Mecanização da Cana

de Açúcar. **Jaboticabal : SBEA**, 2015 p.415-428.

MIALHE, L.G. Manual de mecanização agrícola. São Paulo:**Editora Agronomica Ceres**, 1974. 301 p.

NICOLAI M.; CHRISTOFFOLETI P.J. Tecnologia de aplicação de herbicidas. In: MONQUERO, P.A. Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas. São Carlos, RiMa, p307-350, 2014.

OLIVEIRA, R. B. ; ANTUNIASSI, U. R. ; GANDOLFO, M. A. . Spray adjuvant characteristics affecting agricultural spraying drift. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 109-116, 2015.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo-SP, Editora Oficina de Textos, 247p. 2000.

SANTINATO, F.; RUAS, R. A. A.; TAVARES, T. O.; SILVA, R. P.; GODOY, M. A. Influence of spray volumes, nozzle types and adjuvants on the control of phoma coffee rust. **Coffee Science**, v. 12, n. 4, p. 444-450, 2017.

SOUZA, G. S. D., SOUZA, Z. M. D., COOPER, M., & TORMENA, C. A. Controlled traffic and soil physical quality of an Oxisol under sugarcane cultivation. **Scientia Agricola**, v.72, n.3, p. 270-277, 2015.

SOARES, J.; LEÃO, M. **Optimização da pulverização em médio e baixo volume na produção integrada de pêssego e maçã. Disponível em:** http://www.bayercropscience.pt/download/pi_pera_rocha.pdf . Acesso em: mar. 2019.

VALADÃO, F. C. de A. et al. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 243-255, 2015.