

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE AGRONOMIA**

JOELSON NADIEL HAAS

**RISCO DE VELOCIDADE DO VENTO LIMITANTE À IRRIGAÇÃO POR
ASPERSÃO NO BRASIL**

**CERRO LARGO
2022**

JOELSON NADIEL HAAS

**RISCO DE VELOCIDADE DO VENTO LIMITANTE À IRRIGAÇÃO POR
ASPERSÃO NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Sidinei Zwick Radons

CERRO LARGO

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Haas, Joelson Nadiel

Risco de velocidade do vento limitante à irrigação por aspersão no Brasil / Joelson Nadiel Haas. -- 2022. 52 f.

Orientador: Prof. Dr. Sidinei Zwick Radons

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo, RS, 2022.

1. Uniformidade; aplicação de água; dados meteorológicos. I. Radons, Sidinei Zwick, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

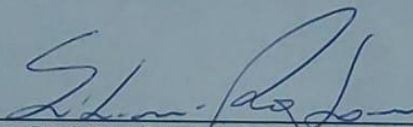
JOELSON NADIEL HAAS

RISCO DE VELOCIDADE DO VENTO LIMITANTE A IRRIGAÇÃO POR
ASPERSÃO NO BRASIL


Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 19/12/2022.

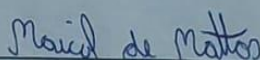
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Sidinei Zwick Radons – UFFS
Orientador



Prof. Dr. Anderson Spohr Nedel – UFFS
Avaliador



Eng. Agrônomo Maicol de Mattos
Avaliador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Agradeço a meu pai João e minha mãe Clarice por sempre estarem presentes e me apoiarem durante a graduação.

Agradeço a minha irmã Juliane pelo apoio e incentivo em momentos de dificuldade.

Aos verdadeiros amigos por compartilhar comigo tantos momentos de descobertas e aprendizados e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

Agradeço ao professor Dr. Sidinei Zwick Radons por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade. Também agradeço ao professor Dr. Mário Sérgio Wolski pela disponibilidade e ajuda prestada neste trabalho.

À Universidade Federal da Fronteira Sul, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação e oportunidade, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

Agradeço a todos aqueles que contribuíram de alguma forma na minha formação acadêmica.

RESUMO

A utilização da irrigação na agricultura é necessária para manter uma produção agrícola elevada e atender a crescente demanda por alimentos. Dentre os principais métodos, a irrigação por aspersão é o mais utilizado no planeta atualmente, graças à sua versatilidade e adaptabilidade. Porém, o uso deste método é altamente sensível a altas velocidades do vento, o que ocasiona uma baixa uniformidade de aplicação de lâmina de água. Com base em intervalos em que a velocidade do vento é baixa é possível estimar o tempo disponível para utilização da irrigação por aspersão, objetivando aperfeiçoar a eficiência da aplicação de água e reduzir as perdas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o risco de velocidades do vento limitantes para irrigação por aspersão nos estados de Goiás, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo, bem como indicar os meses do ano e horários do dia com maior risco em se utilizar este tipo de irrigação. Também analisar quais são os locais dentro de cada estado em que a velocidade do vento é mais limitante à irrigação por aspersão. Foram obtidos os dados horários do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de todas as estações meteorológicas automáticas presentes nestes quatro estados e foi estimado o risco de ocorrência de velocidades do vento limitantes à irrigação em cada local. Após isso, foi feita a média mensal e a média por estado, a fim de verificar se existe variação de risco ao longo do ano e entre os estados. A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que o estado do Rio Grande do Sul apresenta as maiores limitações em utilizar o método de irrigação por aspersão devido a altas velocidades do vento e Minas Gerais possui os menores riscos. As maiores limitações em utilizar o método de irrigação por aspersão concentram-se entre os meses de julho a outubro e os horários do dia com maiores limitações concentram-se no intervalo das 08:00 horas da manhã até as 18:00 horas da tarde.

Palavras-chave: uniformidade; aplicação de água; dados meteorológicos.

ABSTRACT

The use of irrigation in agriculture is necessary to maintain high agricultural production and meet the growing demand for food. Among the main methods, sprinkler irrigation is the most used on the planet today, thanks to its versatility and adaptability. However, the use of this method is highly sensitive to high wind speeds, which causes a low uniformity of water depth application. Based on intervals in which the wind speed is low, it is possible to estimate the time available for using sprinkler irrigation, aiming to improve the efficiency of water application and reduce losses. Thus, the objective of this work was to evaluate the risk of limiting wind speeds for sprinkler irrigation in the states of Goiás, Minas Gerais, Rio Grande do Sul and São Paulo, as well as to indicate the months of the year and times of day with greater risk. using this type of irrigation. Also analyze which are the locations within each state where wind speed is the most limiting to sprinkler irrigation. Hourly data from the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) were obtained from all automatic meteorological stations present in these four states and the risk of occurrence of wind speeds limiting irrigation in each location was estimated. After that, the monthly average and the average per state were calculated, in order to verify whether there is risk variation throughout the year and between states. From the results obtained, it was possible to conclude that the state of Rio Grande do Sul has the greatest limitations in using the sprinkler irrigation method due to high wind speeds and Minas Gerais has the lowest risks. The greatest limitations in using the sprinkler irrigation method are concentrated between the months of July and October and the times of day with the greatest limitations are concentrated in the interval from 08:00 in the morning to 18:00 in the afternoon.

Keywords: uniformity; water application; meteorological data.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização das estações meteorológicas em GO, MG, RS e SP, utilizadas no estudo.	27
Figura 2 - Frequências de velocidades do vento (U_2) > 3 m s ⁻¹ nos diferentes meses do ano (A) e horários do dia (B) nos estados de Goiás, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo.	29
Figura 3 - Análise de boxplot (percentis 5, 25, 50, 75 e 95%) e médias (linha vermelha) da frequência de velocidade do vento > 3 m s ⁻¹ ao longo dos meses do ano (A) e horários do dia (B) para o estado de Goiás.	30
Figura 4 - Risco trimestral (A) e horário (B) de ocorrência de velocidades do vento limitantes à utilização de irrigação por aspersão no estado de Goiás.	31
Figura 5 - Análise de boxplot (percentis 5, 25, 50, 75 e 95%) e médias (linha vermelha) da frequência de velocidade do vento > 3 m s ⁻¹ ao longo dos meses do ano (A) e horários do dia (B) para o estado de Minas Gerais.	32
Figura 6 - Risco trimestral (A) e horário (B) de ocorrência de velocidades do vento limitantes à utilização de irrigação por aspersão no estado de Minas Gerais.	33
Figura 7 - Análise de boxplot (percentis 5, 25, 50, 75 e 95%) e médias (linha vermelha) da frequência de velocidade do vento > 3 m s ⁻¹ ao longo dos meses do ano (A) e horários do dia (B) para o estado do Rio Grande do Sul.	34
Figura 8 - Risco trimestral (A) e horário (B) de ocorrência de velocidades do vento limitantes à irrigação por aspersão no estado do Rio Grande do Sul.	35
Figura 9 - Análise de boxplot (percentis 5, 25, 50, 75 e 95%) e médias (linha vermelha) da frequência de velocidade do vento > 3 m s ⁻¹ ao longo dos meses do ano (A) e horários do dia (B) para o estado de São Paulo.	36
Figura 10 - Risco trimestral (A) e horário (B) de ocorrência de velocidades do vento limitantes à irrigação por aspersão no estado de São Paulo.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estados brasileiros com maior área irrigada e percentual relativo ao total de área irrigada no ano de 2022.	26
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CUC	Coeficiente de Uniformidade de Christiansen
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO/STAT	Food and Agriculture Organization of the United Nations
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
km/h ⁻¹	Quilômetros por hora
LEPA	Low Energy Precision Application
m/s ⁻¹	Metros por segundo
NBR	Norma Brasileira
PENSSAN	Rede Brasileira de Pesquisa em Soberania e Segurança Alimentar e Nutricional
SEMC	Secretaria de Energia, Minas e Comunicações
SENAMBI	Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia do Peru
SENAR	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural
U ₂	Velocidade do Vento a 2 metros de altura
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	ÁGUA NAS PLANTAS	12
2.2	DÉFICIT HÍDRICO	14
2.3	IRRIGAÇÃO	15
2.4	MÉTODOS E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	16
2.4.1	Irrigação por superfície	17
2.4.2	Irrigação localizada.....	18
2.4.3	Irrigação por subirrigação.....	19
2.4.4	Irrigação por aspersão	19
2.5	ELEMENTOS QUE AFETAM A ESCOLHA E A EFICIÊNCIA DA IRRIGAÇÃO.....	21
2.5.1	Vento e irrigação por aspersão.....	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
4.1	GOIÁS	30
4.2	MINAS GERAIS	32
4.3	RIO GRANDE DO SUL	34
4.4	SÃO PAULO	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
	REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

A água é o recurso mais abundante e, frequentemente, o mais limitante de que as plantas necessitam para crescer e funcionar (TAIZ; ZEIGER, 2017). O peso de uma planta é composto por cerca de 80 a 90% de água e isso permite que gases, minerais e outras substâncias penetrem nas células e também que ocorram processos fisiológicos como a fotossíntese e a hidrólise do amido em açúcar (SILVA; FREITAS, 1998). Conforme Costa (2001), a água possui diversas funções na planta com grande importância na composição da estrutura, no crescimento do vegetal, no transporte de metabólitos e no funcionamento do metabolismo em geral.

Um dos principais problemas que acometem a produção agrícola e que ocorrem praticamente todos os anos é a deficiência hídrica, sendo responsável por cerca de 60 a 70% da variabilidade final da produção. Devido a isso, é fundamental o conhecimento quanto aos períodos de baixa precipitação e elevada taxa de evapotranspiração (ORTOLANI; CAMARGO, 1987). Para que essa condição possa ser minimizada tem-se expandido a agricultura irrigada, atualmente responsável por 40% da produção agrícola no planeta e que desempenha um papel importante na garantia de segurança alimentar, qualidade e padrões nutricionais exigidos no mundo (RODRIGUES; DOMINGUES, 2017; POSTEL, 2000).

Basicamente existem quatro métodos de irrigação: por superfície, aspersão, localizada e subterrânea, com vários sistemas de irrigação dentro de cada método. Os fatores que interferem na escolha do sistema de irrigação ideal são a disponibilidade de recursos hídricos, as condições topográficas do terreno, o solo, o tipo de cultura que se deseja irrigar e o clima, em que se destaca a influência da velocidade do vento na irrigação por aspersão (ANDRADE; BRITO, 2006).

A irrigação por aspersão é um método muito influenciado pela ação do vento, sendo constatado através de várias pesquisas que o aumento da velocidade do vento provoca diminuição da uniformidade de distribuição de água e redução da área coberta pelo aspersor, com conseqüente queda na produtividade (AZEVEDO *et al.*, 2000). Devido a isso, este trabalho tem como objetivo avaliar o risco de ocorrência de velocidades do vento limitantes para irrigação por aspersão no Brasil através da análise dos horários do dia e meses do ano.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ÁGUA NAS PLANTAS

A água é o recurso natural mais abundante e, frequentemente, o mais limitante de que as plantas necessitam para crescer e funcionar, pois as plantas a utilizam em enormes quantidades (TAIZ; ZEIGER, 2017). A água corresponde a cerca de 80 a 90% do peso de uma planta e além dela ser o solvente que permite que gases, minerais e outras substâncias penetrem nas células vegetais, também é o reagente de processos fisiológicos como a fotossíntese e a hidrólise do amido em açúcar (SILVA; FREITAS, 1998). Segundo Pimentel (2004), quando ocorre a diminuição de água dentro de uma célula, ficando abaixo de 75%, a estrutura é modificada podendo levar à morte dessa célula.

Conforme descrito por Costa (2001), a água possui várias funções nas plantas, dentre elas na estrutura, no crescimento, no transporte e no metabolismo. Na estrutura, é o principal constituinte do protoplasma, consegue penetrar na maioria dos espaços capilares, fazendo a absorção de calor e permitindo que a temperatura interna não se altere de forma brusca. Além disso, permite a rigidez do conteúdo celular e da parede celular envolvente. As plantas superiores apresentam maiores taxas de crescimento ao equilibrar uma situação de carência hídrica. A água também é responsável pelo transporte de várias substâncias no interior da planta e disseminação de esporos, frutos e sementes. Já no metabolismo, os gases de oxigênio e o dióxido de carbono, necessários à respiração e à fotossíntese, estão dissolvidos na água e dependem do processo de solubilização da mesma.

De acordo com Dias (2008), a absorção de água pelas plantas é realizada majoritariamente pelas raízes, em maior quantidade através dos pêlos radiculares, devido a uma maior superfície de contato com as partículas do solo. Para a água chegar até o xilema radicular, ela pode percorrer três caminhos, podendo ser através de espaços entre uma célula e outra chamada de via apoplasto, passando de uma célula a outra pelos plasmodesmos, chamada de via simplasto ou ainda pela via transcelular que também é simplástica na qual a água atravessa a plasmalema de cada célula (TAIZ; ZEIGER, 2017). A via apoplasto é a principal rota da água para

chegar à endoderme e a via simplasto ocorre desde a endoderme até o xilema (PAIVA, 2000).

Com relação ao movimento de água para a parte aérea da planta, esse se dá pelo xilema. Existem dois tipos de células de condução de água na planta, que são os elementos de vaso lenhoso e os traqueídeos. Os traqueídeos são células espessas no centro e finas nas pontas, contendo perfurações na parede entre dois traqueídeos. Já os elementos do vaso lenhoso são células menores e mais largas, formando um vaso lenhoso que no seu conjunto forma o xilema (SOFFIATTI, 1974). A condutividade radial na raiz é mais importante representando cerca de 70 a 90% do controle do fluxo na planta e responsável por controlar a absorção de água e a condutividade longitudinal representa cerca de 10 a 30% do controle (STEUDLE; PETERSON, 1998).

Assim como a planta possui sistemas complexos de absorção de água para suprir suas necessidades vitais, existem formas da planta perder água para a atmosfera. A transpiração é considerada a perda de água das plantas para a atmosfera na forma de vapor de água, e é o processo dominante nas relações da planta com a água (SUTCLIFFE, 1971; WINTER, 1976; MILBURN, 1979 *apud* PIMENTEL, 2004). Conforme descrito por Taiz e Zeiger (2017), quando ocorre a transpiração o estado de turgescência e o crescimento das plantas terrestres é submetido a variações consideráveis sendo que quando a planta murcha, a planta pode cessar o seu crescimento.

Existem três formas de transpiração nas plantas, cuticular, lenticular e estomática (SALISBURY; ROSS, 1992). A cutícula apresenta uma zona externa, formada por cutina e a camada cuticular constituída por placas de celulose e cutina. A transpiração pela cutícula é geralmente muito pequena, sendo que nas folhas jovens, a transpiração cuticular pode constituir 1/3 a 1/2 da transpiração total (SEBANEK, 1992). A transpiração lenticular à nível da planta é aparentemente muito baixa (COSTA, 2001). Já a transpiração estomática, que consiste na saída de vapor de água da planta através dos estômatos representa um dos processos mais importantes na interação entre a planta e o ambiente (PIMENTEL, 2004).

Outra forma da planta perder água é na forma líquida, processo chamado de gutação, através dos hidatódios. A água passa através dos espaços intercelulares do parênquima do hidatódio que são originariamente estômatos que permanecem sempre abertos (COSTA, 2001).

2.2 DÉFICIT HÍDRICO

A deficiência hídrica ocorre quando a quantidade de água disponível é menor do que a quantidade necessária para a planta expressar o seu potencial fisiológico, sendo que à medida que o solo seca é mais difícil a absorção de água pela planta, pois há um aumento de retenção e diminuição da disponibilidade de água no solo (BERGAMASCHI, 1992). Os principais prejuízos em plantas cultivadas são o baixo crescimento e desenvolvimento, observados em todo o mundo (SANTOS; CARLESSO, 1998).

O movimento da água do solo para a atmosfera através da planta depende das características físicas do solo. Os solos arenosos possuem menor área superficial e apresentam grandes espaços porosos ou canais entre as partículas. Já os solos argilosos, possuem partículas e poros menores, dificultando a drenagem e retendo a água mais firmemente. Dessa forma, a capacidade de retenção de água é maior em solos de textura argilosa e com alto teor de matéria orgânica e menor em solos de textura arenosa (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Conforme dados de Ortolani e Camargo (1987 *apud* SANTOS; CARLESSO, 1998, p. 288), a deficiência hídrica é responsável por cerca de 60 a 70% da variabilidade final da produção, sendo fundamental o conhecimento das condições meteorológicas durante o período de desenvolvimento das plantas, principalmente quanto aos períodos de baixa precipitação e elevada taxa de evapotranspiração. Diversas respostas fisiológicas são exibidas pelas plantas em situações de estresse hídrico, dentre elas, desenvolvimento da área foliar e senescência das plantas, mudanças no sistema radicular, fotossíntese e acumulação de carboidratos (SANTOS; CARLESSO, 1998).

A senescência das folhas aumenta sob déficit hídrico (WRIGHT *et al.*, 1983). Isto ocorre porque o solo seco não fornece nitrogênio suficiente para suprir as necessidades de crescimento da cultura e o nitrogênio do interior da planta é translocado das folhas mais velhas para os pontos de crescimento (WOLFE *et al.*, 1988). Segundo identificações de Carlesso (1993), o aumento da senescência e menor desenvolvimento da área foliar no dossel vegetativo geram uma limitação muito grande na produtividade da cultura. Quando ocorrem situações de déficit hídrico, o sistema radicular se expande para zonas mais profundas e úmidas do

perfil do solo (SANTOS; CARLESSO, 1998). Lea *et al.* (1995), através de seus estudos em milho, afirmam que a acumulação de ácido abscísico nas raízes é responsável pela restrição do desenvolvimento das folhas ocasionando maior desenvolvimento do sistema radicular. Outra alteração que ocorre nas plantas é a redução da fotossíntese que pode acontecer de três formas: redução na área foliar com menor interceptação da radiação solar, redução da difusão do CO₂ para dentro da folha e pela redução da habilidade dos cloroplastos para fixar o CO₂ (JONES, 1985). De acordo com Taiz e Zeiger (2017), a utilização de carboidratos é afetada devido à deficiência de água, pois altera a eficiência com que os fotoassimilados são convertidos para o desenvolvimento de partes novas na planta.

De forma geral, as plantas cultivadas através irrigação normalmente apresentam menos resistência a situações de déficit hídrico no solo. Quando esse déficit hídrico é gradual ou a deficiência de água no solo ocorre no início do ciclo da planta, mais facilmente ocorre a sua adaptação (SANTOS; CARLESSO, 1998).

2.3 IRRIGAÇÃO

Para se garantir a segurança alimentar das pessoas nesse século é necessário enfrentar uma série de desafios. Segundo dados da Rede Brasileira de Pesquisa em Soberania e Segurança Alimentar e Nutricional (Penssan), no ano de 2022 mais de 125,2 milhões de pessoas estão em situação de insegurança alimentar e mais de 33 milhões de pessoas em situação de fome no Brasil. Para que se possa minimizar essa condição, a expansão da agricultura irrigada desempenha um papel importante para garantir segurança alimentar, com maior escala de produção de alimentos, qualidade e padrões nutricionais exigidos no mundo todo (RODRIGUES; DOMINGUES, 2017).

A irrigação consiste em utilizar equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as plantas. A irrigação está no nosso cotidiano quando consumimos arroz, feijão, legumes, frutas e verduras, que são alimentos produzidos e que demandam de irrigação (ANA, 2021). Segundo dados da FAOSTAT (2022), a área total irrigada no mundo ultrapassa os 341 milhões de hectares, sendo 70% na Ásia e os países com a maior área equipada para irrigação são a China e a Índia, com mais de 70 milhões de hectares cada e o Brasil na sexta

posição com 8,2 milhões de hectares. No Brasil, as regiões com maiores áreas irrigadas encontram-se no Sudeste (39,8%), Sul (25%), Nordeste (18,8%), Centro-Oeste (10,9%) e Norte (5,6%) (IBGE, 2017).

Conforme o último estudo realizado pela Agência Nacional de Águas e disponibilizado no Atlas no ano de 2021, o Brasil possui potencial de expansão da agricultura irrigada, sendo separados em potencial total e potencial efetivo. No potencial total, cerca de 59 milhões de hectares adicionais poderiam ser irrigados. Porém, no potencial efetivo que considera apenas áreas de sequeiro com solo apto, alta infraestrutura e precipitação anual maior que 400 mm, cerca de 13,7 milhões de hectares adicionais poderiam ser utilizados. A tendência é que até o ano de 2040 sejam implantados mais 4,2 milhões de hectares irrigados em território nacional (ANA, 2021).

A irrigação apresenta uma série de benefícios, podendo-se destacar o aumento da produtividade em cerca de 2 a 3 vezes em relação à agricultura de sequeiro, redução do custo de produção por área, utilização do solo durante todo o ano com até três safras, aplicação de defensivos agrícolas e fertilizantes por meio do mesmo equipamento da irrigação, aumento na oferta de alimentos e outros produtos agrícolas, minimização dos riscos de produção devido à sazonalidade, preços mais favoráveis para o produtor rural, maior qualidade e padronização dos produtos agrícolas, produção de sementes e de culturas de alto custo, modernização dos sistemas de produção, com introdução de novas tecnologias e maior viabilidade para criação de polos agroindustriais (ANA; EMBRAPA, 2019).

2.4 MÉTODOS E SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Primeiramente, é importante que saibamos as diferenças e relações existentes entre os métodos e sistemas de irrigação utilizados na agricultura. Conforme Andrade e Brito (2006), método de irrigação é maneira como a água é aplicada nas plantas, sendo basicamente por superfície, aspersão, localizada e subterrânea. Dentro de cada método existem vários sistemas de irrigação que podem ser empregados. A utilização do método e sistema de irrigação adequados representa menos desperdício de água e aumento na eficiência de irrigação (COELHO; FILHO; OLIVEIRA, 2005).

2.4.1 Irrigação por superfície

É o método mais antigo e o mais utilizado em todo o mundo. A história da irrigação começa com a aplicação de água ao solo utilizando-se a sua superfície para o escoamento por gravidade (CUENCA, 1989). Esse método compreende os sistemas por sulcos, inundação e por faixas.

Na irrigação por sulcos ocorre inundação parcial e temporária, com condução da água na superfície do solo, através de pequenos sulcos, durante o tempo necessário para que a água infiltrada seja suficiente à irrigação da cultura. Este sistema apresenta menor custo de implantação e operação do que os sistemas pressurizados e se adapta a maioria das culturas (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). O sistema de irrigação por sulcos pode ser através de sifões quando a declividade for inferior a 0,5%, e por tubos janelados, podendo ser usado em qualquer declividade, pois a condução de água é feita por meio de tubulações com aberturas reguláveis (SOARES; COSTA, 2003). Na irrigação por sulcos, cerca de 30 a 80% da superfície do solo é molhada ocorrendo uma redução nas perdas por evaporação e na formação de crostas superficiais em solos argilosos (SENAR, 2019).

A inundação consiste da inundação total por contenção da água na superfície do solo. Seu uso não é recomendado em culturas sensíveis à saturação do solo na zona radicular e em solos que formam uma crosta dura na superfície quando saturados (FRIZZONE, 2017). A lâmina de água aplicada pode ser intermitente em que ficam acumuladas até serem infiltradas ou drenadas e também pode ser lâmina contínua, vastamente utilizada na cultura do arroz, onde a lâmina é mantida nos tabuleiros (SENAR, 2019). A superfície do terreno deve ser sistematizada, com até 1% de declividade para maior uniformidade e eficiência (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2008). Os tabuleiros podem ser tanto retos, em que as áreas são delimitadas por taipas ou em contorno, compostos por um sistema de diques que seguem as curvas de nível (TESTEZLAF, 2017).

Já a irrigação por faixas compreende a inundação total por condução da água na superfície do solo, por um tempo suficiente para aplicar a quantidade de água necessária à irrigação (PEREIRA *et al.*, 2010). Este sistema se adapta melhor a culturas que cobrem totalmente a superfície do solo. Segundo informações do Senar

(2019), água é aplicada de forma individual em cada faixa por sifões e quando a água é retirada da faixa, o volume acumulado sobre a superfície do solo avança para a parte mais baixa do terreno, infiltra e permite a aplicação da lâmina de irrigação. A precisão no nivelamento e a preparação da topografia são importantes para que se garanta uniformidade da irrigação por faixas. Nesse sistema o comprimento e largura da faixa, a declividade do terreno e vazão da água devem ser considerados para determinar a velocidade de distribuição da água nas faixas (LEVIEN, 2003).

2.4.2 Irrigação localizada

Nesse método de irrigação a água é aplicada somente na zona radicular das culturas, em pequenas intensidades, mas com alta frequência (SILVA; SILVA, 2005). Os sistemas de gotejamento e microaspersão são os mais utilizados e com maior eficiência de aplicação (FRIZZONE, 2017).

No gotejamento, a água é aplicada de forma pontual na superfície do solo (SENAR, 2019). Com o avanço da tecnologia, diversos modelos de gotejadores foram criados procurando atender a diferentes situações. Os mais utilizados atualmente são os gotejadores on-line com vazão regulável ou com múltiplas saídas. Já no in-line, o emissor vem inserido na parede da tubulação, podendo ser labirinto ou outro modelo. Outros dois tipos de gotejadores são os microtubos do tipo Spaghetti instalados na tubulação de polietileno e as mangueiras exudantes compostas por vários poros de 4 a 5 micras de diâmetro ao longo de toda tubulação (BISCARO, 2014). A grande vantagem deste sistema quando comparado com o de aspersão, é que a água não molha a folhagem ou o colmo das plantas reduzindo o risco de doenças (ANDRADE; BRITO, 2006). Segundo Marouelli e Silva (2011) a eficiência de irrigação desse sistema é elevada, variando de 85 a 95%.

Já o sistema de microaspersão surgiu como uma alternativa ao gotejamento, com o objetivo de aumentar a área irrigada através de uma peça com movimento giratório que distribuir a água sobre a superfície do solo. As pressões e vazões são maiores o que gera aumento no consumo de energia em relação aos gotejadores (FRIZZONE, 2017). Conforme Marouelli e Silva (2011), a eficiência desse sistema é em torno de 90%.

Esse sistema pode sofrer influência do vento ocasionando menor uniformidade de aplicação de água, devendo-se observar a velocidade do vento momento da irrigação (SENAR, 2019). Embora a microaspersão não requeira um sistema de filtragem tão rigoroso quanto o gotejamento devido aos orifícios de saída maiores, é importante ter sistemas eficientes de filtragem para evitar o desgaste excessivo dos bocais (BISCARO, 2014).

2.4.3 Irrigação por subirrigação

Neste método a aplicação de água ocorre diretamente na subsuperfície do solo com a formação, manutenção e controle do lençol de água artificial ou natural, mantido a uma profundidade desejada. Essa profundidade está em torno de 0,30 a 0,80 m e propicia a umidade necessária às raízes das plantas (ROBBINS; VINCHESI, 2011). Para Klar (2000) este é um processo especial de irrigação que necessita de terreno plano, com água em abundância e de boa qualidade, tendo como vantagens o custo inicial e de operação mais baixo, não necessita bombeamento e não possui interferência do vento. Porém, requer sistema eficiente de drenagem para as épocas de chuva e se for mal conduzido pode produzir salinização do solo.

2.4.4 Irrigação por aspersão

Neste método de irrigação a água é aplicada na forma de gotas, aspergidas sobre a cultura (MAROUELLI; SILVA, 1998). Desenvolveram-se após a segunda guerra mundial, com a produção de tubos de alumínio mais leves, sistemas de acoplamentos rápidos, facilitando o transporte manual, a operação e o manejo dos equipamentos no campo. Os sistemas de aspersão são classificados em convencionais e mecanizados (FRIZZONE, 2017).

O sistema convencional pode ser subdividido em fixo, semifixo e portátil (ANDRADE; BRITO, 2006). Conforme Klar (2000) o sistema fixo apresenta custo inicial elevado, justificando seu uso em pequenas áreas, culturas de alto valor econômico e em locais onde não há disponibilidade de mão-de-obra. As linhas

principais e laterais permanecem na mesma posição, podendo estar enterradas ou sobre o solo, durante a irrigação de toda a área (ANDRADE; BRITO, 2006).

No sistema semifixo, as linhas principais permanecem fixas e apenas as laterais deslocam-se nas diferentes posições da área irrigada (FRIZZONE, 2017). Em condições de pouco vento e quando não se exige uniformidade de irrigação, é possível utilizar canhões o que permite a irrigação de áreas maiores (ANDRADE; BRITO, 2006).

O sistema portátil de aspersão é aquele em que o equipamento pode ser transportado de um local para o outro, quando não há equipamentos suficientes para abranger toda a área irrigada (BISCARO, 2009). Esse sistema é mais utilizado quando se busca minimizar o custo inicial dos equipamentos. Normalmente são quatro linhas laterais operando ao mesmo tempo, sendo que o sistema deve ser capaz de irrigar toda área em um tempo igual ou inferior ao turno de rega projetado (FRIZZONE, 2017).

Já os sistemas mecanizados, possuem como objetivo principal a redução de mão-de-obra na movimentação dos tubos, que é cara e escassa, e possibilitar a irrigação de grandes áreas (BISCARO, 2009). Os sistemas mecanizados de aspersão podem ser divididos em autopropelidos e sobre rodas podendo estes ser em deslocamento lateral ou pivô central (KLAR, 2000).

No sistema autopropelido, ocorre o deslocamento de forma contínua e linear em faixas irrigadas. Em geral, o aspersor utilizado é do tipo canhão, com alcance superior a 30 metros. Os primeiros sistemas fabricados no Brasil eram tracionados com cabo de aço, porém, atualmente os equipamentos mais comuns no mercado são aparelhos tracionados por mangueira sendo muito utilizado para irrigação de cana-de-açúcar, milho e café. O aspersor canhão pode ser substituído por longos braços tubulares, conhecidos como barra irrigadora (FRIZZONE, 2017).

No sistema por deslocamento lateral ocorre a movimentação contínua e com mesma velocidade das torres, em posição transversal e na direção longitudinal da área. A sucção de água do canal ou linha principal é feito através de uma bomba que se desloca junto com toda a lateral, o que requer conexões elétricas complexas ou a utilização de motores de combustão interna. Segundo Klar (2000), esse sistema apresenta as vantagens de não precisar ser transportado de uma posição a outra, boa distribuição de água, irrigação de culturas de porte elevado e baixa mão de obra.

O método de aspersão no sistema de pivô central é constituído por uma base no centro do círculo a ser irrigado, pela adutora ligada à fonte de água, pela linha de distribuição com os aspersores e o sistema automatizado. Opera somente em círculo, com velocidade constante e programada (MAROUELLI; SILVA, 1998). Segundo Bernardo (2005), o primeiro pivô central foi desenvolvido no ano de 1952 no Estado do Colorado, Estados Unidos, começando a ser utilizado com regularidade apenas em 1961.

Atualmente, esse é o método que mais irriga áreas no Brasil, ultrapassando a marca de 1,6 milhões de hectares sendo comprovada sua alta eficiência na aplicação de água ainda mais com a incorporação de novas tecnologias nesses equipamentos, como os emissores LEPA (GUIMARÃES; LANDAU, 2020). Segundo Silveira *et al.* (2013), esse tipo de irrigação possibilita a produção até três cultivos ao longo do ano agrícola.

2.5 ELEMENTOS QUE AFETAM A ESCOLHA E A EFICIÊNCIA DA IRRIGAÇÃO

Existem vários fatores que interferem na escolha do sistema de irrigação ideal para cada situação que garanta eficiência e qualidade de aplicação. Os elementos mais importantes são a disponibilidade de recursos hídricos, as condições topográficas do terreno, o solo, o tipo de cultura que se deseja irrigar e o clima (ANDRADE; BRITO, 2006).

Os recursos hídricos devem ser avaliados em função da vazão disponível ou do volume total, dependendo do local de captação (MAROUELLI; SILVA, 2011). Quando a altura de bombeamento da água aumenta é recomendado a utilização de um sistema de irrigação mais eficiente para reduzir o consumo de energia. A qualidade da água utilizada também deve ser avaliada, pois fontes com concentração de sólidos em suspensão não são recomendadas em sistemas de gotejamento, mas poderiam ser utilizados na irrigação por superfície (ANDRADE; BRITO, 2006). Outro fator é o custo da água em que o maior custo exige maior eficiência de irrigação, podendo ser obtido com sistemas localizados e de aspersão (FRIZZONE, 2017).

Quanto às condições topográficas do terreno, áreas retangulares facilitam a utilização de qualquer sistema de irrigação, exceto pivô central, que se beneficia de

áreas circulares. Porém em áreas pequenas e com fronteiras irregulares é mais fácil utilizar a aspersão convencional e a irrigação localizada (FRIZZONE, 2017). Conforme informações do Senar (2019) o sistema por aspersão através de autopropelido pode operar em declives de até 20% para que não ocorra escoamento superficial, enquanto que os pivôs centrais operam melhor em áreas planas, mas toleram áreas com declividade de até 15%. Por medidas de segurança, é recomendado que esses sistemas sejam implantados em áreas com declividade máxima de 30%, fazendo uso de válvulas reguladoras de pressão e de vazão. Já a irrigação superficial, na maioria dos casos requer a sistematização e nivelamento do terreno, aumentando os custos de irrigação o que limita seu uso em áreas muito declivosas (KLAR, 2000).

Outro elemento a ser observado são as condições do solo. Os sistemas de irrigação por superfície podem ser utilizados de forma eficiente em solos com grande capacidade de água disponível do solo sem restringir a aeração. Já em solos com baixa capacidade de água disponível as irrigações precisam ser frequentes e com pequena lâmina, utilizando sistemas de irrigação por aspersão e localizada (FRIZZONE, 2017). Devem ser consideradas as velocidades de infiltração de cada solo e a aeração, sendo que a aplicação de água a uma intensidade inferior à velocidade de infiltração resulta em um menor teor de água no perfil e em uma maior aeração, além de evitar o escoamento superficial (TESTEZLAF, 2017). Segundo Frizzone (2017) a salinidade no solo tende a se intensificar se houver irrigação com água salina, devendo-se ter, portanto, um sistema de drenagem subterrânea em qualquer solo salino.

Os aspectos culturais mais importantes que devem ser analisados são os métodos de plantio, altura da planta, estágio de crescimento, profundidade das raízes doenças e pragas (KLAR, 2000). Conforme Andrade (2001), em culturas que cobrem toda a superfície do solo, o método de aspersão é mais eficiente. Em culturas anuais de maior porte, como o milho e cana-de-açúcar, a água deve ser aplicada por aspersão acima da vegetação, podendo ser utilizado o sistema do tipo LEPA. Segundo Testezlaf (2017), exceto a aspersão, os outros sistemas de irrigação não apresentam nenhuma restrição quanto ao porte da cultura. Para culturas que facilmente desenvolvem doenças em condições de alta umidade deve-se evitar o emprego de aspersão. Em culturas com sistema radicular agressivo a exploração do

volume de solo é maior e por isso requerem irrigações menos frequentes e com maiores lâminas (FRIZZONE, 2017).

Os elementos climáticos que mais influenciam a irrigação são a temperatura do ar e a umidade relativa do ar, a precipitação, geadas e velocidade do vento (KLAR, 2000; FRIZZONE, 2017). Os sistemas por aspersão devem ser evitados em condições de baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas do ar, pois há grandes perdas de água por evaporação, sendo que perdas maiores que 15% podem ser consideradas altas (MAROUELLI; SILVA, 1998; KLAR, 2000). Nas regiões áridas e semiáridas a irrigação é obrigatória, pois é praticamente impossível produzir sem irrigação. Porém em regiões mais úmidas, a irrigação pode ser suplementar às chuvas, utilizando sistemas de menor custo (ANDRADE; BRITO 2006). A irrigação também pode ser utilizada para proteção de determinadas plantas em regiões com risco de geada (TESTEZLAF, 2017). Conforme Marouelli e Silva (1998) em estudos sobre os danos em hortaliças, afirmam que os sistemas por aspersão são os únicos que podem ser utilizados para minimizar esses danos devido aos processos de troca de calor envolvidos entre a água, planta e atmosfera. O vento, por sua vez, tem grande influência sobre a uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão (AZEVEDO *et al.*, 2000).

2.5.1 Vento e irrigação por aspersão

A irrigação por aspersão é um dos métodos mais usados nos últimos anos, devido às vantagens de não ser necessária a intervenção no relevo, adaptação a diferentes topografias, permite controle da lâmina e volume de água aplicado (SANTORO, 2021). Porém, é um sistema que é muito influenciado pela ação do vento, sendo constatado através de várias pesquisas que o aumento da velocidade do vento provoca diminuição da uniformidade de distribuição de água e redução da área coberta pelo aspersor (AZEVEDO *et al.*, 2000). Para Fronza (2005) ventos acima de 8 km/h limitam o uso de irrigação por aspersão.

Devido à possibilidade de ocorrência de elevadas velocidades de vento durante a irrigação, a uniformidade de aplicação em condições meteorológicas adversas deve ser conhecida, com o objetivo de obter níveis desejáveis de produtividade, com menor consumo de água e menores impactos ambientais da

agricultura irrigada (FARIA *et al.*, 2016; MANTOVANI *et al.* 2009). Conforme descrito por Justi e Saizaki (2015), a uniformidade de distribuição de água na irrigação pode ser obtida de várias maneiras, sendo que o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) é o mais difundido e utilizado. Os coeficientes de uniformidade considerados satisfatórios para irrigação por aspersão devem estar acima 80% (BERNARDO, 1995; KELLER & BLIESNER, 1990), podendo ser menor que esta porcentagem em áreas que recebem chuvas durante o período de irrigação, em plantas que possuem sistema radicular profundo ou quando o custo de implantação de um sistema mais eficiente for maior que os resultados da cultura (GOMES, 1994).

Conforme Azevedo *et al.* (2000) em estudos com canhão hidráulico sobre espaçamento entre aspersores e velocidade do vento, o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen diminuiu de 82 para 43% quando a velocidade do vento aumentou de 1 para 7 m/s, respectivamente, para o espaçamento de 54 x 96 m. Já com espaçamento entre aspersores de 96 x 96 m, o coeficiente reduziu de 73 para 2%, quando se elevou a velocidade do vento de 1 para 7 m/s. Além da velocidade do vento elevada, o tamanho das gotas menor também provoca maior distorção, reduzindo os valores de coeficiente. Em aspersores menores, os espaçamentos de 12 x 12, 18 x 12 e 18 x 18 m forneceram um coeficiente superior a 80%, para velocidades de vento inferiores a 4 m/s (GOMIDE *et al.*, 1980).

Já Playán *et al.* (2006), utilizou modelos balísticos com uso de três modelos de aspersores para verificar a uniformidade de distribuição de água, concluindo que em todos os casos a uniformidade foi afetada com o aumento da velocidade do vento, confirmando a alta influência do vento na irrigação. Outro fator que o vento tem influência é na ocorrência de doenças devido ao molhamento da planta, em que a ocorrência de vento acelera a evaporação no dossel da cultura e, desta forma, influencia para que ocorra uma menor disseminação da doença (MONTEIRO; SENTELHAS; CHIAVEGATO, 2006).

Conforme Smajstrla e Zazueta (2003), a perda de água por evaporação é aquela em que parte da água evapora após ser pulverizada no ar pelo equipamento e a perda por arraste como a ocorrida quando o vento leva gotas para fora da área irrigada, ou seja, em áreas onde as plantas de interesse não tem acesso. Em condições normais, as perdas por arraste e evaporação variam entre 5% e 10%, e em condições severas, estas perdas podem ser muito maiores (KELLER; BLIESNER, 1990). Os fatores que influenciam na parte da água perdida por

evaporação são a umidade relativa do ar, temperatura do ar, temperatura da água de irrigação, altura dos aspersores, tamanhos das gotas e a velocidade do vento (TARJUELO *et al.*, 2000).

De acordo com estudo desenvolvido por Caliman (2020) sobre perdas por evaporação e arraste em pivô central a velocidade do vento é a variável mais atuante quando se trata de uniformidade e perdas, seguido pela temperatura do ar. Quando avaliados diferentes horários, os menores e maiores valores de perdas por evaporação e arraste foram observados às 00h00 min e 12h00 min, respectivamente. Para que a velocidade do vento limitante à irrigação por aspersão não seja um valor subjetivo de cada autor e de diferentes locais do país, foi instituída uma norma técnica que é a NBR ISO 11545 (ABNT, 2016) em que o limite de velocidade do vento para irrigação por aspersão é de 3,0 m/s ou 10,8 km/h.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizado o download dos dados horários de velocidade do vento no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de todas as estações meteorológicas automáticas localizadas nos Estados de Goiás, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo, desde a data de fundação de cada estação até a data de 31/12/2021. Estas estações foram selecionadas devido ao fato dos quatro Estados representarem 65,4% de toda área irrigada do Brasil (TABELA 1).

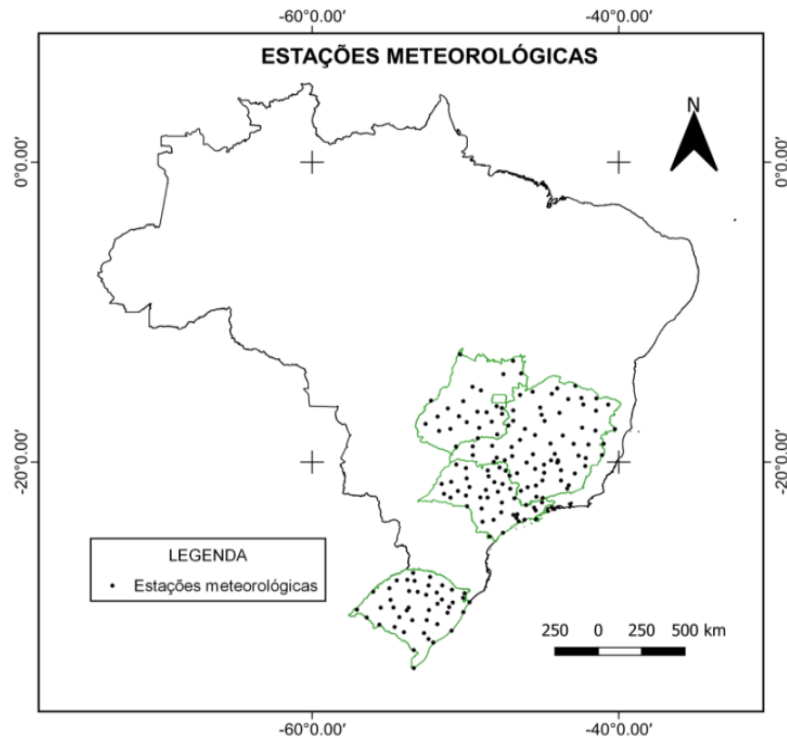
Tabela 1 - Estados brasileiros com maior área irrigada e percentual relativo ao total de área irrigada no ano de 2022.

Estados	Área irrigada (ha)	Percentual
Goiás	669.912	8,2%
Minas Gerais	1.144.428	14,0%
São Paulo	2.418.298	29,5%
Rio Grande do Sul	1.128.687	13,8%
Total	5.361.325	65,4%

Fonte: adaptado de ANA (2022).

No total foram estudados 176 locais, estando 25 estações localizadas em Goiás, 67 em Minas Gerais, 44 no Rio Grande do Sul e 40 em São Paulo (FIGURA 1). Os dados meteorológicos do INMET são gratuitos e de livre acesso para consulta no site do instituto.

Figura 1- Localização das estações meteorológicas em GO, MG, RS e SP, utilizadas no estudo.



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Os dados de velocidade do vento foram organizados em planilhas eletrônicas. Algumas planilhas continham dados inválidos que foram excluídos e os demais registros contados, organizados por mês e ano, através de uma planilha dinâmica, o que representa o número total de horas, uma vez que as estações meteorológicas automáticas do INMET fazem um registro a cada hora. A contagem dos dados se dá em função de haver falhas nas séries de dados, o que pode subestimar o risco de velocidades do vento limitantes à irrigação por aspersão.

Após isso, foi feita uma filtragem dos dados com velocidade do vento maior que $10,8 \text{ km h}^{-1}$ ($3,0 \text{ m s}^{-1}$). Os horários em que essa condição ocorre foram considerados de risco à irrigação por aspersão, sendo atribuído valor de 1. Já para os horários sem risco foi atribuído valor de 0. Foi feita uma contagem desses valores de 1 e 0 com auxílio de uma planilha dinâmica, organizadas por horário, mês e ano.

Para calcular o percentual de risco de velocidade do vento limitante mensal e horário, foi utilizada a seguinte equação:

$$R = \frac{HR}{HT}$$

Em que, R representa o risco de ocorrência de vento limitante no período analisado, HR representa o número de horas risco, ou seja, em que a velocidade do vento está acima de 3 m s^{-1} no período e HT o número total registros no período. Com estes dados de risco, foi feita uma comparação entre os meses do ano e diferentes horários do dia para cada Estado.

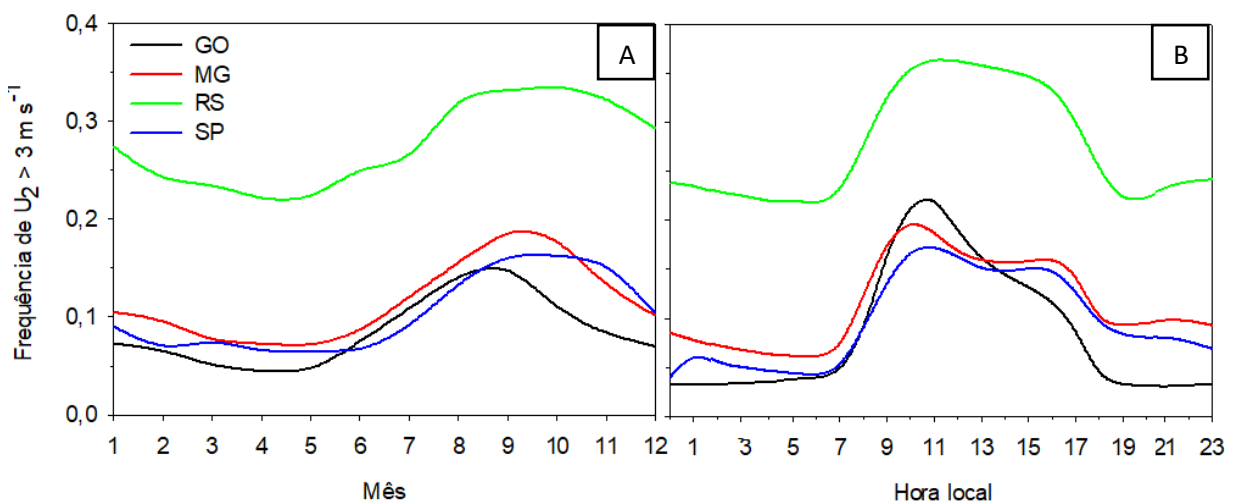
A seguir, esses dados foram agrupados em uma planilha resumo e separados através de tabela dinâmica em dados horários, mensais e anuais das estações meteorológicas de cada Estado. A partir disso, foi realizada uma análise de frequência dos resultados por *Boxplot* e gráficos de linha, utilizando o software Sigmaplot para comparação entre os estados, meses do ano e diferentes horários com maiores ocorrências de velocidade do vento limitantes à irrigação por aspersão.

Além disso, os dados de ocorrência de vento de cada local foram agrupados em quatro trimestres e também em quatro turnos do dia e representados em mapas de cada Estado através do software QGis, sendo possível classificar os locais em cores baseados em ocorrências muito baixas (azul), baixas (verde), médias (amarelo), altas (laranja) e muito altas (vermelho). Para fins de classificação, as regiões em que o risco de ocorrência de velocidades limitantes foi menor que 20% foram classificados como muito baixo. Locais com risco entre 20% e 40% são classificados como baixos, entre 40% e 60% como riscos médios, entre 60% e 80% riscos altos e acima de 80% riscos considerados muito altos em se utilizar irrigação por aspersão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As frequências de velocidades do vento acima de 3 m s^{-1} são muito semelhantes nos estados de Goiás, Minas Gerais e São Paulo que a partir do mês de junho até novembro há uma maior frequência de ventos limitantes à irrigação por aspersão (FIGURA 2). No estado de Goiás as frequências variam de 0,07 a 0,08 com valor máximo de 0,15 entre os meses de agosto e setembro. Em Minas Gerais os valores variam de 0,09 a 0,13 com máximo de 0,19 sendo observado no mês de setembro. Já o estado de São Paulo tem valores de velocidades acima do limite que variam de 0,07 a 0,15 com esse número mantendo-se elevado desde o mês de setembro até novembro quando ocorre redução. O destaque com as maiores frequências de ventos limitantes é o estado do Rio Grande do Sul, que a partir do mês de abril apresenta crescimento no percentual com uma pequena queda a partir do mês de novembro. Os valores variam desde 0,22 até 0,32 com um risco que se mantém alto e constante a partir de agosto até novembro.

Figura 2 - Frequências de velocidades do vento ($U_2 > 3 \text{ m s}^{-1}$) nos diferentes meses do ano (A) e horários do dia (B) nos estados de Goiás, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo.



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Conforme a resolução da ANEEL (2010) o horário de funcionamento do sistema influencia diretamente na conta de energia, pois em horários das 18h às 21h, exceto sábados, domingos e feriados o valor da tarifa de consumo é cerca de quatro vezes maior comparado aos demais horários. Esse é um fator extremamente

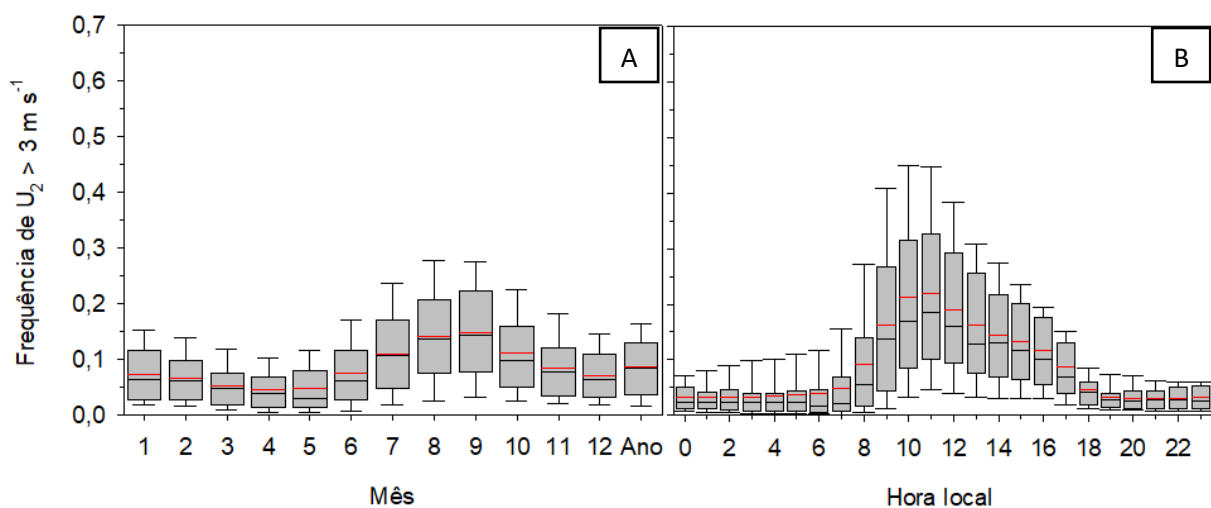
negativo, pois é um período que apresenta poucas limitações quanto a altas velocidades do vento, mas que não pode ser aproveitado devido ao custo energético.

4.1 GOIÁS

Os riscos de ocorrência de velocidades do vento limitantes à irrigação por aspersão no estado de Goiás são maiores entre os meses de julho a outubro, sendo o mês de setembro o mais limitante em que os valores variam de 0,07 a 0,22 nos diferentes locais do estado, com a média das estações indicando frequência de 0,15. Nos demais meses do ano o risco de velocidades do vento limitantes é menor, não ultrapassando 0,12 na maioria das estações (FIGURA 3).

Quando analisamos os horários do dia no estado de Goiás é possível perceber que o período das 8:00 horas da manhã até as 17:00 horas da tarde é o que apresenta as maiores velocidades do vento limitando a irrigação por aspersão, com destaque para as 11:00 horas da manhã em que a maioria das estações registrou frequências que variam de 0,10 a 0,33 com valores médios de 0,22.

Figura 3 - Análise de boxplot (percentis 5, 25, 50, 75 e 95%) e médias (linha vermelha) da frequência de velocidade do vento $> 3 \text{ m s}^{-1}$ ao longo dos meses do ano (A) e horários do dia (B) para o estado de Goiás.

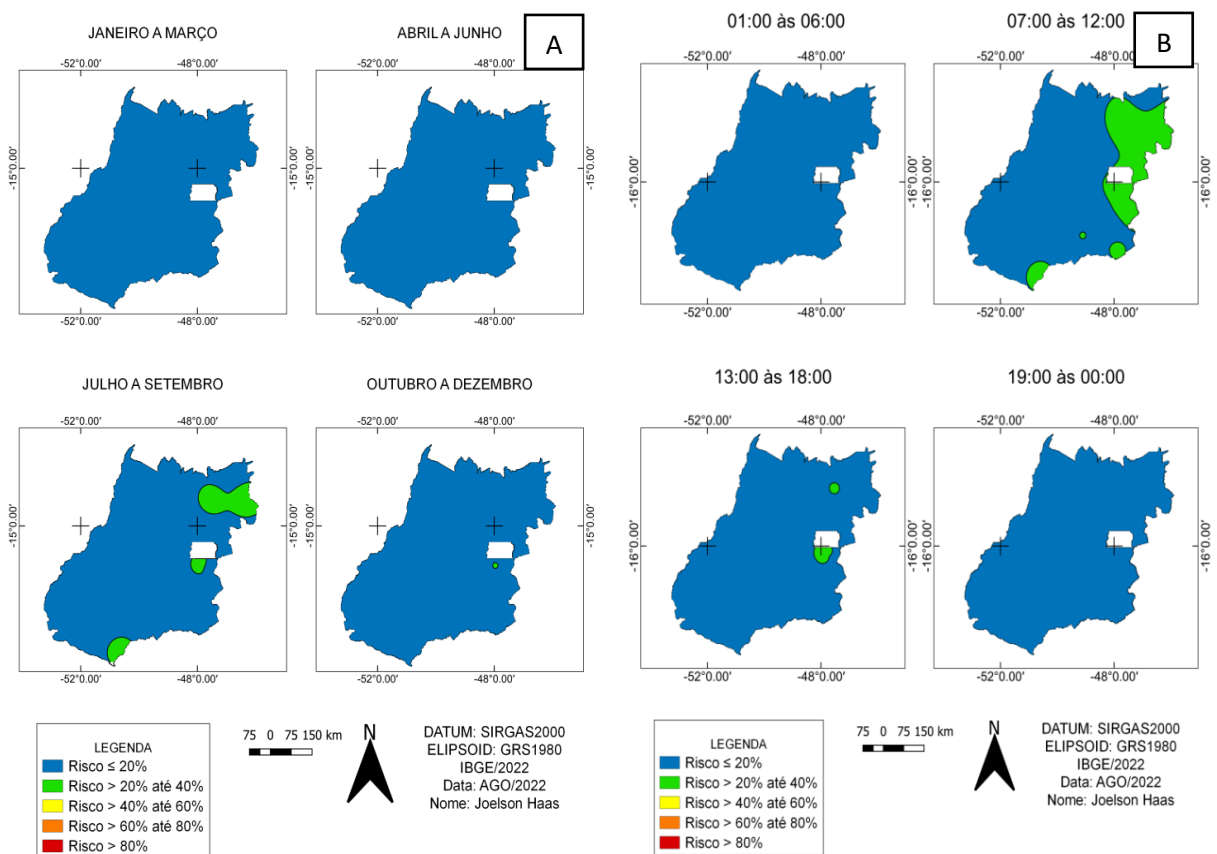


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Resultado semelhante também foi encontrado por Liberato (2019), em que no período das 06:00 às 19:00 horas a velocidade do vento foi maior que no período

noturno. Isso pode ser explicado devido ao aquecimento do solo durante o dia, o qual também vai aquecendo a parcela de ar, que sobe e é ocupado por outro ar, originando um gradiente térmico que forma um gradiente de pressão, causando o deslocamento do ar da zona de maior pressão para a de menor pressão. Como durante a noite esse gradiente térmico é menor, a velocidade do vento também é menor (SENAMBI, 2004).

Figura 4 - Risco trimestral (A) e horário (B) de ocorrência de velocidades do vento limitantes à utilização de irrigação por aspersão no estado de Goiás.



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

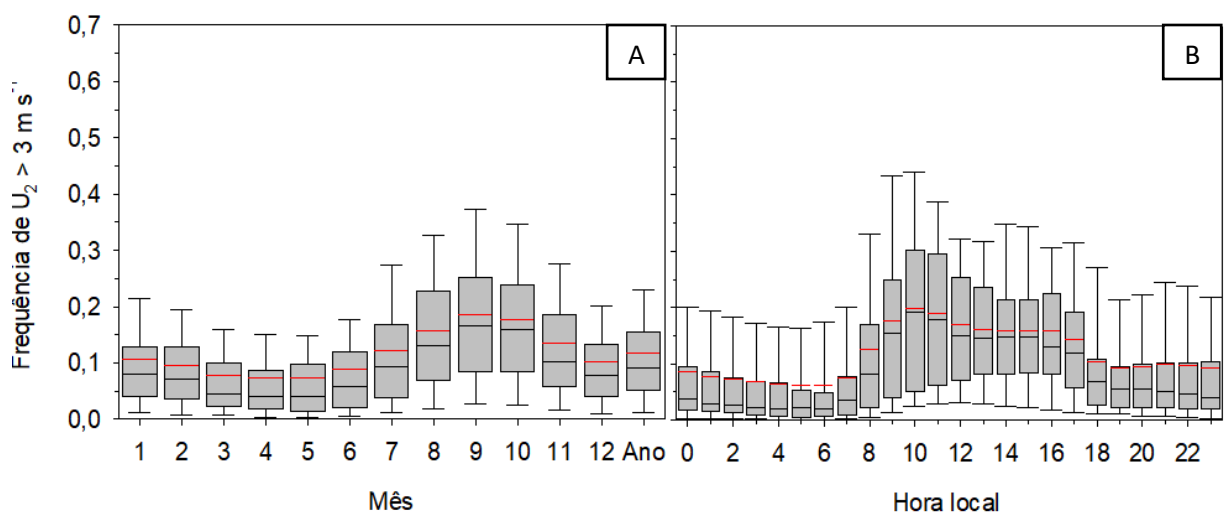
É possível verificar que as regiões nordeste e sudeste do estado de Goiás são as que apresentam maiores riscos em se utilizar a irrigação por aspersão entre os meses de julho a setembro e também nos horários das 07:00 às 12:00, com risco que pode variar de 20% até 40%. Nos demais meses e horários do dia este risco é sempre menor que 20% em todo o estado de Goiás (FIGURA 4). Isso possivelmente ocorre pelo fato dessas regiões terem maior altitude e com poucas barreiras

impostas pelo relevo, não impedindo a circulação de ventos (CARDOSO; BITENCOURT; MENDONÇA, 2012).

4.2 MINAS GERAIS

No estado de Minas Gerais, o período do ano que apresenta maior risco de ocorrência de velocidades do vento limitantes à utilização de irrigação por aspersão está entre os meses de julho a novembro, sendo que o mês de setembro apresenta valores médios de 0,19, com a maioria das estações no intervalo de risco que varia de 0,08 até 0,25. Nos demais meses do ano, o risco por altas velocidades do vento é menos expressivo, com a menor média de risco sendo observada no mês de abril. No que se refere aos horários do dia é possível verificar que as maiores ocorrências de velocidade do vento limitantes à irrigação por aspersão estão compreendidos entre as 08:00 horas da manhã até as 17:00 horas da tarde, com destaque para as 10:00 horas da manhã que apresenta uma alta variabilidade entre as estações, apontando frequência de velocidades limitantes média em torno de 0,20, podendo variar desde 0,05 até 0,30 com algumas poucas estações chegando a frequências de 0,44 em se utilizar o método de aspersão neste horário (FIGURA 5).

Figura 5 - Análise de boxplot (percentis 5, 25, 50, 75 e 95%) e médias (linha vermelha) da frequência de velocidade do vento $> 3 \text{ m s}^{-1}$ ao longo dos meses do ano (A) e horários do dia (B) para o estado de Minas Gerais.

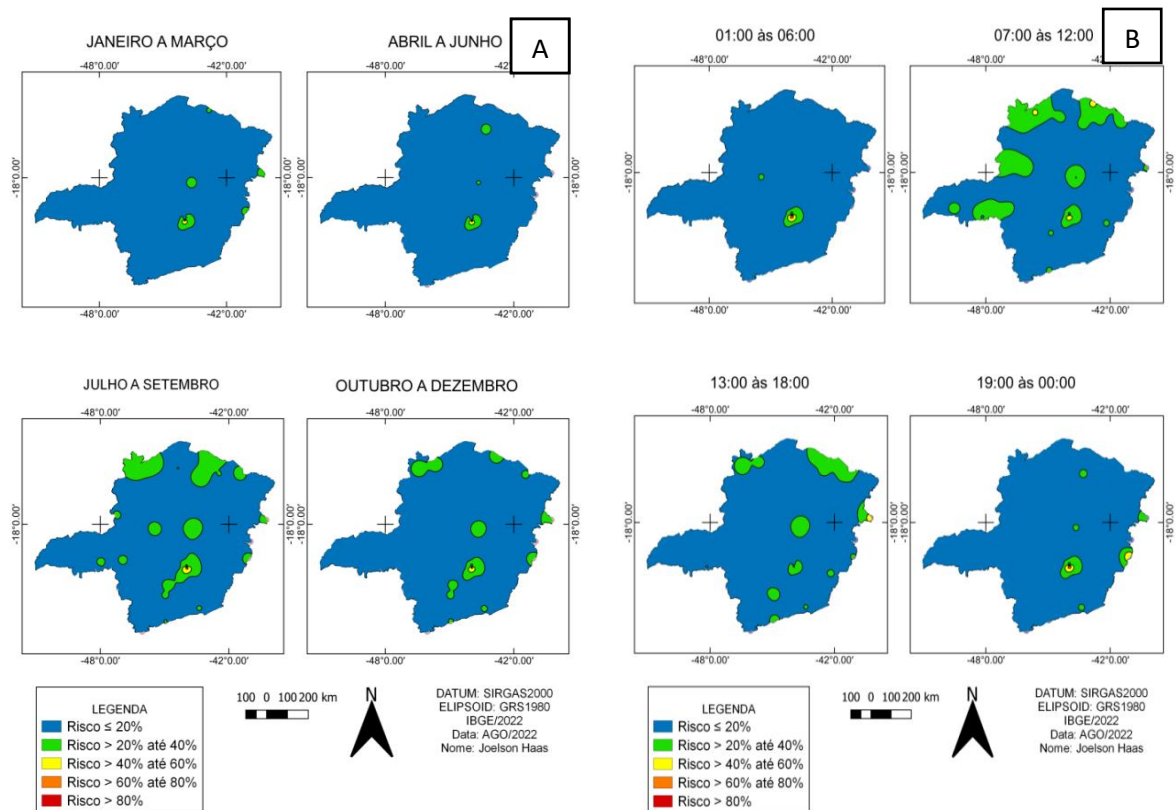


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Esses resultados concordam com um estudo realizado por De Paula *et al.* (2017) no estado de Minas Gerais, em que a espacialização das velocidades do vento demonstrou claramente a variação sazonal das magnitudes de velocidade ao longo do ano, apresentando magnitudes maiores no mês de setembro e menores no mês de março. Outro trabalho realizado no município de Uberaba – MG mostrou que há tendência estatisticamente significativa de aumento na velocidade do vento para os meses de abril, maio, junho e julho (ALENCAR *et al.*, 2012).

No estado de Minas Gerais a velocidade do vento apresenta grande variabilidade espacial tanto nos trimestres do ano como nos diferentes horários do dia, com riscos que podem chegar a 60% em determinadas regiões (FIGURA 6). Conforme Lemos Filho (2010), este é um fato que pode ser explicado pela característica da topografia altamente irregular no estado, já que a velocidade do vento é um elemento diretamente afetado pelas condições de relevo predominante da superfície terrestre.

Figura 6 - Risco trimestral (A) e horário (B) de ocorrência de velocidades do vento limitantes à utilização de irrigação por aspersão no estado de Minas Gerais.

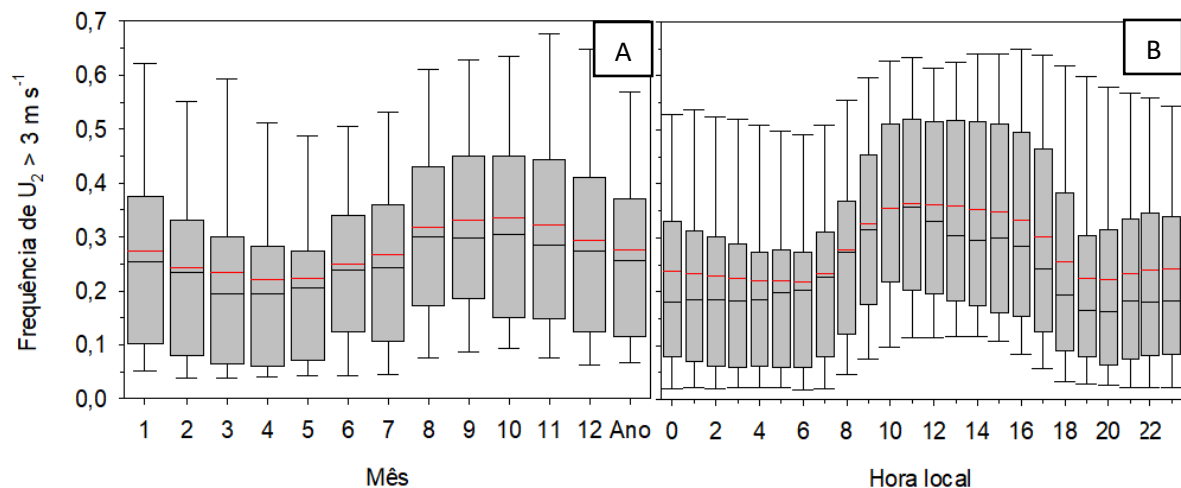


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

4.3 RIO GRANDE DO SUL

O Rio Grande do Sul é o estado que mais apresentou ocorrências de velocidade do vento limitante ao uso do método de irrigação por aspersão. É possível verificar uma alta variabilidade de dados entre as estações meteorológicas deste estado, com destaque para o mês de outubro que além de apresentar uma frequência média elevada de cerca de 0,34, podem haver muitos locais com percentual de risco de até 0,45 e algumas poucas estações onde o risco de se utilizar a irrigação por aspersão neste período chega a 0,67, ou seja, uma condição totalmente desfavorável em se utilizar este método (FIGURA 7).

Figura 7 - Análise de boxplot (percentis 5, 25, 50, 75 e 95%) e médias (linha vermelha) da frequência de velocidade do vento $> 3 \text{ m s}^{-1}$ ao longo dos meses do ano (A) e horários do dia (B) para o estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: elaborado pelo autor (2022).

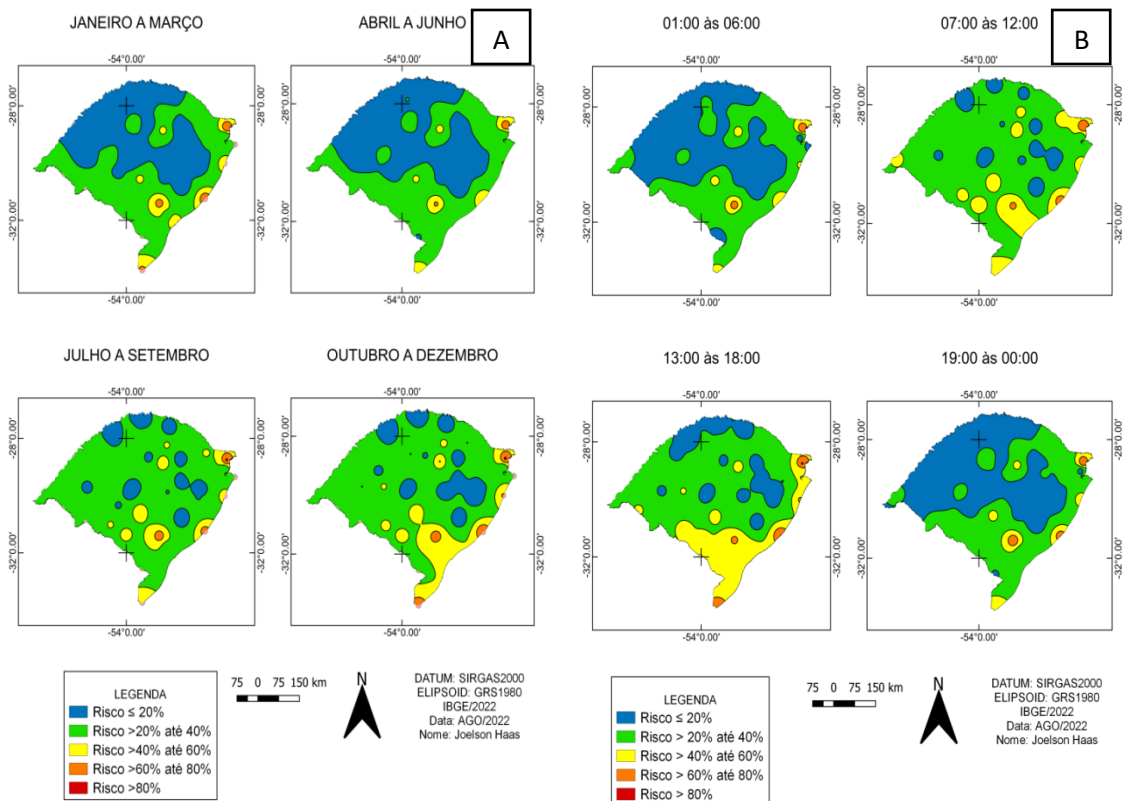
Ainda conforme a Figura 7, quanto aos horários do dia é possível perceber que as maiores ocorrências de velocidades limitantes estão no período das 8:00 horas da manhã até as 18:00 horas da tarde, também com uma alta variabilidade entre as estações meteorológicas. As 11:00 horas é o período em que há maiores riscos em se utilizar a irrigação por aspersão, com um frequência média de 0,36, mas que dependendo da região do estado pode chegar até 0,63 neste horário. Uma característica deste estado é que mesmo à noite a ocorrência de velocidades do vento limitantes é bastante alta, com 0,22 de frequência.

Resultados semelhantes foram encontrados por Streck *et al.* (1999), em que foram analisados apenas quatro anos e observou-se que a velocidade média do

vento em Santa Maria, RS, foi maior no período entre 10:00 horas e 18:00 horas, também com uma tendência de valores maiores na primavera e menores no outono e inverno. Este resultado é confirmado pelo estudo realizado sobre o potencial eólico no Rio Grande do Sul, mostrando que no outono as velocidades do vento são menores e na primavera maior velocidade média (SEMC, 2014).

É possível verificar que entre os meses de janeiro a junho os riscos são mais baixos na maior parte do norte estado, com riscos que não ultrapassam os 20% e com a região da metade sul com riscos mais elevados, com risco variando entre 20 e 40% e pequenas regiões de serra e litoral com riscos que podem chegar a 60%. Essa mesma condição é observada entre os horários de 19:00 horas da noite até 06:00 horas da manhã. Por outro lado, entre os meses de julho a dezembro há uma maior ocorrência de velocidades do vento limitantes à irrigação por aspersão em todo estado do RS, com destaque para o sul do estado. A mesma condição pode ser visualizada entre os horários das 07:00 horas da manhã até 18:00 horas da tarde (FIGURA 8).

Figura 8 - Risco trimestral (A) e horário (B) de ocorrência de velocidades do vento limitantes à irrigação por aspersão no estado do Rio Grande do Sul.

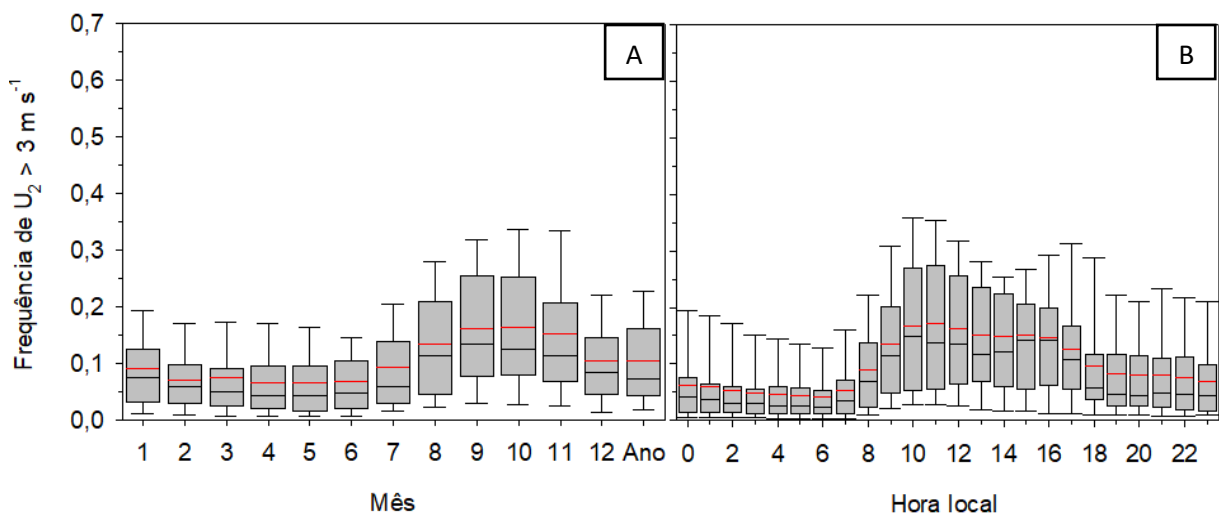


Fonte: elaborado pelo autor (2022).

4.4 SÃO PAULO

Podemos verificar que as maiores velocidades de vento limitantes ao uso da irrigação por aspersão no estado de São Paulo concentram-se nos meses de agosto a novembro, com destaque para os meses de setembro e outubro em que a média de ocorrências de vento limitante está em 0,16, porém com valores que podem variar de 0,08 a 0,25 em alguns locais do estado. É possível observar também uma baixa variabilidade dos dados entre as diferentes estações, isso representa que a maioria dessas estações meteorológicas apontam ocorrências de vento semelhantes ao longo do ano. Quanto aos horários do dia, é possível verificar que o intervalo das 08:00 até as 18:00 horas é aquele em que se tem os maiores percentuais de velocidade do vento acima do limite, com maior frequência às 11:00 horas da manhã, apresentando média de 0,17. A média de ocorrências se mantém alta até a meia-noite, com posterior queda. A baixa variabilidade entre as estações durante a noite indica que em todo estado há uma condição homogênea de velocidade do vento acima de 3 m s^{-1} (FIGURA 9).

Figura 9 - Análise de boxplot (percentis 5, 25, 50, 75 e 95%) e médias (linha vermelha) da frequência de velocidade do vento $> 3 \text{ m s}^{-1}$ ao longo dos meses do ano (A) e horários do dia (B) para o estado de São Paulo.



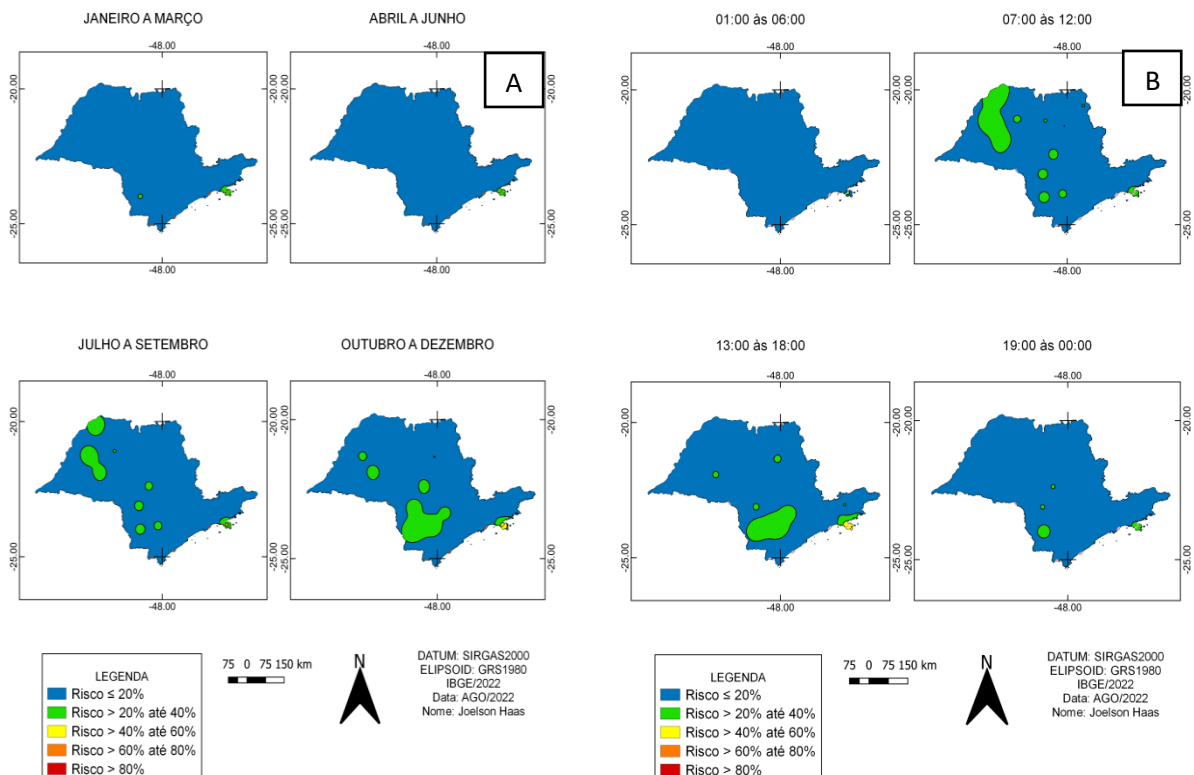
Fonte: elaborado pelo autor (2022).

Esses dados corroboram com estudo realizado por Munhoz e Garcia (2008) em que determinaram a velocidade predominante do vento para a região de Ituverava – SP, observando que de agosto a novembro os ventos sopram com intensidade superior à média, sendo que o mês de setembro é o de ventos com

velocidades mais elevadas. De janeiro a julho os ventos são menos intensos e o mês de abril o de menores velocidades médias.

Os riscos de ocorrência de vento limitantes à irrigação por aspersão ficam abaixo de 20% de janeiro a junho em todo estado de São Paulo. Dos meses de julho a dezembro esse risco pode chegar a 40% em algumas regiões, principalmente no sul do estado. Quanto aos horários do dia, o estado de São Paulo possui limitações deste método de irrigação abaixo de 20% entre os horários das 19:00 horas até as 06:00 horas da manhã. No horário das 07:00 horas até as 12:00 horas, a região noroeste do estado apresenta maiores riscos que variam de 20 a 40% enquanto as demais regiões possuem riscos mais baixos. Já no horário das 13:00 horas até as 18:00 os maiores riscos se concentram na região sul e noroeste do estado (FIGURA 10).

Figura 10 - Risco trimestral (A) e horário (B) de ocorrência de velocidades do vento limitantes à irrigação por aspersão no estado de São Paulo.



Fonte: elaborado pelo autor.

De encontro com esses resultados está o estudo realizado por Alves *et al.* (2008) no município de Ribeirão Grande – SP, região sul do estado, em que houve

ocorrências de maiores velocidades médias do vento nos meses de setembro a dezembro, ultrapassando os 3 m s^{-1} .

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste estudo foi possível concluir que o Rio Grande do Sul apresenta as maiores limitações em utilizar o método de irrigação por aspersão devido a altas velocidades do vento, com destaque para o mês de outubro e para o horário das 11:00 horas com as maiores velocidades do vento limitantes.

O estado de Minas Gerais é o estado com as menores limitações devido altas velocidades do vento, principalmente entre os meses de dezembro a junho.

Goiás, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e São Paulo possuem maiores limitações em utilizar o método de irrigação por aspersão devido a altas velocidades do vento entre os meses de julho a outubro, sendo setembro o mês mais limitante em GO e MG e outubro em RS e SP.

Quanto aos horários do dia, nos quatro estados, as maiores limitações concentram-se no intervalo das 08:00 horas da manhã até as 18:00 horas da tarde, com riscos mais elevados entre as 10:00 e 12:00 horas, devendo ser evitada a utilização da aspersão neste período.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11545: **Equipamentos de irrigação agrícola - Máquinas de irrigação pivô central e linear móvel, equipadas com sprayers ou aspersores - Determinação da uniformidade de distribuição de água**. Rio de Janeiro, 2016.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de Informações da Geração (BIG)**, 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>.
- ALENCAR, L.P *et al.* Evolução temporal da evapotranspiração de referência e sua sensibilidade aos principais elementos climáticos na cidade de Uberaba - MG. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, p.159- 166, 2012.
- ALVES, R. R. *et al.* **Caracterização da direção e velocidade do vento no município de Ribeirão Grande (SP)**. In: V Seminário Latino-americano e I Seminário Ibero-americano de Geografia Física, 2008, Santa Maria. Aproximando experiências para a sustentabilidade de um ambiente globalizado., 2008. p. 3048-3059.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2021.
- ANDRADE, C.; BRITO, R. A. L. Métodos de irrigação e quimigação. **Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2006. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/19630/1/Circ_86.pdf. Acesso em: 07 maio 2022.
- AZEVEDO, H. J. *et al.* Influência de fatores climáticos e operacionais sobre a uniformidade de distribuição de água, em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 152-158, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/gZpvtg3wV6NCtCyYLKWZ7RN/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 27 junho 2022.
- BERGAMASCHI, H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. *In*: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia Aplicada à Irrigação**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS. p. 25-32. 1992.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 1995. 596p.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 7a edição, 2005.
- BERNARDO, S.; SOARES, A.A; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: Editora UFV, 2008. 625p.

- BISCARO, G. A. **Sistemas de Irrigação Localizada**. Dourados: Ufgd, 2014. 264 p. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/2433/1/sistemas-de-irrigacao-localizada.pdf>. Acesso em: 08 julho 2022.
- BISCARO, G. A. **Sistemas de Irrigação por Aspersão**. Dourados: Ufgd, 2009. 132 p. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/2434/1/sistemas-de-irrigacao-por-aspersao.pdf>. Acesso em: 31 maio 2022.
- CALIMAN, M. A. **Modelagem das perdas por evaporação e arraste em pivô central**. 2020. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/28396/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2022.
- CARDOSO, C. de S.; BITENCOURT, D. P.; MENDONÇA, M. Comportamento do vento no setor leste de Santa Catarina sob influência de ciclones extratropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, p. 39-48, 2012.
- CARLESSO, R. **Influence of soil water deficits on maize growth and leaf area adjustments**. East Lansing: Michigan State University. 1993. PhD. Thsis Disponível em: <https://doi.org/doi:10.25335/M5V698P2J>. Acesso em: 28 maio 2022.
- COELHO, E. F.; FILHO, M. A. F.; OLIVEIRA, S.L. de. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, p. 57-60, 2005. Disponível em: https://ufrb.edu.br/neas/images/Artigos_NEAS/2005_3.pdf. Acesso em: 25 maio 2022.
- COSTA, A. R. **As Relações Hídricas Das Plantas Vasculares**. Portugal. Editora da Universidade de Évora, 2001. 75 p. Disponível em: <https://issuu.com/alexandracosta61/docs/relhid2014#:~:text=A%20%C3%A1gua%20%C3%A9%20uma%20das,%25%20a%2095%25%20por%20%C3%A1gua>. Acesso em: 27 maio 2022.
- CUENCA, H. R. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: PrenticeHall, 1989. 552p. Disponível em:
- DE PAULA, D. L. P. *et al.* Modelagem espacial da velocidade do vento a 50, 75 e 100 metros de altura para o estado de Minas Gerais, Brasil, empregando geoestatística. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 04, p. 1281-1295, 2017.
- DIAS, L. B. **Água nas plantas**. Lavras: Ceap Design, 2008. Disponível em: https://www.ceapdesign.com.br/pdf/monografias/monografia_agua_nas_plantas_lucia.pdf. Acesso em: 21 maio 2022.
- EMBRAPA. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil (1985-2017)**. Brasília: ANA e Embrapa, 2019. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br>. Acesso em: 24 maio 2022.
- FAOSTAT. **Área de terreno equipada para irrigação**. 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RL/visualize>. Acesso em: 07 jul. 2022.

FARIA, L. C. *et al.* Simulação da distribuição de água em diferentes condições de vento e espaçamentos entre aspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 918-925, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/3cMJdnWYhhhMtnncDcBWRKz/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 27 junho 2022.

FRIZZONE, J. A. Os métodos de irrigação. **ESALQ/USP**, 2017. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Frizzone/LEB_1571/TEXTO_COMPLEMEN_TAR_1_-_METODOS_DE_IRRIGACAO.pdf. Acesso em: 11 maio 2022.

FRONZA, D. **Fundamentos de irrigação e drenagem**: usos em grandes culturas e horticultura (olericultura, fruticultura, floricultura). Santa Maria: Politécnico - UFSM, 2005. 156 p.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**: Hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 344p.

GOMIDE, R. L. *et al.* Análise da uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1980. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1079429/1/Analiseuniformidade.pdf>. Acesso em: 27 junho 2022.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. Georreferenciamento dos pivôs centrais de irrigação no Brasil: ano base 2020. **Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2020.

IBGE. **Censo agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 maio 2022.

JONES, C.A. **C4 Grasses and Cereals: Growth, Development and Stress Response**. New York: John Wiley & Sons, 1985. 419 p.

JUSTI, A. L.; SAIZAKI, P. M. Desempenho da irrigação e fertirrigação avaliadas por controle estatístico de qualidade. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 23, n. 6, p. 541-551, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/504/351>. Acesso em: 27 junho 2022.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkler and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KLAR, A. E. Critérios para escolha do método de irrigação. **Irriga**, [S. l.] v. 5, n. 1, p. 52-82, 2000. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3469/2224>. Acesso em: 10 junho 2022.

LEA, P.J. *et al.* Absorção e metabolismo de nitrogênio sobre estresse hídrico. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM PERSPECTIVA, 1995. Belo Horizonte, MG. **Anais... EMBRAPA/CNPMS**, 1995. v.1, p.163-194, 1995.

- LEMOS FILHO, L. C. A. *et al.* Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1294-1303, 2010.
- LEVIEN, S. L. A. Irrigação por superfície: Sistemas de irrigação por superfície. **Mossoró: ESAM**, p. 027119, 2003.
- LIBERATO, A. M. **Direção e velocidade do vento durante o período de inverno e verão em Porto Velho-RO/Brasil**. 2019.
- MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 355p.
- MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. **Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 1998. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/75698/1/ct-98.pdf>. Acesso em: 08 junho 2022.
- MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. 2 ed. **Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2011.
- MONTEIRO, J. E. B. de A.; SENTELHAS, P. C.; CHIAVEGATO, E. J. **Ambiente tem papel decisivo na ocorrência de doenças**. Visão Agrícola Nº 6, 2006. Jul/Dez. p 85-87. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va06-manejo04.pdf>. Acesso em: 27 junho 2022.
- MUNHOZ, F. C.; GARCIA, A. Caracterização da velocidade e direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, p. 30-34, 2008.
- NETO, M. B. *et al.* Velocidades e direções predominantes dos ventos associadas a períodos secos e chuvosos em uma bacia litorânea. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 11, p. 98-108, 2021.
- ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1987. p.71-100.
- PAIVA, R. **Fisiologia de Plantas Ornamentais**. Lavras. Ed. UFLA, 2000. 88 p.
- PENSSAN. **Insegurança alimentar e Covid-19 no Brasil**. São Paulo: Claudia Cavalcanti, 2022. Disponível em: <https://olheparaafome.com.br/wp-content/uploads/2022/06/Relatorio-II-VIGISAN-2022.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2022.
- PEREIRA, L.S. *et al.* **El riego e sus tecnologías**. Albacete: CREA-UCLM, 2010, 296p. Disponível em: http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf. Acesso em: 05 junho 2022.
- PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 2004. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/mini/A-Rela--o-da-Planta-com-a-Agua-by-Carlos-Pimentel--2004-.pdf. Acesso em: 25 maio 2022.

- PLAYÁN, E. *et al.* Assessing sprinkler irrigation uniformity using a ballistic simulation model. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 84, p. 89-100, 2006.
- POSTEL, S. Redesigning irrigated agriculture. In: STARKE, L. (Ed.). **State of the World 2000: a Worldwatch Institute Report on progress towards a sustainable society**. New York, NY: W.W. Norton & Company, 2000.
- ROBBINS, J. W. D.; VINCHESI, B. E. Overview of irrigation systems. *In*: STETSON, L.E.; MECHAM, B.Q. (Ed). **Irrigation**. Falls Church: Irrigation association, 2011. Cap. 2, p. 5 – 21.
- RODRIGUES, R. N.; DOMINGUES, A. F. **Agricultura irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**. Brasília: Inovagri, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/168474/1/Agricultura-Irrigada.pdf>. Acesso em: 17 maio 2022.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant Physiology**. 4ª edição, California. Ed. Wadsworth publishing, 1992. 682 p.
- SANTORO, M. **Tudo o que você precisa saber sobre a irrigação por aspersão**. 2021. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/irrigacao-por-aspersao/>. Acesso em: 07 jul. 2022.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. **DÉFICIT HÍDRICO E OS PROCESSOS MORFOLÓGICO E FISIOLÓGICO DAS PLANTAS**. 1998. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v2n3/287.pdf>. Acesso em: 21 maio 2022.
- SEBANEK, J. **Plant Physiology**. Amsterdam. Ed. Elsevier Science & Technology, 1992. 454 p.
- SEMC - Secretaria de Energia, Minas e Comunicações. **Atlas eólico Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 2014.
- SENAMBI – Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia del Peru. **Aprendendo Meteorologia**. 2004. Disponível em: http://www.senambi.gob.pe.pefaprediendo/apen_meteo.htm.
- SENAR. **Irrigação: gestão da irrigação por aspersão**. Brasília: Senar, 2019. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/252-IRRIGA%C3%87%C3%83O.pdf>. Acesso em: 07 jul. 2021.
- SENAR. **Irrigação: gestão de sistemas por superfície**. Brasília: Senar, 2019. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/253-IRRIGA%C3%87%C3%83O.pdf>. Acesso em: 08 julho 2022.
- SENAR. **Irrigação: manejo e gestão em sistema localizado**. Brasília: Senar, 2019. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/251-IRRIGA%C3%87%C3%83O.pdf>. Acesso em: 08 julho 2022.
- SILVA, C. A. da; SILVA, C. J. da. **Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada**. 2005.

SILVA, L. B. da; FREITAS, H. M. B. **Os vegetais e a água**. 1998. Disponível em: <http://www.qualibio.ufba.br/012.html>. Acesso em: 12 maio 2022.

SILVEIRA, J. M. C. *et al.* Identificação de áreas irrigadas por pivô central na sub-bacia tambaú-verde utilizando imagens ccd/cbers. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 4, p. 721-729, 2013. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/684/860>. Acesso em: 20 maio 2022.

SMAJSTRLA, A. G.; ZAZUETA, F. S. **Evaporation loss during sprinkler irrigation**. Agricultural and Biological Engineering Department university of Florida, Florida, 2003. 8p. Disponível em: <http://irrigationtoolbox.com/ReferenceDocuments/Extension/Florida/AE04800.pdf>. Acesso em: 27 junho 2022.

SOARES, J. M.; COSTA, F. F. da;. Irrigação e fertirrigação. **Embrapa Semiárido-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2003.

SOFFIATTI, P. Xilema: tipos celulares e aspectos do desenvolvimento. *In*: ESAU, Katherine. **Anatomia das plantas de Esau**. São Paulo: Edgard Blücher, 2013. Cap. 10. P. 317-358.

STEUDLE, E.; PETERSON, C. A. **How does water get through roots?** J. Exp. Bot., 49: 775-788. Disponível em: http://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/mini/How-does-water-get-through-roots.pdf. Acesso em: 14 maio 2022.

STRECK, N. A. *et al.* **Estudo da direção e velocidade do vento em Santa Maria, RS**. *In*: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, XI, 1999, Florianópolis. Anais do XI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Florianópolis: EPAGRI, 1999. p. 1432-1437

SUTCLIFFE, J. **Plants and water**. Studies in Biology nº 14, Edward Arnold Publ. Ltd, London, 1971.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 6 ed., Porto Alegre: Artmed, 2017.

TARJUELO, J. M. *et al.* Modelling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, Apr. 2000. v. 43, n. 3, p. 263-284.

TESTEZLAF, R. **IRRIGAÇÃO: MÉTODOS, SISTEMAS E APLICAÇÕES**. Campinas: Feagri, 2017. Disponível em: https://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/testezlaf_irrigacao_metodos_sistemas_aplicacoes_2017.pdf. Acesso em: 13 jun. 2022.

WINTER, E. J. **A água, o solo e a planta**. Traduzido por Reichardt, K. & Libardi, P. L. EDUSP, São Paulo, 1976.

WOLFE, D. W. *et al.* Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize: I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 859-864, 1988. Disponível

em: <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000060004x>. Acesso em: 12 maio 2022.

WRIGHT, G.C. *et al.* Differences between two grain sorghum genotypes in adaptation to drought stress. I. Crop growth rate and yield response. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 34, p. 615- 626, 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/AR9830615>. Acesso em: 16 maio 2022.

APÊNDICE A – ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

ESTAÇÃO	UF	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	DATA DE FUNDAÇÃO	DIAS
AGUAS VERMELHAS	MG	-15,752	-41,458	740	2007-09-09	4.862
AIMORES	MG	-19,533	-41,091	84	2007-08-05	4.897
ALEGRETE	RS	-29,712	-55,526	121	2006-09-28	5.208
ALMENARA	MG	-16,167	-40,688	194	2002-12-15	6.591
ALTO PARAISO DE GOIAS	GO	-14,133	-47,523	1260	2007-06-04	4.959
ARACUAI	MG	-16,849	-42,441	308	19/05/17	1.322
ARAGARCAS	GO	-15,906	-52,244	347	2007-07-13	4.920
ARAXA	MG	-19,606	-46,949	1020	2002-12-19	6.587
ARIRANHA	SP	-21,133	-48,840	525	2007-11-13	4.797
AVARE	SP	-23,100	-48,946	775	2006-09-22	5.214
BAGE	RS	-31,348	-54,013	230	2007-01-04	5.110
BAMBUI	MG	-20,031	-46,009	697	23/11/16	1.499
BARBACENA	MG	-21,229	-43,767	1155	2002-12-05	6.601
BARRA BONITA	SP	-22,371	-48,557	544	2008-04-24	4.634
BARRA DO TURVO	SP	-24,963	-48,416	667	2008-07-03	4.564
BARRETOS	SP	-20,559	-48,545	533	2010-06-19	3.848
BARUERI	SP	-23,524	-46,869	777	29/03/11	3.565
BAURU	SP	-22,358	-49,029	666	2001-08-30	7.063
BEBDOURO	SP	-20,949	-48,490	790	27/10/16	1.526
BELO HORIZONTE - CERCADINHO	MG	-19,980	-43,959	1200	27/12/13	2.561
BENTO GONCALVES	RS	-29,167	-51,535	640	2006-12-01	5.144
BERTIOGA	SP	-23,845	-46,143	5	01/02/17	1.429
BRAGANCA PAULISTA	SP	-22,952	-46,531	891	20/12/17	1.107
BURITIS	MG	-15,524	-46,436	894	2007-06-19	4.944
CACAPAVA DO SUL	RS	-30,548	-53,467	420	2006-06-22	5.306
CACHOEIRA PAULISTA	SP	-22,689	-45,006	586	20/10/17	1.168
CAIAPONIA	GO	-16,967	-51,817	737	2007-05-21	4.973
CALDAS	MG	-21,918	-46,383	1150	2006-11-28	5.147
CAMAQUA	RS	-30,811	-51,835	91	2006-12-12	5.133
CAMBARA DO SUL	RS	-29,049	-50,150	1017	24/11/2016	1.498
CAMPINA VERDE	MG	-19,539	-49,518	555	2006-07-15	5.283

CAMPO BOM	RS	-29,674	-51,064	23	29/11/13	2.589
CAMPOS DO JORDAO	SP	-22,750	-45,604	1642	2002-03-13	6.868
CANELA	RS	-29,369	-50,827	830	2008-08-23	4.513
CANGUCU	RS	-31,406	-52,701	462	2007-01-24	5.090
CAPAO DO LEO (PELOTAS)	RS	-31,803	-52,407	13	18/07/19	532
CAPELINHA	MG	-17,705	-42,389	948	2007-08-31	4.871
CARATINGA	MG	-19,736	-42,154	615	2007-05-24	4.970
CASA BRANCA	SP	-21,780	-47,080	730	2007-06-25	4.938
CATALAO	GO	-18,158	-47,926	890	2008-01-31	4.718
CHAPADA GAUCHA	MG	-15,310	-45,617	880	2007-06-22	4.941
CONCEICAO DAS ALAGOAS	MG	-19,986	-48,151	568	2006-07-18	5.280
CORONEL PACHECO	MG	-21,547	-43,261	411	17/10/12	2.997
CRISTALINA	GO	-16,788	-47,612	1202	2007-12-14	4.766
CRISTALINA (FAZENDA SANTA MONICA)	GO	-16,399	-47,626	932	25/01/18	1.071
CRUZ ALTA	RS	-28,604	-53,674	432	2007-05-31	4.963
CURVELO	MG	-18,764	-44,454	670	2006-12-18	5.127
DIAMANTINA	MG	-18,231	-43,648	1356	2007-06-05	4.958
DIVINOPOLIS	MG	-20,173	-44,875	796	26/10/17	1.162
DOM PEDRITO	RS	-31,003	-54,618	150	2010-04-23	3.905
DORES DO INDAIA	MG	-19,482	-45,594	722	2007-06-01	4.962
EDEIA	GO	-17,337	-49,915	608	26/08/17	1.223
ENCRUZILHADA DO SUL	RS	-30,543	-52,525	428	15/03/18	1.022
ERECHIM	RS	-27,660	-52,306	765	2006-11-25	5.150
ESPINOSA	MG	-14,913	-42,830	570	2007-11-14	4.796
FLORESTAL	MG	-19,885	-44,417	750	2008-06-27	4.570
FORMIGA	MG	-20,455	-45,454	873	2006-08-17	5.250
FRANCA	SP	-20,580	-47,380	1026	2002-12-12	6.594
FREDERICO WESTPHALEN	RS	-27,396	-53,413	490	2007-12-14	4.766
GOIANESIA	GO	-15,220	-48,990	667	2007-06-02	4.961
GOIANIA	GO	-16,643	-49,220	770	2001-05-29	7.156
GOIAS	GO	-15,939	-50,141	512	2007-07-18	4.915
GOVERNADOR VALADARES	MG	-18,830	-41,977	214	2007-05-27	4.967
GUANHAES	MG	-18,787	-42,943	860	2007-06-02	4.961

GUARDA-MOR	MG	-17,562	-47,199	616	2007-07-11	4.922
IBIRITE (ROLA MOCA)	MG	-20,031	-44,011	1208	2008-06-06	4.591
IBIRUBA	RS	-28,653	-53,112	455	13/12/12	2.940
IBITINGA	SP	-21,856	-48,667	492	2007-11-09	4.801
IGUAPE	SP	-24,717	-47,550	3	2006-07-20	5.278
IPORA	GO	-16,423	-51,149	610	24/06/13	2.747
ITAOBIM	MG	-16,576	-41,485	266	2007-09-05	4.866
ITAPACI	GO	-14,980	-49,539	522	2007-02-03	5.080
ITAPEVA	SP	-23,981	-48,885	745	2006-07-25	5.273
ITAPIRA	SP	-22,415	-46,805	633	2007-11-05	4.805
ITUIUTABA	MG	-18,953	-49,525	560	2006-05-12	5.347
ITUMBIARA	GO	-18,410	-49,192	488	2007-11-01	4.809
ITUVERAVA	SP	-20,359	-47,775	600	2008-07-17	4.550
JAGUARAO	RS	-32,537	-53,376	47	2007-01-09	5.105
JALES	SP	-20,165	-50,595	457	2007-08-22	4.880
JANAUBA	MG	-15,803	-43,297	532	19/11/16	1.503
JANUARIA	MG	-15,448	-44,366	468	23/06/16	1.652
JATAI	GO	-17,924	-51,718	582	2007-05-23	4.971
JOAO PINHEIRO	MG	-17,785	-46,119	877	2007-07-07	4.926
JOSE BONIFACIO	SP	-21,086	-49,921	405	2007-09-03	4.868
JUIZ DE FORA	MG	-21,770	-43,364	950	2007-05-26	4.968
LAGOA VERMELHA	RS	-28,222	-51,512	843	2007-03-02	5.053
LINS	SP	-21,665	-49,734	450	2006-09-20	5.216
LUZIANIA	GO	-16,272	-47,966	960	2006-10-21	5.185
MACHADO	MG	-21,681	-45,944	969	21/07/17	1.259
MANHUACU	MG	-20,264	-42,183	836	2010-09-25	3.750
MANTENA	MG	-18,780	-40,986	214	2007-08-01	4.901
MARIA DA FE	MG	-22,314	-45,373	1276	2006-12-01	5.144
MARILIA	SP	-22,235	-49,965	660	15/05/17	1.326
MINEIROS	GO	-17,455	-52,601	862	2007-11-24	4.786
MOCAMBINHO	MG	-15,086	-44,016	460	2007-11-11	4.799
MONTALVANIA	MG	-15,086	-44,016	512	2007-06-26	4.937
MONTE ALEGRE DE GOIAS	GO	-13,248	-46,890	1253	2007-06-07	4.956
MONTE VERDE	MG	-22,861	-46,043	1500	2004-12-19	5.856
MONTES CLAROS	MG	-16,717	-43,867	646	2002-12-19	6.587
MORRINHOS	GO	-17,717	-49,100	771	2001-05-25	7.160
MOSTARDAS	RS	-31,248	-50,906	10	2008-03-11	4.678

MURIAE	MG	-21,105	-42,376	297	2006-08-30	5.237
OLIVEIRA	MG	-20,715	-44,864	1025	19/10/17	1.169
OURINHOS	SP	-22,949	-49,894	448	2006-08-29	5.238
OURO BRANCO	MG	-20,546	-43,769	1061	2006-07-28	5.270
PALMEIRA DAS MISSOES	RS	-27,922	-53,317	631	2008-02-26	4.692
PAMPULHA	MG	-19,884	-43,969	869	2006-10-10	5.196
PARACATU	MG	-17,244	-46,882	705	16/03/18	1.021
PARAUNA	GO	-16,946	-50,425	678	2008-03-29	4.660
PASSA QUATRO	MG	-22,396	-44,962	1040	2007-05-30	4.964
PASSO FUNDO	RS	-28,229	-52,404	684	2006-11-27	5.148
PASSOS	MG	-20,745	-46,634	784	2006-07-16	5.282
PATOS DE MINAS	MG	-18,521	-46,441	950	12/05/17	1.329
PATROCINIO	MG	-18,996	-46,986	976	2006-08-22	5.245
PIRACICABA	SP	-22,703	-47,623	573	2006-09-26	5.210
PIRAPORA	MG	-17,258	-44,836	503	2007-07-04	4.929
PIRES DO RIO	GO	-17,304	-48,284	752	2007-10-12	4.829
PORTO ALEGRE	RS	-30,050	-51,167	47	2000-09-22	7.405
POSSE	GO	-14,089	-46,366	834	2007-04-18	5.006
PRADOPOLIS	SP	-21,338	-48,114	544	2008-04-22	4.636
PRESIDENTE PRUDENTE	SP	-22,120	-51,400	436	2003-02-04	6.540
QUARAI	RS	-30,369	-56,437	124	2007-10-17	4.824
RANCHARIA	SP	-22,372	-50,974	398	2006-09-01	5.235
REGISTRO	SP	-24,533	-47,864	35	09/02/17	1.421
RIO GRANDE	RS	-32,033	-52,100	2	2001-11-16	6.985
RIO PARDO	RS	-29,873	-52,382	111	2006-09-30	5.206
RIO PARDO DE MINAS	MG	-15,723	-42,435	950	2007-11-17	4.793
RIO VERDE	GO	-17,786	-50,981	782	2007-05-17	4.977
SACRAMENTO	MG	-19,875	-47,434	912	2006-08-19	5.248
SALINAS	MG	-16,160	-42,310	495	2007-09-14	4.857
SANTA MARIA	RS	-29,708	-53,704	95	2001-11-26	6.975
SANTA ROSA	RS	-27,893	-54,481	276	2006-11-15	5.160
SANTA VITÓRIA DO PALMAR	RS	-33,742	-53,371	26	2008-03-08	4.681
SANTANA DO LIVRAMENTO	RS	-30,842	-55,613	196	2001-11-22	6.979
SANTIAGO	RS	-29,191	-54,886	394	2009-02-04	4.348
SANTO AUGUSTO	RS	-27,854	-53,791	490	2001-12-05	6.966
SAO BORJA	RS	-28,649	-56,016	83	2007-07-21	4.912

SAO CARLOS	SP	-21,980	-47,883	863	2006-09-04	5.232
SAO GABRIEL	RS	-30,341	-54,311	126	2007-07-11	4.922
SAO JOAO DEL REI	MG	-21,226	-44,979	991	2006-06-09	5.319
SAO JOSE DOS AUSENTES	RS	-28,751	-50,058	1244	2006-10-26	5.180
SAO LUIS DO PARAITINGA	SP	-23,228	-45,417	730	2007-11-01	4.809
SAO LUIZ GONZAGA	RS	-28,417	-54,962	245	2007-07-25	4.908
SAO MIGUEL ARCANJO	SP	-23,851	-48,164	678	2006-08-15	5.252
SAO MIGUEL DO ARAGUAIA	GO	-12,821	-50,336	210	29/06/17	1.281
SAO PAULO - INTERLAGOS	SP	-23,725	-46,678	771	14/03/18	1.023
SAO PAULO - MIRANTE	SP	-23,483	-46,617	792	2006-07-25	5.273
SAO ROMAO	MG	-16,363	-45,124	460	2007-06-30	4.933
SAO SEBASTIAO	SP	-23,811	-45,403	24	25/10/17	1.163
SAO SEBASTIAO DO PARAISO	MG	-20,910	-47,114	845	17/08/15	1.963
SAO SIMAO	SP	-21,461	-47,579	620	03/07/19	547
SAO SIMAO	GO	-18,967	-50,617	489	2006-07-15	5.283
SAO VICENTE DO SUL	RS	-29,702	-54,694	134	06/04/16	1.730
SERAFINA CORREA	RS	-28,705	-51,871	545	01/04/16	1.735
SERRA DOS AIMORES	MG	-17,799	-40,250	208	2006-08-21	5.246
SETE LAGOAS	MG	-19,455	-44,173	719	10/06/16	1.665
SILVANIA	GO	-16,677	-48,618	949	2010-10-08	3.737
SOLEDADE	RS	-28,854	-52,558	667	2008-03-01	4.688
SOROCABA	SP	-23,350	-47,667	609	2006-08-22	5.245
TAUBATE	SP	-23,042	-45,520	571	2006-12-20	5.125
TEOFILO OTONI	MG	-17,900	-41,517	475	2006-08-25	5.242
TEUTONIA	RS	-29,450	-51,824	80	04/10/12	3.010
TIMOTEO	MG	-19,574	-42,622	333	2006-02-22	5.426
TORRES	RS	-29,350	-49,733	5	2006-06-01	5.327
TRAMANDAI	RS	-30,010	-50,135	1	2008-03-09	4.680
TRES MARIAS	MG	-18,201	-45,460	921	2006-08-25	5.242
TUPA	SP	-21,927	-50,490	498	12/05/17	1.329
TUPANCIRETA	RS	-29,089	-53,827	462	11/08/16	1.603
UBERABA	MG	-19,710	-47,962	778	19/05/17	1.322

UBERLANDIA	MG	-18,917	-48,256	869	2002-12-18	6.588
UNAI	MG	-16,554	-46,882	631	2007-06-16	4.947
URUGUAIANA	RS	-29,842	-57,082	62	2006-09-28	5.208
VACARIA	RS	-28,514	-50,883	986	2008-04-26	4.632
VALPARAISO	SP	-21,319	-50,930	374	2007-08-30	4.872
VARGINHA	MG	-21,566	-45,404	955	2006-07-13	5.285
VICOSA	MG	-20,763	-42,864	712	2005-09-15	5.586
VOTUPORANGA	SP	-20,403	-49,966	465	2006-12-04	5.141