

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – CAMPUS CASCAVEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

VARIAÇÕES CLIMÁTICAS REGIONAIS, PRODUTIVIDADE E USO DE DEFENSIVOS
AGRÍCOLAS E PRODUTOS DE CONTROLE BIOLÓGICO NO CULTIVO DA SOJA

MARCOS VINÍCIUS MUNIZ MACHADO

CASCAVEL – PR

AGOSTO – 2023

MARCOS VINÍCIUS MUNIZ MACHADO

**VARIAÇÕES CLIMÁTICAS REGIONAIS, PRODUTIVIDADE E USO DE DEFENSIVOS
AGRÍCOLAS E PRODUTOS DE CONTROLE BIOLÓGICO NO CULTIVO DA SOJA**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em cumprimento aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração em Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi

CASCADEL – PR

AGOSTO – 2023

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Machado, Marcos Vinícius Muniz

Variações climáticas regionais, produtividade e uso de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico no cultivo da soja / Marcos Vinícius Muniz Machado; orientador Marcio Furlan Maggi. -- Cascavel, 2023.

71 p.

Tese (Doutorado Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2023.

1. Condições climáticas. 2. Precipitação. 3. Produtividade. 4. Levantamento econômico da pulverização. I. Maggi, Marcio Furlan , orient. II. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Reitoria
CNPJ 78.680.337/0001-84
Rua Universitária, 1619, Jardim Universitário
Tel.: (45) 3220-3000 - Fax: (45) 3225-4590 - www.unioeste.br
CEP: 85819-110 - Cx. P.: 701
Cascavel - PARANÁ



MARCOS VINICIUS MUNIZ MACHADO

VARIAÇÕES CLIMÁTICAS REGIONAIS, PRODUTIVIDADE E USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO CULTIVO DA SOJA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, linha de pesquisa Geoprocessamento, Estatística Espacial e Agricultura de Precisão, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:

Marcio F. Maggi

Orientador(a) - Marcio Furlan Maggi

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Rafaela Camicia

Rafaela Greici da Motta Camicia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Silvia Renata Machado Coelho

Silvia Renata Machado Coelho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Antonio Marcos Massao Hachisuca

Antonio Marcos Massao Hachisuca

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Foz do Iguaçu (UNIOESTE)

Marcio Antonio Vilas Boas

Marcio Antonio Vilas Boas

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 17 de agosto de 2023.

BIOGRAFIA

Marcos Vinícius Muniz Machado, nascido em 03/08/1984, concluiu o curso de graduação em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal de Lavras – UFLA, no ano de 2014. No ano de 2015 iniciou Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Sistemas Biológicos e Agroindustriais na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, concluindo em 2017, sendo que no ano de 2019, ingressou no doutorado nos mesmos Programa e Universidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma maneira me auxiliaram e deram suporte para a realização deste trabalho;

À UNIOESTE, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal, e à CAPES, pelo apoio concedido para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao professor Dr. Marcio Furlan Maggi, pelo apoio, a confiança e os auxílios prestados durante a realização deste trabalho;

A todos os amigos e colegas de laboratório que de alguma forma contribuíram no desenvolvimento deste trabalho;

Ao Engenheiro Aldo Tasca, pela cessão da área experimental utilizada neste trabalho.

VARIAÇÕES CLIMÁTICAS REGIONAIS, PRODUTIVIDADE E USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS E PRODUTOS DE CONTROLE BIOLÓGICO NO CULTIVO DA SOJA

Machado, Marcos Vinícius Muniz. Variações climáticas regionais, produtividade e uso de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico no cultivo da soja. Orientador: Marcio Furlan Maggi. 2023. 71 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2023.

RESUMO

O monitoramento das condições climáticas durante o ciclo da soja é essencial no planejamento agrícola. Além disso, a variação dessas condições, tais como temperatura, umidade relativa do ar (UR), precipitação e velocidade do vento, influenciam a quantidade de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico aplicados, a qualidade da pulverização e, conseqüentemente, o surgimento de pragas, doenças e plantas daninhas, assim como o desempenho produtivo da soja. Assim, a aplicação de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico é uma operação agrícola de grande destaque na produção de soja, pois propicia o controle ou a erradicação de pragas, doenças e plantas invasoras que concorrem com a cultura pelos mesmos recursos naturais, sendo essa aplicação altamente dependente das condições climáticas. O trabalho foi desenvolvido em área comercial com 15,5 ha, localizada no município de Céu Azul no estado do Paraná, tendo como objetivo estabelecer a relação entre condições meteorológicas e produtividade da soja nas safras de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020, e também obter a relação entre condições climáticas, uso de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico, realizando o levantamento das condições climáticas e elaborando o levantamento econômico de uso de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico nas safras agrícolas de 2020/2021 e 2022/2023. Em relação aos resultados, a produtividade da soja obtida na área na safra de 2019/2020 foi de 3,727 t ha⁻¹, superior às outras duas safras, sendo que a safra 2018/2019 atingiu o menor valor, 2,394 t ha⁻¹, indicando a influência do clima, ocorrência de precipitação fora da recomendada e estiagem, na produtividade obtida. No que diz respeito à pulverização na safra de 2020/2021, utilizou-se maior quantidade de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico quando comparado com a safra de 2022/2023, atestando possível influência da variação climática. Comparando-se o valor monetário gasto com defensivos agrícolas e produtos de controle biológico, a safra 2020/2021 atingiu gastos superiores à safra 2022/2023.

Palavras-Chave: Condições climáticas; Precipitação; Produtividade; Levantamento econômico da pulverização.

REGIONAL WEATHER VARIATIONS, PRODUCTIVITY AND USE OF AGRICULTURAL PESTS AND BIOLOGICAL CONTROL PRODUCTS IN SOYBEAN CULTIVATION

Machado, Marcos Vinícius Muniz. Regional weather variations, productivity and use of agricultural pests and biological control products in soybean cultivation. Advisor: Marcio Furlan Maggi. 2023. 71 f. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering) – Graduate Program in Agricultural Engineering. Western Paraná State University, Cascavel, PR, 2023.

ABSTRACT

Monitoring weather conditions during the soybean cycle is essential in agricultural planning. The variation of these conditions, such as temperature, relative humidity (RH), precipitation, and wind speed, influences the amount of pesticides and biological control products applied, the quality of spraying and, consequently, the emergence of pests, diseases and weeds, as well as the productive performance of soybeans. Thus, the application of agricultural pesticides and biological control products is an agricultural operation of great importance in soybean production, as it provides the control or eradication of pests, diseases, and invasive plants that compete with the crop for the same natural resources, and this application is highly dependent on weather conditions. The research was carried out in a commercial area with 15.5 ha, located in the municipality of Céu Azul in the state of Paraná, Brazil. The objective of this work was to establish the correlation between meteorological conditions and soybean productivity in the 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 harvests; and also obtain the relationship between weather conditions and the use of agricultural defensives and biological control products, carrying out the survey of weather conditions and preparing the economic survey of the use of agricultural defensives and biological control products in the agricultural harvests of 2020/2021 and 2022/2023. Regarding the results, the soybean productivity obtained in the area in the 2019/2020 harvest was 3.727 t ha⁻¹, higher than the other two harvests, with the 2018/2019 harvest reaching the lowest value, 2.394 t ha⁻¹, occurrence of precipitation outside the recommended and drought, indicating the influence of weather on the productivity obtained. With regard to spraying in the 2020/2021 harvest, a greater amount of agricultural pesticides and biological control products were used when compared to the 2022/2023 harvest, attesting to the possible influence of weather variation. Comparing the monetary value spent on agricultural pesticides and biological control products, the 2020/2021 harvest reached expenses were significantly higher than the 2022/2023 harvest.

Keywords: Weather conditions; Precipitation; Yield; Economic survey of spraying.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Soja	4
3.1.1 Aspectos gerais	4
3.1.2 Ciclo de desenvolvimento da planta.....	4
3.1.3 Exigências climáticas	6
3.1.3.1 Fotoperíodo e radiação	6
3.1.3.2 Temperatura	8
3.1.3.3 Disponibilidade hídrica	9
3.2 Defensivos agrícolas.....	10
3.2.1 Definição e aplicação	10
3.2.2 Influência das condições climáticas na aplicação.....	12
3.2.3 Relação entre consumo de defensivos e retorno financeiro e produtivo.....	14
4 REFERÊNCIAS	16
5 ARTIGO 1 - VARIAÇÕES CLIMÁTICAS REGIONAIS E PRODUTIVIDADES ALCANÇADAS EM SAFRAS DE SOJA	22
5.1 INTRODUÇÃO	22
5.2 MATERIAL E MÉTODOS	23
5.2.1 Características da área, clima e solo	24
5.2.2 Monitoramento das condições climáticas	25
5.2.3 Semeadura, colheita e produtividade	26
5.2.4 Análise estatística	26

5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.3.1	Análise de atributos químicos do solo	26
5.3.2	Dados climatológicos	27
5.3.3	Produtividade da soja.....	30
5.4	CONCLUSÕES	31
5.5	AGRADECIMENTOS	31
5.6	REFERÊNCIAS	31
6	ARTIGO 2 - DEFENSIVOS AGRÍCOLAS, PRODUTOS DE CONTROLE BIOLÓGICO, CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E LEVANTAMENTO ECONÔMICO EM CULTIVO DE SOJA	34
6.1	INTRODUÇÃO	34
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	36
6.2.1	Área experimental.....	36
6.2.2	Condições climáticas	37
6.2.3	Dados do cultivo	37
6.2.4	Defensivos agrícolas.....	37
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6.3.1	Análise de atributos químicos do solo	38
6.3.2	Dados climatológicos	39
6.3.3	Defensivos agrícolas	42
6.3.4	Comparativo de custos com defensivos agrícolas e produtos de controle biológico. 44	
6.4	CONCLUSÕES	45
6.5	REFERÊNCIAS	47
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
	APÊNDICE	50

LISTA DE TABELAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1 Descrição dos estádios vegetativos da soja	5
Tabela 2 Denominação dos estádios reprodutivos da soja	6

ARTIGO 1

Tabela 1 Resultados das análises dos atributos químicos do solo.....	27
Tabela 2 Dados de precipitação e temperaturas nas safras de soja de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020.....	28

ARTIGO 2

Tabela 1 Datas de aplicação de defensivos e produtos de controle biológico após a semeadura da soja nas safras de 2020/2021 e 2022/2023	38
Tabela 2 Análises químicas do solo da área.....	38
Tabela 3 Dados climatológicos das safras de soja de 2020/2021 e 2022/2023.....	39
Tabela 4 Velocidades do vento nas safras de soja de 2020/2021 e 2022/2023	41
Tabela 5 Consumo total de defensivos agrícolas utilizados nas safras de soja de 2020/2021 e 2022/2023.....	42

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1 Localização da área comercial, Céu Azul, PR.....	25
Figura 2 Produtividade de soja alcançada nas três safras analisadas na área comercial	30

ARTIGO 2

Figura 1 Área experimental e pontos amostrais.....	36
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

Al	Alumínio
ANDEF	Associação Nacional de Defesa Vegetal
Ca	Cálcio
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
GPS	Global Positioning System
K	Potássio
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico Típico
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Mg	Magnésio
N	Nitrogênio
N-P-K	Nitrogênio-Fosforo-Potássio
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
SIMEPAR	Sistema Meteorológico do Paraná
UR	Umidade Relativa
V%	Porcentagem de Saturação por Bases

1 INTRODUÇÃO

A produção de grãos no Brasil tem elevada importância econômica e, em especial, a cultura da soja tem grande representatividade nas exportações e possui grande relevância para a balança comercial brasileira.

Por diversas vezes, os produtores ignoram a função das condições climáticas para suprir as necessidades da planta e alcançar produtividades satisfatórias, sendo que as condições climáticas são essenciais no planejamento agrícola para que as culturas obtenham melhores rendimentos em seu cultivo, pois este parâmetro possui grande impacto na produção de grãos, influenciando positiva ou negativamente todas as etapas na lavoura desde a semeadura até a colheita.

Dentre as condições climáticas, o fotoperíodo, a temperatura do ar e a precipitação são os fatores com maior destaque, pois influenciam diretamente o desempenho da soja (FARIAS et al., 2007), com maior ou menor grau dependendo do fator, em todos os estádios de desenvolvimento da planta.

A disponibilidade de água é importante em todos os estádios de desenvolvimento das plantas de soja e, por isso, a precipitação é essencial para atingir bons resultados de produtividade, pois a maior parte dos produtores não possui sistema de irrigação e, para suprir as necessidades hídricas, as plantas dependem unicamente da precipitação.

Já a temperatura do ar é inversamente proporcional à umidade relativa (UR) do ar e, assim, determina a quantidade de água perdida pela planta na transpiração, influenciando processos fisiológicos e, conseqüentemente, interferindo no desenvolvimento da planta. Assim, é essencial monitorar as condições climáticas, durante o ciclo da cultura, para realizar as diferentes operações agrícolas visando otimizar a produtividade e reduzir o custo operacional.

Para que a planta atinja o ápice do seu desenvolvimento e alcance alta produtividade, a aplicação de defensivos agrícolas é uma operação agrícola de grande destaque na produção de soja, pois propicia o controle ou a erradicação: de pragas e doenças; e de plantas invasoras que concorrem com a cultura comercial pelos mesmos recursos naturais.

A aplicação de defensivos agrícolas é altamente dependente das condições climáticas. Assim, no planejamento da operação, a aplicação desses produtos deve seguir critérios analisando e monitorando as condições climáticas na propriedade, pois se a operação for realizada fora dos padrões determinados podem ser gerados grandes perdas de produto e custos extras para a reaplicação.

A ocorrência de ventos com velocidade superior à recomendada causa deriva e, em contraposição, o ar estando a velocidades inferiores à adequada para a aplicação ocasiona

a distribuição irregular do produto (CONTIERO; BIFFE; CATAPLAN, 2018). Além disso, a presença de temperatura do ar acima da adequada gera a evaporação da calda.

O monitoramento das condições climáticas é essencial, pois, frequentemente, a qualidade da aplicação de defensivos na agricultura correlaciona-se estritamente com a obtenção de uma boa colheita ou em oposição à geração de prejuízos consideráveis ao produtor.

A análise da influência das condições climáticas no consumo de defensivos no cultivo de soja em diferentes anos agrícolas para a mesma propriedade possui grande importância para o aprimoramento da técnica e o aumento do rendimento do produtor.

Com esse intuito, a realização de levantamento econômico da aplicação de defensivos agrícolas na produção de soja exposta as variações naturais das condições climáticas em diferentes safras agrícolas são essenciais para estabelecer um parâmetro relevante da relação entre condições climáticas, produtividade e uso de defensivos agrícolas no cultivo de soja.

Organizou-se esta tese no formato de artigos científicos. Assim, inicialmente apresenta-se no Capítulo 3 a revisão bibliográfica geral sobre assuntos abordados no decorrer deste trabalho. O primeiro artigo encontra-se no Capítulo 5, no qual foram analisados os efeitos das condições climáticas nas produtividades alcançadas pela cultura da soja. O segundo artigo é apresentado no capítulo 6, em que buscou-se estabelecer a relação entre condições climáticas e uso de defensivos agrícolas, realizando o levantamento das condições climáticas e elaborando o levantamento econômico de uso de defensivos agrícolas. Para finalizar, o Capítulo 7 contém as considerações finais do trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estabelecer a relação entre condições climáticas e produtividade da soja nas safras de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020; e obter a relação entre condições climáticas e uso de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico, realizando o levantamento das condições climáticas e elaborando o levantamento econômico de uso de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico nas safras agrícolas de 2020/2021 e 2022/2023.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar as condições climáticas na microrregião da cidade de Céu Azul no período das safras de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020;
- Identificar e analisar períodos de déficit de chuvas prolongados que tenham potencial para afetar a produtividade da cultura de soja nas safras de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020;
- Analisar as condições climáticas, na área comercial estudada, nos períodos de aplicação de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico nas safras de 2020/2021 e 2022/2023;
- Quantificar o uso de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico na área nas safras de 2020/2021 e 2022/2023;
- Realizar pesquisa em revendas de insumos agrícolas do histórico de preços de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico nos períodos das safras de 2020/2021 e 2022/2023 para obter parâmetro de comparação, visando realizar o levantamento econômico das duas safras.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Soja

3.1.1 Aspectos gerais

Em escala mundial a soja (*Glycine max* (L.)) é considerada como uma das principais culturas produzidas (MOTA, 2019). A produção de soja está concentrada, em sua maioria, nos Estados Unidos e no Brasil (CONAB, 2020), fato decorrente das condições ambientais favoráveis ao seu cultivo.

No Brasil, a soja está inserida entre as principais culturas de importância econômica, por ter grande representação entre as commodities comercializadas e o alto potencial produtivo para atender o crescente mercado consumidor (CARVALHO et al., 2013; MOTA, 2019).

A magnitude do complexo agroindustrial envolvido com a produção de soja e seus subprodutos e a grande representatividade do setor agrícola mobilizado em sua comercialização, conferem à cultura da soja a condição de maior destaque na geração de divisas da balança comercial brasileira. Esse destaque combinado à estabilidade dos mercados, a crescente demanda mundial e ao potencial de expansão no Brasil, viabilizam futuro prospero para sua produção (CESB 2015; DOMINGUES, 2019).

Observa-se, assim, que apesar da soja ser cultivada em larga escala mundialmente, com o intuito de aumentar o rendimento e suprir o mercado consumidor, sua produtividade pode ser otimizada. Pela razão de que a demanda por alimentos é crescente (CESB, 2015), a procura por alternativas que visem o aumento dessa produtividade tem sido investigada.

3.1.2 Ciclo de desenvolvimento da planta

A soja é uma planta de clima tropical (FAGAN, 2007), de ciclo anual (90 a 160 dias) e tem sua origem no extremo Oriente (CAVALETT, 2008).

O ciclo de vida de uma planta de soja é dividido em duas fases distintas, sendo uma vegetativa e outra reprodutiva. Na fase vegetativa estão inseridas a emergência da plântula e o crescimento da planta com o conseqüente aumento da fitomassa (ALMEIDA, 2005). A fase vegetativa, tal qual a reprodutiva, é dividida em estádios de desenvolvimento, sendo que o tempo de duração nos estádios não é fixo e pode variar mais ou menos entre genótipos com ciclos diferentes.

A plântula inicia seu desenvolvimento com a fase vegetativa mais especificamente no estágio vegetativo denominado VE, que representa a emergência dos cotilédones, sendo assim uma plântula recém emergida é considerada em VE.

Progredindo no desenvolvimento, quando os cotilédones se encontram completamente abertos e expandidos, a plântula passa para o estágio VC. Decorridos estádios iniciais VE e VC, Farias et al. (2007) descrevem que as subdivisões dos estádios vegetativos são numeradas sequencialmente em V1, V2, Vn, em que n é o número de nós, acima do nó cotiledonar, com folha completamente desenvolvida.

Os estádios vegetativos da plântula de soja estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 Descrição dos estádios vegetativos da soja

Estádio	Denominação	Descrição
VE	Emergência	Cotilédone acima da superfície do solo
VC	Cotilédone	Cotilédones completamente abertos
V1	Primeiro nó	Folhas unifoliadas completamente desenvolvidas
V2	Segundo nó	Primeira folha trifoliada completamente desenvolvida
V3	Terceiro nó	Segunda folha trifoliada completamente desenvolvida
V4	Quarto nó	Terceira folha trifoliada completamente desenvolvida
V...
Vn	Enésimo nó	Ante enésima folha trifoliada completamente desenvolvida

Fonte: Farias et al. (2007).

A fase reprodutiva compreende a emissão de flores, a formação de vagens (legumes), o enchimento dos grãos e a maturação. Os estádios reprodutivos da planta de soja são descritos pela letra R seguida dos números 1 até 8 e contemplam detalhadamente o período florescimento-maturação.

A fase reprodutiva começa em R1, com o início do florescimento, tendo uma flor aberta em qualquer nó do caule, e termina em R8, com a maturação plena, em que 95% das vagens apresentam coloração de amadurecimento. Os estádios reprodutivos são melhor descritos subdividindo-se em quatro fases distintas do desenvolvimento reprodutivo da planta, ou seja, florescimento (R1 e R2), desenvolvimento da vagem (R3 e R4), desenvolvimento do grão (R5 e R6) e maturação da planta (R7 e R8) (FARIAS et al., 2007).

Na Tabela 2 são apresentados resumidamente os estádios reprodutivos da soja.

Tabela 2 Denominação dos estádios reprodutivos da soja

Estádio	Denominação
R1	Início do florescimento
R2	Florescimento pleno
R3	Início da formação da vagem
R4	Vagem completamente desenvolvida
R5	Início do enchimento de grãos
R6	Grão cheio ou completo
R7	Início da maturação
R8	Maturação plena

Fonte: Farias et al. (2007).

3.1.3 Exigências climáticas

As condições climáticas têm extrema importância na prática da agricultura, pois cada cultura agrícola necessita de água, calor e luminosidade nas quantidades e momentos adequados para seu desenvolvimento (SILVA; SARTORI; WOLLMANN, 2014). Dentro do escopo da cultura da soja, segundo Rio et al. (2015), de todos os fatores intrínsecos em sua produção, o clima é o que detém as condições de mais difícil controle, sendo considerado um fator que limita as produtividades máximas desta cultura.

Assim, a inter-relação entre a precipitação, a radiação solar e a temperatura do ar associados a parâmetros genótipos da cultivar são essenciais para a determinação da condição ideal para o cultivo da soja, considerando que a produtividade é influenciada por essas interações (PIEROZAN JUNIOR et al., 2017).

Contudo, para o desenvolvimento pleno da soja nos seus estádios fenológicos e para alcançar consequentes bons resultados na produtividade são necessárias condições térmicas e hídricas favoráveis (REIS, 2015), além da necessidade de propiciar o tempo de exposição adequado das plantas, durante seu ciclo de desenvolvimento, a radiação solar.

3.1.3.1 Fotoperíodo e radiação

A radiação solar é de fundamental importância no cultivo da soja, pois a energia fornecida por este processo é o combustível para o desenvolvimento das plantas. A radiação solar define as condições térmicas do ambiente, principalmente as temperaturas do ar e do solo, assim como a duração do dia ou o fotoperíodo (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Fotoperíodo é a necessidade da planta de soja em relação ao tempo de exposição diário a radiação solar. A sensibilidade ao fotoperíodo é uma característica variável entre cultivares de soja, sendo que cada cultivar possui seu fotoperíodo crítico, acima do qual o florescimento é atrasado. Assim, com semeaduras de soja realizadas em um mesmo local, as diferenças da data de floração entre cultivares são devidos, principalmente, às diferentes respostas das cultivares ao fotoperíodo (FARIAS et al., 2007).

A soja é uma planta considerada de dia curto, sendo muito sensível ao comprimento do dia, ou seja, ao número de horas por dia com raios solares disponíveis. Com isso, a variação do fotoperíodo na soja decorrente da semeadura em latitudes diferentes ou do atraso da semeadura pode ocasionar efeitos como redução do período compreendido entre a emergência das plântulas e o início do florescimento e, assim, causar a diminuição do ciclo da cultura (TRZECIAK, 2012).

Observa-se que quando a planta é cultivada em regiões com menor latitude ou quando a semeadura é atrasada, as plantas têm porte menor, com altura menor de inserção da primeira vagem, redução na área foliar e menor produtividade. Já com o aumento da latitude pode-se observar a ocorrência do retardamento da floração (GREEN et al., 1965; SEDIYAMA et al., 1972).

Apesar da dimensão do território brasileiro e da diversidade climática e edáfica, para a maior parte das regiões do país o mês de novembro detém as condições ideais termofotoperiódicas e de início da estação chuvosa, que permitem o melhor desenvolvimento e desempenho da cultura da soja (EMBRAPA, 2005), sendo que no Brasil as semeaduras de soja estão concentradas no período entre outubro e dezembro (ALMEIDA, 2005).

Assim como o fotoperíodo, a radiação solar absorvida pelas plantas influencia no rendimento de grãos de soja, sendo que a eficiência na utilização da radiação pela planta de soja ocorre com a máxima absorção da radiação fotossinteticamente ativa (PAR, do inglês Photosynthetically Active Radiation; MJ m⁻² dia⁻¹) pelos tecidos fotossintetizantes, principalmente as folhas (WINCK, 2017).

Adeboye et al. (2016) descrevem que estando exposta a ótimas condições ambientais, o acúmulo de biomassa pela planta de soja decorrente do processo fotossintético é altamente relacionado à absorção de radiação na faixa espectral da radiação fotossinteticamente ativa, que corresponde aos comprimentos de ondas do visível (400 a 700 nm). Carretero (2011) relata que a atividade de fotossíntese pelas plantas se eleva com o incremento na radiação luminosa, aumentando o número de vagens e sementes, sendo que, em contraposição, em períodos nublados ocorre o oposto, reduzindo este número.

Em relação a produtividade, Rocha et al. (2017) expõe que este parâmetro é determinado pela capacidade das plantas de soja captarem radiação solar e converterem em matéria seca realizando a fotossíntese. Em especial após a floração, este processo pode exercer grande influência na produtividade da cultura (KANTOLIC et al., 2013).

3.1.3.2 Temperatura

A soja é intolerante a temperaturas próximas a 0 °C (NOURI et al., 2011). Na presença de temperaturas iguais ou inferiores a 10 °C, o crescimento vegetativo da soja é pequeno ou inexistente. Temperaturas entre 20 e 30 °C possibilitam melhor adaptação das plantas de soja, sendo a temperatura de 25 °C adequada para emergência rápida e uniforme da plântula (MAPA, 2017).

Após a emergência da plântula de soja, para atingir resultados superiores, a temperatura ideal para o desenvolvimento da planta está em torno de 30 °C (FARIAS et al., 2007; MAPA, 2017). Em contrapartida, temperaturas maiores que 30 °C ocasionam estresse

por excesso de transpiração (ALMEIDA, 2005), e quando ultrapassam 40 °C têm resultado adverso no desenvolvimento da soja (MAPA, 2017), provocam danos na floração e diminuem a capacidade de retenção de vagens.

Câmara et al. (1997) mencionam resultados indicadores de que temperaturas muito elevadas afetam diretamente a produtividade, devido aos fatores ligados à formação da estruturação da planta. Tanto na fase vegetativa quanto na reprodutiva da soja, temperaturas elevadas ainda podem ocasionar maior perda de água pelo aumento da transpiração decorrente da queda da umidade relativa do ar e, conseqüentemente, maior diferença de gradiente hídrico do sistema planta-atmosfera. A umidade relativa é um fator inversamente proporcional à temperatura, que influencia diretamente na taxa de transpiração da planta.

Em relação à floração da soja, a indução deste processo ocorre apenas com temperaturas superiores a 13 °C. Entretanto, a cultivar pode florescer antes do tempo quando ocorrem altas temperaturas no local do cultivo por períodos prolongados, ocasionando diminuição da altura das plantas. (FARIAS et al., 2007). Em consequência, a redução da altura das plantas de soja causa perda de produtividade de grãos, pela menor formação de vagens, conseqüente do menor número de ramos para suporte.

Na maturação, a ocorrência de temperaturas muitas baixas pode provocar atraso na colheita. Em contrapartida, temperaturas muito elevadas podem ocasionar a diminuição da qualidade dos grãos e danos mecânicos durante a colheita (FARIAS et al., 2007).

Segundo Franchini et al. (2016), o fator climático com maior influência na produtividade da soja é a temperatura do ar. Assim, é necessário ter a temperatura dentro da faixa adequada durante o ciclo da soja para que melhores rendimentos sejam obtidos.

Ferreira e Rao (2011) identificaram que em 42% dos anos analisados ocorreu elevação da produtividade da soja correlacionada com a redução da temperatura máxima sobre o Rio Grande do Sul e em 27% dos anos para o Paraná. Neste mesmo sentido, Keigley et al. (1986) constataram em seu trabalho que o aumento do período de exposição a altas temperaturas durante o enchimento e a maturação ocasionou redução do potencial fisiológico da soja.

3.1.3.3 Disponibilidade Hídrica

A água constitui aproximadamente 90% do peso da planta de soja, estando presente na quase totalidade dos processos fisiológicos e bioquímicos. Assim, a soja é uma cultura que necessita de quantidades hídricas significativas para sua produção (SILVA, 2018).

A precipitação pluviométrica é a principal fonte que disponibiliza água para a produção de soja no mundo, visto que, apesar dos sistemas de irrigação serem eficazes, poucos produtores têm condições de adquirir esses sistemas. Entretanto, por ser um fator

atmosférico, a precipitação não tem previsibilidade e pode variar em quantidade e temporalidade durante o período de cultivo, levando a agricultura à exposição de incertezas, sendo que o déficit hídrico é apontado em estimativas como uma das principais fontes de perdas na produtividade agrícola (AYOADE, 2007).

Göpfert et al. (1993) relatam, que na agricultura brasileira, em relação a riscos climáticos a precipitação é o fator mais importante, podendo gerar prejuízos relacionados a seca e chuva em excesso, sendo o principal responsável por sinistros agrícolas.

No cultivo de soja, a precipitação pluviométrica é importante principalmente em dois períodos de desenvolvimento da soja: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. A escassez de água no período de floração-enchimento de grãos ocasiona alterações fisiológicas na planta, acarretando perda no rendimento de grãos (MAPA, 2017).

Entretanto, além do déficit, a ocorrência do excesso de água nesses períodos críticos também pode causar prejuízos na produtividade. Dentro deste contexto, Sentelhas e Battisti (2015) destacam que a disponibilidade de água em excesso reduz a produtividade em decorrência do favorecimento da ocorrência de doenças, assim como a alteração na qualidade dos grãos, quando este excesso hídrico coincide com o período de colheita.

Contudo, para suprir a carência hídrica durante a floração-enchimento de grãos (R1-R6), fase crítica para o desenvolvimento da cultura, o volume de água adequado para atender as necessidades da planta de soja situa-se entre 120 e 300 mm, sendo bem distribuídos no decorrer deste período (FARIAS, 2007).

O período em que a planta de soja possui maior demanda de água, ou seja, no ápice de sua carência hídrica, a planta necessita de 7 a 8 mm dia⁻¹ de água (EMBRAPA, 2008). Para expressar todo o seu potencial produtivo, durante seu ciclo a planta necessita de um total de água que varia entre 450 e 800 mm ciclo⁻¹ (LAPERA et al., 2018). A variação da quantidade de água necessária durante o ciclo da planta depende de fatores como condições climáticas, manejo da cultura, tipo da cultivar e duração do ciclo (EMBRAPA, 2008).

Na fase vegetativa, a ocorrência de secas prolongadas restringe o crescimento da planta de soja e, assim como na fase reprodutiva, porém de forma menos pronunciada, reduzem o rendimento de grãos (FARIAS, 2007).

Assim, observa-se que o cultivo da soja tem uma relação intrínseca com a variabilidade pluviométrica (VALE, 2017), sendo que nos cultivos dos Estados do Sul do Brasil, Paraná, Rio Grande do Sul e Santa Catarina, assim como no Mato Grosso do Sul, o principal risco relacionado à produção de soja está ligado à escassez de chuva (BAPTISTA et al., 2023). Como exemplo, na safra de 2004/2005, a redução de produtividade de grãos nos estados do Rio Grande do Sul e do Paraná atingiram mais de 78 e 23%, respectivamente, comparando-se à safra de 2002/2003, em que não ocorreram problemas de seca (FARIAS, 2007). Além disso, na safra 2011/2012, no Rio Grande do Sul, oeste de

Santa Catarina e sudoeste e oeste do Paraná ocorreu estiagem rigorosa, ocasionando grande incidência de sementes imaturas de soja (Embrapa, 2012), acarretando danos no rendimento da safra.

3.2 Defensivos agrícolas

3.2.1 Definição e aplicação

Defensivos agrícolas são definidos como substâncias que possuem em sua essência compostos de origem química ou biológica, que com sua aplicação visam prevenir, controlar, destruir ou repelir agentes patogênicos que sejam nocivos às plantas (CEZIMBRA, 2004). Esses produtos também podem ser usados no controle ou erradicação de plantas invasoras, ou seja, plantas que concorrem pelos mesmos recursos naturais com a cultura comercial.

Nos Estados Unidos da América, no ano de 1950, a partir do período conhecido como Revolução Verde, foi dado início à aplicação de defensivos agrícolas em grande escala, tendo como objetivo a modernização da agricultura e o aumento da produtividade (SIMON et al., 2022). Já no Brasil, a aplicação de defensivos agrícolas teve início nas décadas de 1960-1970 (RIBAS; MATSUMURA, 2009).

Atualmente, o Brasil, em decorrência de estar entre os maiores produtores de grãos do mundo, passou a ser também um dos maiores consumidores de defensivos agrícolas do globo (CARNEIRO et al., 2015). Segundo Velini e Carbonari (2019), o Brasil está em sétimo lugar no ranking de utilização de defensivos agrícolas por área, ficando atrás de países tais como: Japão, Coreia do Sul, Alemanha, França, Itália e Reino Unido. Considerando-se a comercialização dos defensivos agrícolas específicos por culturas no Brasil, os defensivos voltados para a cultura da soja ocupam pouco mais da metade do mercado (50,25%) (SINDIVEG, 2018).

Com a utilização de defensivos, realiza-se a proteção da espécie agrícola de interesse e, com isso, é possível atingir maior produtividade na plantação, sendo essa prática primordial para suprir as demandas atuais de quantidade e qualidade das safras sem que haja necessariamente um acréscimo na área destinada ao cultivo (AMATO, 2017).

Segundo AMATO (2017), a classificação dos defensivos agrícolas utilizados na agricultura é feita com base no ser vivo nocivo a que são destinados:

- Inseticida – insetos;
- Herbicida – plantas;
- Fungicida – fungos;
- Acaricida – ácaros;

- Moluscicida – moluscos;
- Nematicida – nematóides.

Para que os defensivos tenham sua ação otimizada, é necessário que estes atinjam o alvo. Assim, torna-se necessário o uso de tecnologia adequada para aplicação destes produtos. A tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas consiste na correta colocação do ingrediente ativo em contato direto com o alvo, na quantidade adequada e com o mínimo de contaminação ambiental (MATUO, 1990). Para isso, conhecimentos científicos são utilizados no intuito de proporcionar de forma correta e eficaz a deposição do produto no alvo pretendido, objetivando também o valor econômico empregado na atividade e obtendo o mínimo de contaminação de outras áreas (CONTIERO; BIFFE; CATAPLAN, 2018).

Com o emprego da tecnologia de aplicação busca-se um controle eficiente dos agentes patogênicos, com custo baixo analisando-se a interação entre vários fatores (cultura, praga, doença, planta daninha, produto, equipamento, ambiente) (VARGAS; GLEBER, 2005). Dentre esses fatores, as condições climáticas, intrínsecas de cada região, estão ligadas ao sucesso ou fracasso da aplicação de defensivos agrícolas (HASS, 2007).

Os defensivos agrícolas podem ser aplicados na forma líquida ou sólida, sendo que a aplicação de formulações líquidas é realizada com o uso de pulverizadores. Os pulverizadores mais comumente utilizados são os hidráulicos, onde o líquido é bombeado sob pressão para o bico e quando sai para o exterior através de um orifício rompe-se em pequenas gotas por decompressão. A aplicação pode ser realizada de forma manual, com pulverizador costal portado pelo trabalhador, com o uso de tratores ou avião (AMATO, 2017).

Já a aplicação de produtos sólidos pode ser feita por polvilhamento ou aplicação de grânulos. Neste tipo de aplicação são utilizadas polvilhadeiras ou granuladeiras manuais, aplicador costal, tratores ou avião (AZEVEDO; FREIRE, 2006).

Após a determinação do produto para aplicação, devem ser definidos o volume de calda e o tamanho de gotas em função da cultura, do índice de área foliar e das condições ambientais no momento da aplicação (ANTUNIASSI, 2012).

A aplicação de defensivos agrícolas é uma das atividades que possuem menor eficiência na agricultura em relação ao consumo de energia e gastos com os produtos químicos (GRAZIANO, 2016). Isso é resultado da dificuldade da colocação dos produtos somente no alvo almejado, sendo que, em função de particularidades desse alvo, tais como sua forma, tamanho e posição, a pulverização a ser produzida deve possuir características específicas para atingi-lo (CONTIERO; BIFFE; CATAPLAN, 2018).

Segundo Conceição e Santiago (2003), a quantidade do produto químico que não atinge o alvo não terá nenhuma eficácia e se constituirá em perda. Com isso, a qualidade da aplicação do produto possui impacto no sucesso do controle de pragas, fitopatógenos e plantas daninhas (AZEVEDO; FREIRE, 2006). O resultado desse procedimento depende de

elementos como clima, agente fitopatogênico e dos parâmetros operacionais (GANDOLFO, 2005).

3.2.2 Influência das condições climáticas na aplicação

A presença de fatores climáticos adequados é de grande importância na aplicação de defensivos agrícolas por via líquida, pois possuem influência na dinâmica do produto lançado no ar (SANTIAGO, 2016). Dentre os fatores climáticos, a temperatura, a umidade relativa do ar, a velocidade do vento, a presença de orvalho e a ocorrência de chuvas logo após as aplicações são os principais fatores a serem considerados nas aplicações de defensivos agrícolas (BOLLER et al., 2011), pois são decisivos para a eficiência do produto aplicado (MATTHEWS, 2000).

Além disso, é imprescindível o uso de defensivos agrícolas de forma racional (MELO et al., 2012), evitando que o meio ambiente esteja exposto ao excesso de produto e reduzindo gastos financeiros. Tem-se que aproximadamente 60% das classes de defensivos utilizados no Brasil são herbicidas; sendo assim, essa porcentagem reflete os produtos que são empregados para controlar a incidência de plantas daninhas que competem com o cultivo comercial pelos mesmos recursos ambientais, influenciando negativamente no seu desenvolvimento (SINDIVEG, 2020).

A aplicação de herbicidas deve proporcionar que o produto atinja o alvo e seja absorvido pelas plantas daninhas em concentração tóxica o suficiente para atingir o controle dessas plantas, sendo eficiente, com menor uso de recursos e diminuindo o risco de contaminação humana e ambiental (VOLL et al., 2010).

No contexto atual, os produtores têm adotado a aplicação de defensivos com taxas cada vez mais baixas, buscando a otimização do rendimento operacional das máquinas e minimização dos custos com aplicações. Porém, ao se considerar a possibilidade de redução da taxa de aplicação, deve-se analisar as condições ambientais para que não haja problemas adicionais com as perdas de produto, pois deve-se ponderar que as metodologias usadas para aplicação de defensivos agrícolas possuem obstáculos representados pela deriva e evaporação de produto para o ambiente (SANTIAGO, 2016).

As perdas geradas por evaporação são de alta grandeza e necessitam de atenção especial em relação aos fatores climáticos para sua minimização, sendo que temperaturas elevadas aliadas a baixa umidade relativa do ar aceleram a evaporação do produto aplicado (GRAZIANO, 2016).

Para evitar a evaporação do produto deve-se monitorar continuamente a temperatura e a umidade relativa do ar, sendo recomendada temperatura inferior a 30 °C e umidade relativa superior a 55% (ANDEF, 2004; RAETANO, 2011). Devem ser descartados os períodos do dia em que o produto evapora mais rapidamente, por isso,

recomenda-se que as pulverizações sejam feitas pela manhã e ao final da tarde (MATUO, 1990; BALAN et al., 2008). Porém, deve-se tomar cuidado na pulverização nestes períodos, pela maior ocorrência, no caso de gotas finas, de suspensão dessas gotas, em decorrência da estabilidade atmosférica, que posteriormente podem deslocar estas gotas para fora da área alvo, estando presentes os fenômenos denominados de inversão térmica e correntes convectivas (ANTUNIASSI et al., 2017).

Ressaltando as perdas por evaporação, os autores Berg et al. (1999) e Carlsen et al. (2006a) relatam que a constante falta de acompanhamento das condições psicrométricas, representadas pela temperatura e a umidade relativa do ar, é capaz de ocasionar perdas elevadas de produto, podendo atingir aproximadamente 25% do produto aplicado. A depender da temperatura e da UR no decorrer da aplicação e do diâmetro das gotas, essas gotas podem sofrer diminuição relevante de seu tamanho, podendo se tornar gotas muito pequenas e, com isso, correndo o risco de sofrer deriva considerável, ou até evaporar totalmente (ARAÚJO, 2019).

Assim como a evaporação, durante a aplicação de defensivos agrícolas, a deriva ocasiona grandes perdas. Segundo Langaro et al. (2014), deriva é a parcela de pulverização que é desviada para áreas ou locais onde não foi destinada a aplicação do produto.

Conceitualmente, a deriva pode ser dividida em endoderiva e exoderiva (PAULA et al. 2021). A endoderiva ocorre quando há perda do produto dentro da própria área destinada a aplicação. É considerada endoderiva a perda de produto por escorrimento de herbicida da planta alvo para o solo, ocasionada por gotas grandes ou excesso de calda. Já a exoderiva ocorre quando existe deslocamento do produto para fora da área de aplicação. Essa forma de deriva normalmente é ocasionada pela ação do vento, da evaporação da água usada no produto e tamanhos inferiores de gotas (RAMOS, 2001).

A velocidade do vento influencia diretamente a ocorrência de deriva, que é o deslocamento lateral de gotas aplicadas (MARTINI et al., 2015). Assim, quanto maior for essa velocidade durante a aplicação, maior será a deriva de produtos (CARLSEN et al., 2006b; NUYTENS et al., 2006). Além disso, quando a velocidade do vento se encontra inferior ao mínimo recomendado para a aplicação não ocorre uma distribuição adequada do produto sobre a folhagem e, conseqüentemente, podem ser geradas perdas por inversão térmica (GRAZIANO, 2016).

Destacando a importância da velocidade do vento para a aplicação de defensivos agrícolas, os autores Contiero, Biffe e Cataplan (2018) relatam que no decorrer das pulverizações, a velocidade do vento deve situar-se entre 3 e 8 km h⁻¹, pois a ocorrência de ventos superiores a 8 km h⁻¹ favorecem, durante a aplicação de defensivos agrícolas, a deriva das gotas, e em contraposição a presença de ventos inferiores a 3 km h⁻¹ podem fazer com que as gotas fiquem suspensas no ar e não alcancem o alvo desejado.

Xinyu et al. (2014), em sua análise, puderam observar que ocorre redução da deposição das gotas que sofrem deriva com o aumento da distância em relação ao alvo. Assim, essa observação expressa que, se ocorrer déficit no monitoramento, haverá falha na uniformidade de aplicação.

3.2.3 Relação entre consumo de defensivos e retorno financeiro e produtivo

O agronegócio está vivendo um momento importante e definitivo para quem deseja continuar no ramo agrícola nas safras agrícolas precedentes, pois tem-se como dificuldade: a tendência de estagnação da produtividade aplicando-se as técnicas utilizadas; o entrave do aumento dos custos de produção; a ocorrência e as perdas decorrentes de pragas e doenças na cultura; e a imprevisibilidade das condições climáticas que trazem grandes riscos de perda da safra (CASTRO et al., 2006; BARRANQUEIRO; DALCHIAVON, 2017). Contudo, para elevar a margem de retorno econômico é necessário aplicar estratégias mais eficientes na redução dos custos de produção (CONAB, 2017).

Dentro deste escopo, a eficácia na aplicação de defensivos agrícolas é essencial para atingir esta meta na produção agrícola. Assim, na produção agrícola a aplicação de defensivos agrícolas é um dos acontecimentos que exigem maior atenção, pois necessita que seja realizado no momento oportuno, cobrindo o alvo adequadamente, com o mínimo de danos à cultura e com custo acessível dos defensivos agrícolas e de sua aplicação (COSTA, 2009). Os resultados da alta eficiência de aplicação são alcançados quando se obtém o controle eficaz dos agentes fitopatogênicos e se atinge no mínimo a manutenção da produtividade da cultura (ZAIDAN, 2012).

O controle químico, representado pela aplicação de defensivos, é de grande importância no modelo de desenvolvimento da agricultura do Brasil, sendo uma ferramenta com destaque no manejo integrado de pragas, trazendo vantagens consideráveis quando comparada com outras práticas, sendo constatado em alguns casos: controle mais efetivo; menor custo; de rápida aplicação e resultado; requerendo menor nível de conhecimento por parte do aplicador (REDOAN, 2011; MMA, 2017). Para usufruir dessas vantagens, o produto tem de ser aplicado no momento e forma correta.

Dentre os fatores ligados à eficiência na aplicação, a deposição das gotas do produto no alvo é um dos mais importantes (CUNHA et al., 2008), pois para eliminar ou controlar determinado problema no campo, torna-se necessário que ocorra uma deposição mínima de defensivo no alvo, com o intuito de evitar prejuízos econômicos futuros (MATUO, 1990). Em contraposição, uma aplicação quando mal realizada gera prováveis prejuízos ao produtor, tais como a necessidade de reaplicação do produto na área e até mesmo a perda do potencial produtivo da lavoura (ZAIDAN, 2012), conseqüentemente onerando o cultivo.

Assim, a pulverização necessita de cuidados e de atenção especial, pois a aplicação de defensivos agrícolas apresenta perdas que giram em torno de 40 a 60% em cada pulverização, sendo que 27% são perdas por evaporação, e nesta está inclusa a perda por evaporação do antes e depois da gota chegar ao alvo. No Brasil, em 2017 utilizou-se a quantidade de 539,9 mil toneladas de defensivos agrícolas, com custo de US\$ 8,8 bilhões, sendo que 27% do investimento em defensivos foi perdido por evaporação do produto, ou seja, 2,37 bilhões de dólares e 145,77 mil toneladas foram perdidos para o ar (ANDEF, 2019), sem trazer benefícios para o cultivo comercial.

Segundo Santiago (2016), o custo com defensivos agrícolas utilizados no ano de 2016 para o controle da ferrugem asiática no Brasil, produto à base de Azoxistrobina + ciproconazol, girava em torno de U\$ 18,52 ha⁻¹, sendo como exemplo o custo total para o controle da ferrugem em uma propriedade com área de 3.000 ha era de U\$ 55.710,00. Ao levar em consideração as porcentagens de perdas por evaporação de 17% e de deriva de 32% do produto para controle de ferrugem asiática que ocorre nas lavouras brasileiras, o custo da perda por evaporação era de U\$ 3,15 por hectare, totalizando U\$ 9.470,70 e, por deriva, de U\$ 5,94 por hectare, totalizando U\$ 17.827,00 em uma única pulverização.

A CONAB (2016) inclui como custo variável itens utilizados na aplicação de defensivos agrícolas, tais como: os gastos com máquinas; mão de obra temporária e permanente; e defensivos agrícolas. Assim, torna-se evidente o peso desta técnica no cultivo, impactando positiva ou negativamente nos custos finais da lavoura.

Para se minimizar os custos com aplicação de defensivos agrícolas, potencializando o investimento, é essencial se considerar as condições climáticas, pois este fator possui grande impacto na qualidade da aplicação, sendo que, com grande frequência, a qualidade da aplicação de defensivos agrícolas está relacionada à obtenção de uma boa colheita ou em oposição a geração de prejuízos consideráveis ao produtor (COSTA, 2009).

A rentabilidade do produtor em decorrência da produção de grãos possui relação com a sua eficiência técnica e econômica. A eficiência técnica abrange aspectos físicos da produção, como, por exemplo, a produtividade; enquanto, a eficiência econômica diz respeito aos aspectos monetários (ARTUZO et al., 2018). Assim, a partir dessa linha de raciocínio, o processo produtivo de grãos objetiva o máximo lucro ou o menor custo (MUNCH et al., 2014).

O mercado da soja, dada a sua dinâmica, atua com características com grande proximidade à concorrência perfeita. Logo, o controle dos custos e o aumento da produtividade das lavouras são fatores determinantes para a lucratividade dos produtores rurais (ARTUZO et al., 2018). Com isso, pela sua grande importância no cultivo de soja, torna-se fundamental analisar os custos envolvidos com a aplicação e os retornos financeiro e produtivo de defensivos agrícolas.

4 REFERÊNCIAS

ADEBOYE, O. B.; SCHULTZ, B.; ADEKALU, K. O.; PRASAD, K. Impact of water stress on radiation interception and radiation use efficiency of soybeans (*Glycine max L. Merr.*) in Nigeria. **Brazilian Journal of Science and Technology**, v. 3, n. 15, p. 1-21, 2016.

ALBUQUERQUE, P. E. P. de; ANDRADE, C. de L. T. de.; Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais. **Circular Técnica**, 10. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 14p.

ALMEIDA, I. R. **O clima como um dos fatores de expansão da cultura da soja no Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso**. 2005. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual de São Paulo – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, SP, 2005.

AMATO, T. C. de. **Estudo das formulações de herbicida**: Interação da superfície das folhas de soja e de daninhas com tensoativos presentes em formulações e avaliação da adsorção de glifosato sobre CaCO₃. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo – Instituto de Química, São Paulo, 2017.

ANTUNIASSI, U. R. **Tecnologia de aplicação**: conceitos básicos, inovações e tendências. Apostila preparada para os cursos de graduação e pós-graduação em agronomia. FCA/UNESP: Botucatu/SP, 2012.

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

ARAÚJO, E. C. **Considerações sobre deriva e outros fundamentos técnicos na aplicação aérea e terrestre de agrotóxicos**. Versão 1.0 – 27/22/2019. Disponível em: <https://sindag.org.br/wp-content/uploads/2021/01/Consideracoes-sobre-deriva-versao-1.pdf> Acessado em: 29 mar. 2023.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SOUZA, Â. R. L. de; SILVA, L. X. da. Gestão de custos na produção de milho e soja. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 273-294, 2018.

ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

ANDEF – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. **Agrotóxico no Brasil**: padrões de uso, política de regulação e prevenção da captura regulatória. Disponível em: Acesso em: 01 out. 2019.

ANDEF – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. **Manual de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários**. Campinas: Linea Creativa, 2004. 50p.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: Difel, 2007.

AZEVEDO, F. R. de; FREIRE, F. das C. O. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, Documentos, 102, 2006. 47p.

BAPTISTA, C. H. M. S.; OLIVEIRA, L. F.; GOMES, L.; FARIA, W. R.; MOURA, F. R. **A variabilidade climática e a produtividade da soja: uma análise para as regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil entre 2002 e 2016.** Disponível em: Soja-ENSO-Nomes.pdf (brsa.org.br). Acesso em: 01 out. 2019.

BALAN, M. G.; ABI-SAAB, O. J. G.; SILVA, C. G. da; RIO, A. do. Deposição da calda pulverizada por três pontas de pulverização sob diferentes condições meteorológicas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 2, p. 293-298, 2008.

BARRANQUEIRO, H. R.; DALCHIAVON, F. C. Aplicação de azoto na cultura da soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 196-204, 2017. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA16030>

BERG, F.; KUBIAK, R.; BENJEY, W. G.; MAJEWSKI, M. S.; YATES, S. R.; REEVES, G. L.; SMELT, J. H.; LINDEN, A. M. A. Emission of pesticides into the air. **Water, Air and Soil Pollution**, New York, v. 115, p. 195-218, 1999.

BOLLER, W.; FERREIRA, M. C.; COSTA, D. I. da. Condições do ar e angulação das folhas influenciam a qualidade das pulverizações na cultura da soja. **Revista Plantio Direto**, v. 121, p. 33-37, 2011.

BREVEDAN, R. E.; EGLI, D. B. Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. **Crop Science**, n. 43, p. 2083-2088, 2003.

CÂMARA, G. M. S.; SEDIYAMA, T.; DOURADO-NETO, D.; BERNARDES, M. S. Influence of photoperiod and air temperature on the growth, flowering and maturation of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Scientia Agricola**, v. 54, n. especial, p.149-154, 1997.

CARLSEN, S. C. K. SPLIID, N. H.; SVENSMARK, B. Drift of 10 herbicides after tractor spray application. 1. Secondary drift (evaporation). **Chemosphere**, Philadelphia, v. 64, p. 787-794, 2006a.

CARLSEN, S. C. K.; SPLIID, N. H.; SVENSMARK, B. Drift of 10 herbicides after tractor spray application. 2. Primary drift (droplet drift). **Chemosphere**, Philadelphia, v. 64, p. 778-786, 2006b.

CARNEIRO, F. F.; AUGUSTO, L. G da S.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; BÚRIGO, A. C. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** São Paulo: Expressão Popular. 2015.

CARRETERO, D. Fisiologia de produção de soja: princípios e processos na construção da produtividade. **Boletim de pesquisa de soja.** Fundação MT, p. 429-440, 2011.

CARVALHO, L. C.; BUENO, R. C. O. de F.; CARVALHO, M. M.; FAVORETO, A. L.; GODOY, A. F. Novas técnicas de arranjos de semeadura na cultura da soja. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1940, 2013.

CASTRO, S. H. de; REIS, R. P.; LIMA, A. L. R. Custos de produção da soja cultivada sob sistema de plantio direto: estudo de multicaseiros no oeste da Bahia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 6, p. 1146-1153, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-7054200600060001>

CAVALETT, O. **Análise do ciclo de vida da soja.** 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP, 2008.

CESB – COMITÊ ESTRATÉGICO SOJA BRASIL. **Desafios do Sistema Produtivo**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-setoriais/soja/anos-anteriores/desafios-do-sistema-produtivo-da-soja-32.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2020.

CEZIMBRA, C. M. **Uso de Agrotóxicos ou Produtos Fitossanitários**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido. 2004.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Compêndio de Estudos Conab/ Companhia Nacional de Abastecimento**, v. 1, Brasília: Conab, 2016.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a Agropecuária Safra 2019/2020 – Volume 7**, Brasília: Conab, 2020.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Série histórica: Soja**. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2017.

CONCEIÇÃO, M. Z.; SANTIAGO, T. Segurança no manuseio e na aplicação de produtos fitossanitários. In: ZAMBOLIM, L. **Produção integrada de fruteiras tropicais**. p.313-330. Viçosa: UFV, 2003.

CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CATAPAN, V. Tecnologia de Aplicação. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, p. 401-449, 2018.

COSTA, D. I. DA. **Eficiência e qualidade das aplicações de fungicidas por vias terrestres e aérea no controle de doenças foliares no rendimento de grãos de soja e milho**. 2009. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2009.

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R. C.; GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, J. H. M.; OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D. P. Manejo da cultura do milho. In: **A cultura do milho**. 2008. p. 171-195.

CUNHA, J. P. A. R.; MOURA, E. A. C.; SILVA JUNIOR, J. L. da; ZAGO, F. A. JULIATTI, F. C. Efeito de pontas de pulverização no controle químico da ferrugem da soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 283-291, 2008.

DOMINGUES, R. C. R. **Análise do Comportamento da produtividade da soja no Mato Grosso**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade de Brasília. Brasília, 2019.

EGEWARTH, V. A. **Características agronômicas, adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de soja**. 2019. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon, 2019.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2012/2013 e 2013/2014**. XXXIX Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul: Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Tecnologias de produção de soja – Paraná 2005**. Londrina: Embrapa Soja: 2004. 224p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262p. (Embrapa Soja. Sistemas de produção, n. 13).

FAGAN, E. B. **A cultura de soja: modelo de crescimento e aplicação da estrobilurina piraclostrobina**. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP, 2007.

FARIAS, J. R. B. NEPOMUCENO, A. E. NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 10p (Embrapa Soja. Circular Técnica, 48).

FERREIRA, D. B.; RAO, V. B. Recent climate variability and its impacts on yields in Southern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 105, p. 83 - 97, 2011.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; NITSCHKE, P. R.; DEBIASI, H.; LOPES, I. de O. N. **Variabilidade espacial e temporal da produção de soja no Paraná e definição de ambientes de produção**. Londrina: Embrapa Soja: 2016.

GANDOLFO, M. A. Regulagem de pulverizadores. In: COOPAVEL; COODETEC; BAYER (Org.). **Tecnologia de aplicação de agroquímicos agrícolas III**. COOPAVEL/COODETEC/BAYER. Cascavel: CropScience, 2005. p.15-20.

GÖPFERT, H.; ROSSETTI, L. A.; SOUZA, J. **Eventos generalizados e seguridade agrícola**. Brasília: IPEA, 1993. 78p.

GRAZIANO, C. E. P. L. **Qualidade de aplicação de produtos fitossanitários com duas classes de gotas em três períodos do dia**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2016.

GREEN, D. E.; PINNEL, C. L.; CAVANAN, L. E.; WILLIAMS, L. F. Effect of planting date and maturity date on soybean seed quality. **Agronomy Journal**, Madison, v. 57, n. 2, p. 165-168, 1965.

HASS, M. **Efeito de horários de aplicação de fungicida no controle de phakopsorapachyrhizi na cultura da soja**. Dissertação (Mestrado em Profissional em Desenvolvimento Rural) – Universidade de Cruz Alta, Cruz Alta, 2017.

KANTOLIC, A.G.; PERALTA, G.E.; SLAFER, G.A. Seed number responses to extended photoperiod and shading during reproductive stages in indeterminate soybean. **European Journal of Agronomy**, v. 51, p. 91-100, 2013.

KEIGLEY, P. J.; MULLEN, R. E. Changes in soybean seed quality from high temperature during seed fill and maturation. **Crop Science**, v. 26, p. 1212-1216, 1986.

LANGARO, A. C.; NOHATTO, M. A.; PERBONI, L. T.; TAROUCO, C. P.; AGOSTINETTO, D. Alterações fisiológicas na cultura do tomateiro devido à deriva simulada de herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 40-46, 2014.

LAPERA, C. A. I.; LIMA, M. W. de P.; VILARINHO, M. S. **Ecofisiologia de culturas agrícolas: ecofisiologia da soja**. Editora da Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. 120p.

LITTLEJOHNS, D. A.; TANNER, J.W. Preliminary studies on the cold tolerance of soybean seedlings. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 56, 1976, p. 371–375.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Portaria Nº 16, de 20 de julho de 2017**. Aprova o ZARC para o Estado do Paraná. Brasília, Diário Oficial da União de 21 de julho de 2017.

MARTINI, A. T.; AVILA, L. A.; CAMARGO, E. R.; MOURA, D. S.; MARCHESAN, M. G.; PIVETTA, A. P. Influência de Adjuvantes e Pontas de Pulverização na Deriva de Aplicação do Glyphosate. **Planta daninha**, Viçosa, v. 33, n. 2, 2015

MATTHEWS, G. A. **Pesticides application methods**. Malden: Blackwell Sciences, 2000. 432p.

MATUO, T. **Técnicas de aplicação de defensivos agrícolas**. Jaboticabal: Funep, 1990. 139p.

MELO, M. S. C.; ROSA, L. E.; BRUNHARO, C. A. D. C. G., NICOLAI, M., CHRISTOFFOLETI, P. J. Alternativas para o controle químico de capim-amargoso (*Digitaria insularis*) resistente ao glyphosate. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 11, n. 2, p. 195-203, 2012.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Disponível em: www.mma.gov.br/seguranca-quimica/agrotoxicos. Acessado em: 12 jul. 2020.

MOTA, M. C. **Análise de Risco Edafoclimático para a Soja Cultivada na Região do Cone Sul de Rondônia**: Diagnóstico Atual e em Cenários Futuros do Clima. 2019. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, AM, 2019.

MUNCH, T.; BERG, M.; MIRSCHEL, W.; WIELAND, R.; NENDEL, C. Considering cost accountability items in crop production simulations under climate change. **European Journal of Agronomy**, v. 52, p. 57-68, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.01.005>

NEUMAIER, N; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; OYA, T. Estresses de ordem ecofisiológica. In: BONATO, E. R. **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. p.45 - 64.

NOURI, M. Z.; TOORCHI, M.; KOMATSU, S. Proteomics approach for identifying abiotic stress responsive proteins in soybean. SUDARIC, A. (Ed.). **Soybean—Molecular Aspects of Breeding**, InTech (2011). doi: 10.5772/1953

NUYTTENS, D.; SCHAMPHELEIRE, M.; STEURBAUT, W.; BAETENS, K.; VERBOVEN, P.; NICOLAÏ, B.; RAMON, H.; SONCK, B. Experimental study of factors influencing the risk of drift from field sprayers, Part1: Meteorological conditions. **Aspects of Applied Biology**, Warwick, v. 77, p. 1-8, 2006.

PAULA, D. F. de; MENDES, K. F.; BROCHADO, M. G. da S.; LAUBE, A. F. S.; RAVE, L. A. B. Técnicas para evitar a deriva e volatilização de herbicidas. **Desenvolvimento sustentável, interdisciplinaridade e Ciências Ambientais** 2, 2021. DOI: 10.22533/at.ed.691211304

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos a aplicações. Guaíba: AGROPECUARIA, 2002.

PIEROZAN JUNIOR, C.; KAWAKAMI, J.; SCHWARZ, K.; UMBURANAS, R. C.; DEL CONTE, M. V.; MÜLLER, M. M. L. Sowing dates and soybean cultivars influence seed yield, oil and protein contents in subtropical environment. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, p. 188, 2017.

RAETANO, C. G. Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (Org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. Cap. 1, p. 15-26. Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011.

RAMOS, H. H. No lugar certo máquinas e pulverização. **Revista Cultivar**, Pelotas, v.1, n. 6, p. 4, 2001.

REDOAN, A.C. **Seletividade de inseticidas para *Doru luteipes* (Scudder, 1876) (Dermaptera: Forficulidae) com registro para o controle da *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho**. 2011. 104p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) – UFLA (Universidade Federal de Lavras), 2011.

REIS, L. C. dos. **Análise da variabilidade climática sobre a produtividade da soja no município de Bom Jesus (PI)**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Climáticas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

RIBAS, P. P.; MATSUMURA, A. T. S. A química dos agrotóxicos: impacto sobre a saúde e meio ambiente. **Revista Liberato**, v. 10, n. 4, p. 149-158, 2009.

RIO, A., SENTELHAS, P. C., FARIAS, J. R. B., SIBALDELLI, R. N. R., FERREIRA, R. C. Alternative sowing dates as a mitigation measure to reduce climate change impacts on soybean yields in southern Brazil. **International Journal of Climatology**, 2015.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. 1997. **How a corn plant develops**. Special Report No.48, Iowa State University Cooperative Extension Service: Ames, Iowa, USA.

ROCHA, T. S. M.; STRECK, N. A.; ZANON, A. J.; MARCOLIN, E.; PETRY, M. T.; TAGLIAPIETRA, E. L.; BARLEST, D.; BEXAIRA, K. P. Performance of soybean in hydromorphic and nonhydromorphic under irrigated or rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 5, p. 293-302, 2017.

SANTIAGO, H. **Simulação de perdas por evaporação na pulverização aérea**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

SEDIYAMA, C. S.; VIEIRA, C.; SEDIYAMA, T.; CARDOSO, A. A.; ESTEVÃO, H. H. Influência do retardamento da colheita sobre a deiscência das vagens e sobre a qualidade e poder germinativo das sementes de soja. **Experientiae**, Viçosa, v. 14, n. 5, p.117-141, 1972.

SENTELHAS, P. C., BATTISTI, R. Clima e produtividade da soja: efeitos nas produtividades potencial, atingível e real. In: FUNDAÇÃO MT (Org.). **Boletim de pesquisa 2015/2016**, 17. ed. Rondonópolis: Fundação MT, p. 18-43, 2015.

SILVA, R. A. **E Impacto das mudanças climáticas sobre a produtividade e pegada hídrica da soja cultivada na região do Matopiba**. 2018. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, 2018.

SILVA, R. R. da; SARTORI, M. da G. B.; WOLLMANN, C. A. Relação entre precipitação pluviométrica e produtividade da cultura de soja no município de Ibirubá-RS. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 27, p. 296-314, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.11606/rdg.v27i0.510>

SIMON, P. C.; CECATTO, A. P.; REOLON-COSTA, A.; CAMERA, J. N.; CATTANEO, R. Legislação e orientação técnica: perspectiva dos produtores frente ao uso de defensivos agrícolas. **Brazilian Journal Development**, v. 8, n. 7, p. 49926-49945, 2022.

SINDIVEG – SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PRODUTOS PARA DEFESA VEGETAL. **Comercialização de Defensivos Agrícolas no Brasil: dados 2018**, São Paulo, SP, 2018. Disponível em: <http://www.sindiveg.org.br>. Acesso em: 31 out. 2020.

SINDIVEG - Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Vegetal. **O que você precisa saber sobre defensivos agrícolas**. 2020. Disponível em: <https://sindiveg.org.br>. Acesso em: 27 dez. 2020.

TRZECIAK, M. B. **Formação de sementes de soja**: aspectos físicos, fisiológicos e bioquímicos. 2012. Tese (Doutorado em Ciências – Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

VALE, N. K. A. **Trajatória da produtividade da soja em função da variabilidade das chuvas no estado de Goiás**. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

VARGAS, L; GLEBER, L. Tecnologia de aplicação de defensivos. **Embrapa Uva e Vinho**, Sistemas de Produção 7, dez. 2005.

VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A. Brasil: Informando corretamente sobre o uso e os riscos dos agrotóxicos. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOOLER, W. **Tecnologia de aplicação para culturas anuais**. 2a. ed., Rev. amp. - Passo Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2019. p. 367-373.

VOLL, E.; FERREIRA, A. C. B.; GAZZIERO D. L. P.; ADEGAS, F. S. **Tecnologia de aplicação de herbicidas**. Agência Embrapa de informações técnicas-AGEITEC. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 01 dez. 2020.

WINCK, J. E. M. **Morfologia e componentes produtivos da soja em arranjos de plantas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

XINYU, X.; KANG, T.; WEICAI, Q.; LAN, Y.; ZHANG, H. Drift and deposition of ultra-low altitude and low volume application in paddy field. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Beijing, v. 7, n. 4, 2014.

ZAIDAN, S. E. **Influência de diferentes pontas de pulverização nas aplicações terrestres em alta velocidade na cultura da soja (Glycine max)**. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2012.

5 ARTIGO 1 - VARIAÇÕES CLIMÁTICAS REGIONAIS E PRODUTIVIDADES ALCANÇADAS EM SAFRAS DE SOJA

Resumo: O monitoramento das condições climáticas durante o ciclo da soja é essencial no planejamento agrícola. A variação dessas condições, tais como a temperatura, precipitação e umidade relativa, influencia diretamente o desempenho produtivo da cultura. Com isso, o objetivo do trabalho foi verificar os efeitos das condições climáticas sobre a produtividade da soja, realizando o levantamento das temperaturas mínima, máxima e média e da precipitação em períodos quatorzenais, coletando os dados de produtividades alcançadas nas safras agrícolas de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020 de soja em área comercial com 15,5 ha, localizada no município de Céu Azul no estado do Paraná. Com relação aos resultados, para as três safras de soja a temperatura do ar se manteve adequada para o desenvolvimento da cultura na maior parte do ciclo. Já os valores observados para a precipitação indicaram a ocorrência de chuva bem distribuídas na safra de 2019/2020, sendo que na safra de 2017/2018 houve distribuição de chuvas irregular, entretanto não houve períodos com ausência de precipitação. Porém, o grande déficit de precipitação ocorreu na safra de 2018/2019, em que a falta de chuva ocorreu em 28 dias, entre 03/12/2018 e 30/12/2018, indicando estiagem neste período. A produtividade da soja obtida na área na safra de 2019/2020 foi de 3,727 t ha⁻¹, superior às outras duas safras, sendo que a safra 2018/2019 atingiu o menor valor, 2,394 t ha⁻¹, indicando a influência das condições climáticas na produtividade obtida.

Palavras-chave: Condições climáticas, Produtividade da soja, Umidade do solo, Temperatura do ar.

REGIONAL WEATHER VARIATIONS AND YIELDS ACHIEVED IN SOYBEAN CROPS

Abstract: Monitoring weather conditions during soybean cultivation is essential in agricultural planning. The variation of these conditions, such as temperature, precipitation, relative humidity, and soil moisture directly influences the productive performance of crop. Hence, the objective of the work was to verify the effects of weather conditions on the soybean yield, carrying out the survey of the minimum, maximum and average temperatures and the total precipitation during the cultivation of the soybean and collecting the data of productivity reached in the agricultural harvests of 2017/2018, 2018/2019, and 2019/2020 of soybeans in a commercial area with 15.5 ha, located in the city of Céu Azul, Paraná State, Brazil. Regarding the results for the three soybean harvests, the air temperature remained adequate for the development of the crop in most of the cycle. The values observed for precipitation indicated the occurrence of well-distributed rainfall in the 2019/2020 harvest, and in the 2017/2018 harvest there was irregular rainfall distribution, however there were no periods of inexistent precipitation. However, the large precipitation deficit occurred in the 2018/2019 harvest, in which the lack of rain occurred in 28 days, between 12/03/2018 and 12/30/2018, indicating a drought in this period. The soybean yield obtained in the area in the 2019/2020 harvest was 3.727 t ha⁻¹, higher than the other two soybean harvests, being that 2018/2019 harvest reaching the lowest value, 2.394 t ha⁻¹, indicating the influence of the weather in the soybean yield achieved.

Keywords: Weather conditions, Soybean yield, Soil moisture, Air temperature.

5.1 INTRODUÇÃO

As culturas agrícolas ainda encontram barreiras para alcançar altos rendimentos em decorrência das variações climáticas, sendo que o clima é o principal fator determinante da

produtividade em cultivos agrícolas (CARMELO, 2018). Segundo Kurukulasuriya e Rosenthal (2013), a agricultura é o setor mais vulnerável aos impactos climáticos. Assim, o monitoramento dos principais parâmetros climáticos é de fundamental importância para mensurar o impacto das variações climáticas em cultivos agrícolas.

O clima é de extrema importância, pois dá suporte e condições para o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Além disso, a eficiência na produção agrícola é influenciada por alterações no padrão das condições climáticas, inclusive mudanças anuais e subanuais de temperatura e precipitação (SNYDER et al., 2021). A precipitação associada ao déficit hídrico é o principal fator limitante da produtividade da soja no Brasil, porém outras variáveis atmosféricas, tais como a temperatura do ar, o fotoperíodo e a radiação solar podem tanto intensificar quanto atenuar os efeitos do déficit hídrico no rendimento da soja (SENTELHAS et al., 2015).

A cultura da soja é capaz de tolerar, em alguns casos, o déficit hídrico em períodos reduzidos, porém pode apresentar redução significativa na produtividade em longos períodos sem chuva. Sendo assim, a queda de desempenho decorrente do déficit hídrico tem grande importância, pois o desenvolvimento da cultura é significativamente afetado pela baixa precipitação e por chuvas mal distribuídas (ANDA et al., 2020). Além disso, a soja apresenta maior sensibilidade ao déficit hídrico no estágio reprodutivo (MONTROYA et al., 2017).

Ferrari, Paz e Silva (2013) relatam também que o excesso de precipitação pode ocasionar redução da produtividade da soja em razão da diminuição do potencial hídrico foliar e, conseqüente, fechamento estomático, prejudicando a fotossíntese, reduzindo o arejamento do solo, o desenvolvimento das raízes e a fixação do nitrogênio no solo.

Estudos de cultivo de soja apontam alterações na produtividade decorrentes das variações climáticas (NÓIA JUNIOR; SENTELHAS, 2019), da temperatura (FERREIRA; RAO, 2011) e da precipitação (FARIAS, 2007; BOTTEGA et al., 2013).

Neste trabalho o objetivo foi verificar os efeitos das condições climáticas nas produtividades alcançadas pela cultura da soja nas safras de 2018/2019, 2019/2020 e 2020/2021 em área comercial na cidade de Céu Azul na região oeste do estado do Paraná.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Características da área, clima e solo

O trabalho foi realizado em três safras agrícolas, 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020, no cultivo de soja em uma área comercial localizada no município de Céu Azul, na região oeste do estado do Paraná. A área tem aproximadamente 15,5 ha e sua localização geográfica central tem coordenadas geográficas aproximadas de 25°06'32 " S e 53°49'55"W.

O clima local é classificado como Cfa (clima temperado úmido com verão quente), de acordo com a classificação de Köppen. Trata-se de um clima úmido, sem estação seca e quente no verão (APARECIDO et al., 2016). A temperatura média anual no município de Céu Azul é de 18,5 °C e a precipitação média anual é de 1890 mm. A Figura 1 representa a localização da área comercial.

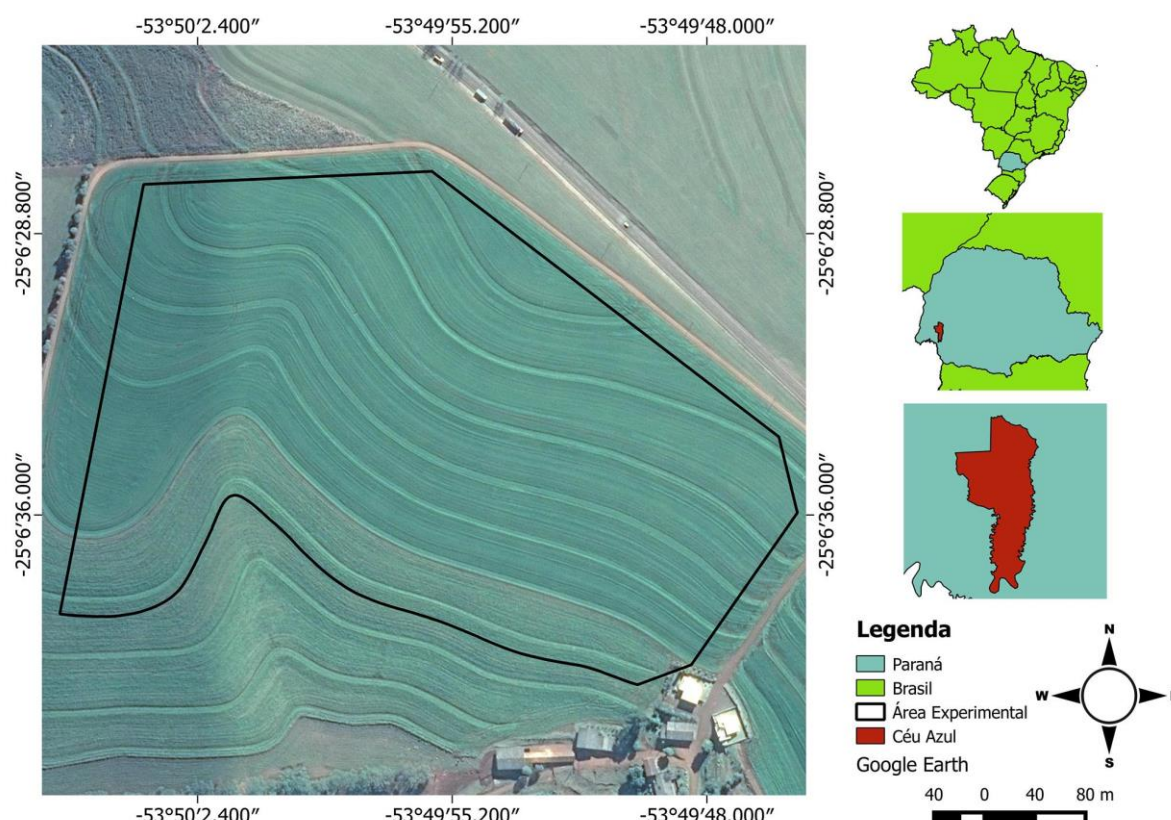


Figura 1 Localização da área comercial, Céu Azul, PR.

O solo da área comercial possui textura argilosa e tem classificação como Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013). A delimitação da área experimental foi realizada com GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite) e para composição da grade amostral foram utilizados 40 pontos amostrais. Nos pontos de amostragem foram determinados atributos relacionados a altitude, declividade, atributos químicos e físicos (porosidade total e resistência do solo à penetração).

5.2.2 Monitoramento das condições climáticas

Para o monitoramento das condições climáticas foram utilizados dados fornecidos pelo Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) da estação climatológica localizada em Cascavel, PR, município próximo da área de trabalho.

Foram utilizados os dados climatológicos contidos nos períodos com cultivo de soja, analisando, assim, dados a partir da data de semeadura até o dia de colheita, na área

experimental nas safras de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020. Os dados utilizados foram: precipitação e temperaturas mínima, máxima e média do ar.

Para identificação de parâmetros climáticos que pudessem afetar a produtividade e que fossem inadequados para o cultivo da soja agruparam-se os dados climatológicos em períodos quatorzenais, dentro de cada safra, obtendo as temperaturas mínimas, máximas e médias atingidas e a precipitação total.

5.2.3 Semeadura, colheita e produtividade

Na semeadura nos anos agrícolas de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020, a cultivar de soja usada foi a Syngenta 1359, cultivar de ciclo superprecoce, sendo utilizado espaçamento entre linhas de cultivo de 0,70 m para facilitar o tráfego de máquinas, tais como colhedora e pulverizador ajustados para este espaçamento.

As datas de semeadura para as safras de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020 ocorreram, respectivamente, em 01/11/2017, 05/11/2018 e 27/10/2019. Os dias de colheita para as safras de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020 foram, respectivamente, 23/02/2018, 05/03/2019 e 25/02/2020.

A colheita foi realizada com colhedora equipada com GPS e monitor de colheita com sensor acoplado no alto do elevador de grãos, sendo coletados os dados de produtividade para as três safras de soja e posteriormente relacionando a produtividade alcançada com os dados climáticos obtidos. Assim, as condições climáticas, precipitação e temperaturas mínima, máxima e média do ar, durante o período de cultivo das plântulas foram registradas, visando identificar condições impróprias para cultivo associadas a déficits nas produtividades alcançadas.

5.2.4 Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando-se delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo que os tratamentos foram representados pelas safras de soja e as medições do monitor de colheita foram consideradas repetições. O teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade, foi usado para comparar as produtividades alcançadas nas safras.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Análise de atributos químicos do solo

As análises dos atributos químicos do solo foram realizadas nos anos de 2017 e 2019, conforme Tabela 1, seguindo o histórico do manejo do solo da área e o critério do produtor, pois o produtor adota a realização de análises químicas do solo com intervalo de 2 em 2 / anos.

Tabela 1 Resultados das análises dos atributos químicos do solo

Ano	Ca	Mg	K	Al	H+Al	CTC	P	V	pH
--	-----cmolc/dm ³ -----						mg/dm ³	%	-
2017	7,725	2,629	0,549	0,009	5,291	16,194	22,044	67,19	5,93
2019	6,104	2,601	0,611	0,000	3,971	12,961	27,722	69,911	5,501

Os resultados apresentados para Ca, Mg, P, K, pH nas análises químicas do solo de 2017 e 2019 estão inseridas na classe de interpretação muita alta; e CTC, V como alta na tabela de interpretação de parâmetros químicos do solo para o estado do Paraná dos autores Pauletti e Motta (2019), assim sendo considerados adequados para o cultivo da soja.

Já o Al foi o único nutriente que apresentou quantidade baixa nos anos 2017 e 2019, porém não é um elemento considerado essencial no cultivo da soja.

Contudo, devido à alta demanda dos nutrientes N, P e K no cultivo da soja, realizou-se adubação com o fertilizante mineral NPK 8-40-00, sendo que este foi aplicado em toda a área na quantidade de 125 kg ha⁻¹, feita diretamente com a semeadura nas três safras de soja.

5.3.2 Dados climatológicos

Os dados climatológicos das safras de soja de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020: precipitação média, assim como temperaturas mínima, máxima e média, estão representadas em períodos quatorzenais na Tabela 2.

Tabela 2 Dados de precipitação e temperaturas nas safras de soja de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020

Safra	Data	P Total (mm)	T Mínima (°C)	T Máxima (°C)	T Média (°C)
2017/2018	01/11 a 14/11/2017	149	11,9	31	20,85
	15/11 a 28/11/2017	173	12,7	34,1	21,63
	29/11 a 12/12/2017	11	16,1	33,2	23,39
	13/12 a 26/12/2017	262	17,2	33,5	23,58
	27/12 a 09/01/2018	186,2	16	30,8	22,23
	10/01 a 23/01/2018	256,8	17,6	29,5	22,8
	24/01 a 06/02/2018	17,4	16	32,4	24,09
	07/02 a 20/02/2018	389	15,2	32,5	22,78
	21/02 a 23/02/2018	0,6	13,8	31,5	22,42
2018/2019	05/11 a 18/11/2018	29,6	14,6	33,3	23,28
	19/11 a 02/12/2018	56,4	14,6	29,3	21,78
	03/12 a 16/12/2018	13,2	11,8	33,1	23
	17/12 a 30/12/2018	10,2	17,9	32,7	24,68
	31/12 a 13/01/2019	75,6	17,7	34,9	25,02
	14/01 a 27/01/2019	46	16,7	34,7	25,06
	28/01 a 10/02/2019	57,2	16,2	36,3	25,04
	11/02 a 24/02/2019	47,6	16,2	32,7	23,26
	25/02 a 05/03/2019	34	15,2	33,1	23,38
2019/2020	27/10 a 09/11/2019	128,6	16,2	36,3	24,44
	10/11 a 23/11/2019	52,2	15,1	34,1	24,08
	24/11 a 07/12/2019	78	12,3	32,1	21,99
	08/12 a 21/12/2019	207,2	15,7	32,4	21,72
	22/12 a 04/01/2020	7,6	13,8	34	24,17
	05/01 a 18/01/2020	114,2	17	32,1	24,18
	19/01 a 01/02/2020	41,4	15,7	32,4	23,19
	02/02 a 15/02/2020	70,8	15,5	33,3	24,09
	16/02 a 25/02/2020	50	12,1	34,6	24,85

P - precipitação; T - temperatura.

As médias quatorzenais de temperatura no decorrer de todo o período das safras de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020 se mantiveram entre 20 e 30 °C, sendo que as temperaturas mínimas foram superiores a 10 °C e as temperaturas máximas ocorridas nas safras foram inferiores a 40 °C, se mantendo, segundo MAPA (2017), dentro das condições adequadas para o cultivo da soja, resultados que indicam que a temperatura não foi fator determinante para a variação da produtividade da soja. Estando de acordo com este resultado, nos municípios de Roncador e Boa Esperança, no estado do Paraná, durante o cultivo de soja nas safras de 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011, as temperaturas se mantiveram entre 20 e 30°C, não comprometendo a produtividade final alcançada (OLIVEIRA; SILVA; YOKOO, 2019).

Em relação à precipitação na safra de 2017/2018, houve excesso de precipitação e distribuição de chuvas irregular, porém não ocorreram períodos com ausência de precipitação. Já na safra de 2018/2019, as médias quatorzenais também indicam grande variação na quantidade de chuvas, inclusive com a presença de estiagem no período entre 03/12/2018 e 30/12/2018. Em consonância com este resultado, na safra de 2011/2012 ocorreu déficit de precipitação, em relação ao recomendado para o ciclo da soja, com a ocorrência do fenômeno “La Niña”, ocasionando redução na produtividade da soja de 44, 29 e 10%, respectivamente, nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso do Sul (CONAB, 2013).

Em contrapartida, durante a safra de soja de 2018/2019 houve melhor distribuição na precipitação, ocorrendo chuvas em todos os períodos, não havendo, assim, estiagem. O resultado obtido está de acordo com os resultados de Carmelo (2018) no cultivo de soja no sul do Brasil, sendo que Farias (2011) expressa que a disponibilidade hídrica durante a estação de crescimento constitui-se na principal limitação ao alcance do potencial de rendimento da soja e na maior causa de variabilidade dos rendimentos de grãos observados de um ano para outro.

A precipitação total durante o ciclo da soja nas safras de 2017/2018 e 2018/2019 atingiu, respectivamente, os valores de 1445 e 369,8 mm, resultados que estão fora da faixa considerada ideal segundo Lourenço (2020), que indica que no decorrer de seu ciclo a planta de soja necessita de um total de água que varia entre 450 a 800 mm ciclo⁻¹. Em contraposição, na safra de 2019/2020 a precipitação atingiu o valor de 750 mm, estando em sintonia com os trabalhos de Schenatto (2014) e Camicia (2018) que, assim como neste trabalho, obtiveram resultados superiores a 450 mm ciclo⁻¹ e inferiores a 800 mm ciclo⁻¹ de precipitação para a mesma área nas safras de 2012/2013 e 2015/2016, respectivamente.

Com isso, observa-se que na safra de 2019/2020 ocorreu o nível de precipitação adequado, favorecendo o desempenho das plantas de soja. Em oposição, na safra 2018/2019 houve déficit na quantidade de água fornecida, estando fora da faixa recomendada. Assim, considera-se que a água disponível para a soja durante seu ciclo pode ter limitado o desenvolvimento das plantas de soja na safra de 2018/2019, pois segundo Anda, Soós, Menyhárt, Kucserka e Simon (2020), a deficiência hídrica no decorrer do cultivo da soja é a variável ambiental com maior importância com influência na redução da produtividade da soja.

Por outro lado, houve excesso de precipitação na safra de 2017/2018, estando fora dos limites de precipitação ideal para o cultivo de soja recomendado por Lourenço (2020), ocasionando em decréscimo da produtividade final alcançada.

5.3.3 Produtividade da soja

A produtividade da soja obtida na área experimental nas safras de 2017/2018, 2018/2019 e 2019/2020 foram, respectivamente, de 2,984; 2,394; e 3,727 t ha⁻¹.

A Figura 2 apresenta a comparação das produtividades alcançadas nas três safras analisadas na área comercial.

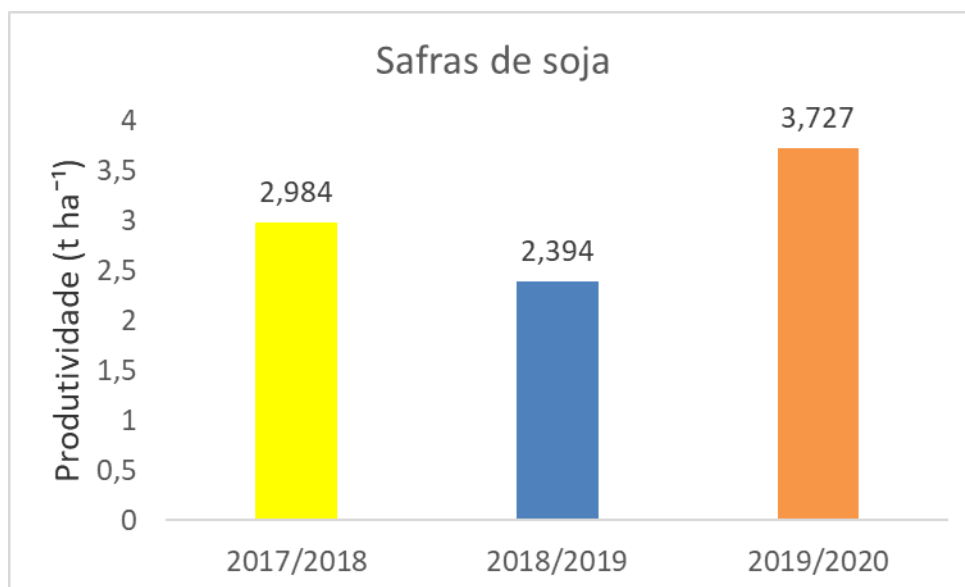


Figura 2 Produtividade de soja alcançada nas três safras analisadas na área comercial.

Observa-se na Figura 2 que na safra de 2019/2020 a soja alcançou produtividade 55,68% superior a 2018/2019; e 24,9% superior a 2017/2018, sendo que o resultado de produtividade superior alcançada está de acordo com Radin, Schonhofer e Tazzo (2017) , que também obtiveram maior produtividade em safra de soja com quantidade e distribuição adequadas de precipitação e não ocorrência de estiagem durante o ciclo da soja.

Em relação à análise estatística realizando o teste de Tukey para a comparação das médias das produtividades das safras, observou-se que houve diferença significativa nas produtividades das três safras, sendo que a produtividade de cada safra é divergente em relação às outras duas produtividades.

Assim, com os dados de produtividade analisados na Figura 2, observou-se que o déficit ou o excesso de precipitação foi um fator determinante para a variação da produtividade.

Comparando-se a safra de 2019/2020: na safra de 2018/2019 houve decréscimo de 380,2 mm de precipitação durante o ciclo da soja, comprometendo 1,333 t da produção; já em 2017/2018 houve excesso de 695 mm de precipitação durante o ciclo da soja, reduzindo em 0,743 t a produção final alcançada.

5.4 CONCLUSÕES

A manutenção da temperatura em limites considerados ideais para o desenvolvimento e a produção da soja não tem influência na variação da produtividade da soja.

O déficit ou o excesso na precipitação e a incidência de chuvas mal distribuídas durante o ciclo da soja têm influência no desenvolvimento da cultura, gerando resultados negativos na produtividade.

A ocorrência de estiagem durante o cultivo da soja pode ocasionar em déficit de água disponível para as plantas de soja, influenciando no seu desenvolvimento e, conseqüentemente, influenciando na produtividade final alcançada pela cultura.

A precipitação em quantidade superior à recomendada durante o ciclo da soja ocasiona excesso hídrico e redução do arejamento no solo, causando, como consequência, diminuição da produtividade.

5.5 AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e aos proprietários, pela concessão das áreas experimentais.

5.6 REFERÊNCIAS

ANDA, A.; SOÓS, G.; MENYHÁRT, L.; KUCSERKA, T.; SIMON, B. Yield features of two soybean varieties under different water supplies and field conditions. **Field Crops Research**, v. 245, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107673>

APARECIDO, L. E. de O.; ROLIM, G. D. S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P. S. de; JOHANN, J. A. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 4, p. 405-417, 2016. <https://doi.org/10.1590/1413-70542016404003916>

BOTTEGA, E. L.; PINTO, F.; QUEIROZ, D. M. de; SANTOS, N. T. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de soja no Cerrado brasileiro. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 6, p. 167-177, 2013. <http://doi.org/10.30612/agrarian.v6i20.1503>

CAMICIA, R. G. da M. **Seleção de variáveis para geração de zonas de manejo e diferentes densidades de semeadura de soja**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2018.

CARMELO, V. **Variabilidade pluviométrica e produção de soja: análise comparativa entre regiões produtoras do Brasil, Estados Unidos e Índia**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/158263>

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos, oitavo levantamento da safra de grãos 2011/2012. Safra 2011/12**. Brasília: CONAB, maio 2013.

FARIAS, J. R. B. Limitações climáticas à obtenção de rendimentos máximos de soja. V Congresso da Soja do Mercosul. **Anais...** Rosário, 2011, p. 1-4.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. E.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja (Embrapa Soja. Circular Técnica, 48), 2007.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Water deficit on the soybean metabolism in early sowings. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015. <http://doi.org/10.14583/2318-7670.v03n01a12>

FERREIRA, D. B.; RAO, V. B. Recent climate variability and its impacts on yields in Southern Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 105, p. 83-97, 2011. <http://doi.org/10.1007/s00704-010-0358-8>

KURUKULASURIYA, P.; ROSENTHAL, S. **Climate change and agriculture: a review of impacts and adaptation**. The World Bank Environment Department, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10986/16616>. Acesso em: 10 jan. 2023.

LOURENÇO, L. F. **O efeito da deficiência hídrica em plantas de soja**. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo Luiz de Queiroz, 2020. <https://doi.org/10.11606/T.11.2020.tde-02102020-154804>

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Portaria Nº 16, de 20 de julho de 2017**. Aprova o ZARC para o Estado do Paraná. Brasília, Diário Oficial da União de 21 de julho de 2017.

MONTOYA, F.; GARCÍA, C.; PINTOS, F.; OTERO, A. Effects of irrigation regime on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions. **Agricultural Water Management**, v. 193, p. 30-45, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.001>

NÓIA JUNIOR, R. D. S.; FRAISSE, C. W.; KARREI, M A. Z.; CERBARO, V. A.; PERONDI, D. Effects of the El Niño Southern Oscillation phenomenon and sowing dates on soybean yield and on the occurrence of extreme weather events in southern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 290, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108038>

OLIVEIRA, R. de R.; SILVA, R. V. da; YOKOO, S. C. **A influência climática na cultura da soja nos municípios de Roncador e Boa Esperança – PR, dos anos de 2008 a 2017**. XI EPCC Encontro Internacional de Produção Científica, 2019.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná – 2a.ed.** Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – NEPAR-SBCS, 2019.

RADIN, B.; SCHONHOFER, A.; TAZZO, F. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, n. 1, p. 19-26, 2017. <http://doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26263>

SANTOS, H. D.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. D.; OLIVEIRA, V. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3a.ed. Embrapa Solos: Brasília, Brazil, 2013.

SCHENATTO, K. **Utilização de métodos de interpolação e agrupamento para definição de unidades de manejo em agricultura de precisão**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2014.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil – magnitude, causes and possible solutions for a sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, p. 1394-1411, 2015. <https://doi.org/10.1017/S0021859615000313>

SNYDER, A.; WALDHOFF, S.; OLLENBERGER, M.; ZHANG, Y. Empirical estimation of weather-driven yield shocks using biophysical characteristics for U.S. rainfed and irrigated maize, soybeans, and winter wheat. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 9, 2021. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/ac15ce>

6 ARTIGO 2 - DEFENSIVOS AGRÍCOLAS, PRODUTOS DE CONTROLE BIOLÓGICO, CONDIÇÕES CLIMÁTICAS E LEVANTAMENTO ECONÔMICO EM CULTIVO DE SOJA

Resumo: As condições climáticas devem ser monitoradas para que a cultura da soja atinja melhor desempenho produtivo e econômico. A variação de fatores, tais como a temperatura e umidade relativa do ar, precipitação e velocidade do vento, influencia diretamente a quantidade de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico necessários, assim como a qualidade da pulverização. Com isso, o objetivo do trabalho foi estabelecer a relação entre condições climáticas e uso de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico, realizando o levantamento das condições climáticas e elaborando o levantamento econômico de uso de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico nas safras agrícolas de 2020/2021 e 2022/2023 de soja em área comercial com 15,5 ha, localizada na cidade de Céu Azul, estado do Paraná. Constatou-se diferença na quantidade de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico aplicados nas duas safras, sendo que a safra de 2020/2021 demandou a aplicação de maior quantidade dos produtos citados, indicando a influência das condições climáticas, particularmente a velocidade do vento, que ocorreu em velocidades superiores à recomendada em datas em que foram aplicados produtos na safra de 2020/2021 na pulverização. Comparando-se o valor monetário gasto com defensivos agrícolas e produtos de controle biológico, a safra 2020/2021 atingiu gasto 125% superior à safra 2022/2023.

Palavras-chave: Velocidade do vento, Umidade relativa do ar, Temperatura do ar, Levantamento econômico da pulverização.

AGRICULTURAL DEFENSIVES, BIOLOGICAL CONTROL PRODUCTS, WEATHER CONDITIONS, AND ECONOMIC SURVEY IN SOYBEAN CROP YIELDS

Abstract: Weather conditions must be monitored so that the soybean crop achieves better productive and economic performance. The variation of factors, such as temperature and relative humidity, precipitation and wind speed directly, influences the amount of pesticides and biological control products needed, as well as the quality of spraying. Hence, the objective of the work was to establish the correlation between weather conditions and the use of agricultural defensives and biological control products, carrying out the survey of the weather conditions and elaborating the economic survey of the use of agricultural defensives in the agricultural harvests of 2020/2021 and 2022 /2023 of soybean in a commercial area with 15.5 ha, located in the city of Céu Azul, Paraná State. There was a difference in the amount of pesticides and biological control products applied in the two harvests, and the 2020/2021 harvest required the application of a higher amount of these products, indicating the influence of weather conditions, particularly wind speed, as it is difficult to predict, in spraying. Comparing the monetary value spent on agricultural pesticides and biological control products, the 2020/2021 harvest reached expenses significantly higher than the 2022/2023 harvest.

Keywords: Wind speed, Relative humidity, Air temperature, Economic spraying survey.

6.1 INTRODUÇÃO

A capacidade de produzir altos rendimentos com qualidade é um desafio para grande parte dos produtores, considerando a crescente ocorrência de pragas, doenças e infestações de plantas daninhas que têm feito os produtores aumentarem a utilização de defensivos agrícolas (BUENO; CUNHA; SANTANA, 2017). Para a aplicação eficiente destes

produtos, a soja ainda encontra obstáculos, pois, segundo Matzrafi (2019), a eficácia no uso de defensivos está fortemente associada às condições ambientais.

A aplicação de defensivos agrícolas é uma das atividades que possui menor eficiência na agricultura em relação ao consumo de energia e gastos com os produtos químicos (GRAZIANO, 2016), o que é decorrente da dificuldade da colocação dos produtos somente no alvo. Deve-se ponderar que as metodologias usadas para aplicação de defensivos agrícolas possuem obstáculos representados pela deriva e a evaporação de produto para o ambiente (SANTIAGO, 2016).

As perdas geradas por evaporação são de alta grandeza e necessitam de atenção especial em relação aos fatores climáticos para sua minimização, sendo que temperaturas elevadas aliadas a baixa umidade relativa do ar aceleram a evaporação do produto aplicado (GRAZIANO, 2016).

Já a deriva caracteriza-se como a deposição de defensivos agrícolas fora do alvo de aplicação (SEIXAS et al., 2020), sendo influenciada pela velocidade do vento (CONTIERO; BIFFE; CATAPLAN, 2018), e quanto maior for essa velocidade durante a aplicação, maior será a deriva de produtos (CARLSEN et al., 2006; NUYTTENS et al., 2006). Além disso, quando a velocidade do vento se encontra inferior ao mínimo recomendado para a aplicação, não ocorre uma distribuição adequada do produto sobre a folhagem e, conseqüentemente, podem ser geradas perdas por inversão térmica (GRAZIANO, 2016).

Assim, ventos com velocidades superiores a 8 km h^{-1} favorecem de maneira demasiada que as gotas sofram deriva durante a aplicação, e ventos abaixo de 3 km h^{-1} tendem a ocasionar que as gotas, especialmente as mais finas, fiquem em suspensão no ar e não alcancem o alvo almejado (CONTIERO; BIFFE; CATAPLAN, 2018). Portanto, em decorrência das variáveis que influenciam a trajetória da gota, o responsável ao aplicar defensivos agrícolas deve ter atenção especial, analisando criteriosamente as condições para aplicação, visando minimizar, ao máximo, as perdas durante a pulverização. (ARVIDSSON et al., 2011; GIL et al., 2014).

O mercado da soja, dada a sua dinâmica, atua com características próximas a concorrência perfeita. Logo, o controle dos custos e o aumento da produtividade das lavouras são fatores determinantes para a lucratividade dos produtores rurais (ARTUZO et al., 2018). Com isso, pela grande importância no cultivo de soja, torna-se fundamental analisar os custos envolvidos com a aplicação de defensivos e a influência das condições climáticas na utilização destes produtos.

Neste trabalho, o objetivo foi estabelecer a relação entre condições climáticas e uso de defensivos agrícolas, realizando o levantamento das condições climáticas, velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar e precipitação, elaborando o levantamento econômico de uso de defensivos agrícolas nas safras agrícolas de 2020/2021 e 2022/2023 de soja na área comercial com 15,5 ha, localizada na cidade de Céu Azul, PR.

6.2 MATERIAL E METÓDOS

6.2.1 Área experimental

O experimento consistiu em duas safras agrícolas 2020/2021 e 2022/2023 no cultivo de soja, sendo que a área utilizada está localizada no município de Céu Azul, estado do Paraná. A área tem aproximadamente 15,5 ha e suas coordenadas geográficas centrais aproximadas são 25°06'32 "S e 53°49'55"W.

O clima local é classificado como Cfa (clima temperado úmido com verão quente) de acordo com a classificação de Köppen. Trata-se de um clima úmido, sem estação seca e quente no verão (APARECIDO et al., 2016). A temperatura média anual no município é de 18,5 °C e a precipitação média anual é de 1890 mm.

O solo do local é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013). Para delimitar a área experimental foi utilizado GPS e para composição da grade amostral foram utilizados 40 pontos amostrais, conforme Figura 1.

Nos pontos de amostragem foram determinados atributos relacionados a altitude, declividade, atributos químicos e físicos (porosidade total e resistência do solo à penetração).

Na Figura 1 representa-se a área experimental e a localização dos pontos amostrais.

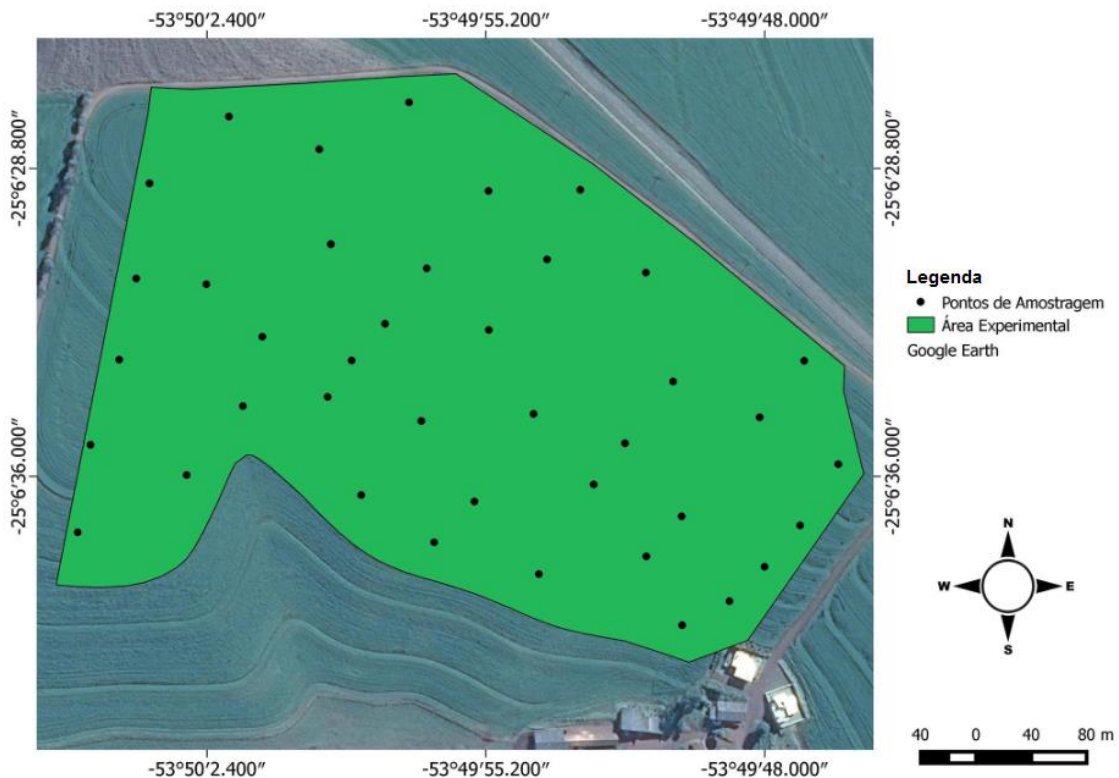


Figura 1 Área experimental e pontos amostrais.

A análise dos atributos químicos do solo ocorreu no ano de 2020, antes do período de semeadura da soja, sendo adotada a metodologia proposta por Pauletti e Motta (2019), na segunda edição do Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná, que recomenda que seja realizada amostragem do solo para diagnose de fertilidade a cada dois ou três anos.

6.2.2 Condições climáticas

Com o objetivo de monitorar as condições climáticas, foram utilizados dados fornecidos pelo Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná (SIMEPAR) de estação climatológica localizada em Cascavel, PR, estação próxima da área experimental.

Os dados climatológicos utilizados foram os contidos nos períodos em que foi cultivada a soja na área experimental nas safras de 2020/2021 e 2022/2023, sendo estes: precipitação; temperaturas máxima, mínima e média; umidades relativas do ar máxima, mínima e média; e velocidades máxima e mínima do vento.

Com o intuito de identificar fatores climáticos que possam afetar a aplicação de defensivos e produtos de controle biológico e que estejam inadequados para o cultivo da soja, os dados climatológicos foram agrupados em período quatorzenais. Em relação às velocidades do vento, foram utilizadas as que ocorreram nas datas de aplicação dos defensivos e produtos de controle biológico.

6.2.3 Dados do cultivo

A semeadura ocorreu nos anos agrícolas de 2020/2021 e 2022/2023, a cultivar de soja usada foi a Syngenta 1359, cultivar de ciclo super precoce. Utilizou-se espaçamento entre linhas de cultivo de 0,70 m para facilitar o tráfego das máquinas, pois estas são ajustadas e usadas para o cultivo de outras culturas que utilizam este mesmo espaçamento.

As datas de semeadura para as safras de 2020/2021 e 2022/2023 ocorreram, respectivamente, em 28/10/2020 e 22/10/2022. Os dias de colheita para as safras de 2020/2021 e 2022/2023 foram, respectivamente, 23/02/2021 e 08/02/2023.

6.2.4 Defensivos agrícolas

Foram contabilizados todos os defensivos agrícolas utilizados nas safras de 2020/2021 e 2022/2023, sendo posteriormente comparado o consumo desses produtos nessas duas safras correlacionando com as variações climáticas. A Tabela 1 apresenta as

datas de aplicação e os produtos utilizados em cada data nas safras de 2020/2021 e 2022/2023.

Tabela 1 Datas de aplicação de defensivos e produtos de controle biológico após a semeadura da soja nas safras de 2020/2021 e 2022/2023

Safras	Datas de aplicação de defensivos e produtos de controle biológico após a semeadura de soja	Produtos aplicados
2020/2021	12/11/2020	Herbicida
	20/11/2020	Herbicida
	26/12/2020	Fungicida, inseticida e controle biológico
	04/01/2021	Inseticida e controle biológico
2022/2023	14/11/2022	Herbicida
	24/11/2022	Herbicida
	12/12/2022	Inseticida e controle biológico
	22/12/2022	Inseticida e controle biológico

Em relação aos custos dos defensivos agrícolas, foi realizado levantamento do histórico de preços em Revendas de Insumos Agrícolas em Cascavel, PR, obtendo o valor dos produtos em novembro de 2020 e 2022. Para comparação do valor monetário gasto nas safras de 2020/2021 e 2022/2023, considerou-se a quantidade de produtos utilizados em cada safra com o valor dos produtos em novembro de 2022.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Análise de atributos químicos do solo

Foi realizada análise dos atributos químicos do solo no ano de 2020 conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 Análises químicas do solo da área

Ano	Ca	Mg	K	Al	H+Al	CTC	P	V	pH
	-----cmolc/dm ³ -----						mg/dm ³	%	-
2020	4,352	1,911	0,841	0,133	4,591	11,682	16,652	60,373	4,842

Analisando-se a Tabela 2 e seguindo a tabela de interpretação de parâmetros químicos do solo para o estado do Paraná dos autores Pauletti e Motta (2019), tem-se que:

- Na análise química de 2020, os elementos K e CTC apresentaram resultados inseridos na classe de interpretação muita alta; e Ca, Mg, V como alta; caracterizando com isso condições adequadas para o cultivo da soja.

- Já o elemento Al foi o único que apresentou-se, na análise química de solo de 2020, com quantidade baixa, porém não é um elemento considerado essencial no cultivo da

soja.

Ademais, considerando a alta demanda dos nutrientes N, P e K para o cultivo da soja, foi realizada adubação com o fertilizante mineral NPK 8-40-00, sendo que este foi aplicado em toda a área na quantidade de 125 kg ha⁻¹, feita diretamente no solo junto com a semeadura nas duas safras de soja.

6.3.2 Dados climatológicos

Os dados climatológicos das safras de soja de 2020/2021 e 2022/2023: precipitação total, umidade relativa (UR) máxima, mínima e média; e temperaturas máxima, mínima e média estão representados em períodos quatorzenais na Tabela 3.

Tabela 3 Dados climatológicos das safras de soja de 2020/2021 e 2022/2023

Safra	Data	P Total (mm)	UR Máxima (%)	UR Mínima (%)	UR Média (%)	T Máxima (°C)	T Mínima (°C)	T Média (°C)
2020/2021	28/10 a 10/11/2020	12,4	95,5	17,7	52,8	34,5	12,0	21,8
	11/11 a 24/11/2020	21,4	95,8	28,1	59,3	33,6	13,2	22,6
	25/11 a 08/12/2020	165,8	95,8	37,1	72,5	33,3	15,8	23,1
	09/12 a 22/12/2020	88,0	95,8	33,2	73,5	32,3	15,5	23,3
	23/12 a 05/01/2021	29,0	95,8	45,6	75,7	32,0	16,2	23,2
	06/01 a 19/01/2021	175,0	95,8	58,9	82,0	31,1	17,9	23,5
	20/01 a 02/02/2021	189,0	95,8	69,0	86,3	27,9	16,7	21,2
	03/02 a 16/02/2021	3,4	95,5	40,3	73,5	31,1	11,7	21,9
17/02 a 23/02/2021	0,0	89,0	32,6	59,2	34,7	13,2	23,7	
2022/2023	22/10 a 04/11/2022	82,0	95,5	27,4	64,1	32,3	4,9	19,8
	05/11 a 18/11/2022	63,0	95,3	26,3	58,6	31,9	10,1	20,6
	19/11 a 02/12/2022	32,0	94,9	34,9	67,9	31,8	12,8	22,7
	03/12 a 16/12/2022	103,2	95,1	45,3	74,1	34,4	13,2	24,8
	17/12 a 30/12/2022	5,4	93,7	39,3	69,2	33,2	14,5	22,9
	31/12 a 13/01/2023	73,6	95,0	35,4	71,5	33,6	12,7	22,9
	14/01 a 27/01/2023	46,6	95,1	35,5	70,8	34,3	16,3	25,0
	28/01 a 08/02/2023	96,2	95,0	30,8	69,7	34,8	15,8	24,5

P - precipitação; UR - umidade relativa; T - temperatura.

Observa-se na Tabela 3 que as UR mínimas quatorzenais no decorrer da maior parte do período da safra de 2020/2021, excetuando-se os períodos de 23/12/2020 a 05/01/2021 e 06/01/2021 a 19/01/2021, e na totalidade da safra de 2022/2023 se mantiveram inferiores a 55%, obtendo UR mínima fora da faixa ideal para a aplicação de defensivos, de acordo com ANDEF (2004) e Raetano (2011). Em relação às UR máximas e médias quatorzenais, estas obtiveram valores adequados para aplicação de defensivos agrícolas, exceto no período de 28/10 a 10/11/2020, em que a UR média alcançou valor inferior a 55%.

Portanto, constata-se que nos períodos quatorzenais que englobam os dias de

aplicação de defensivos: na safra de 2020/2021, as datas de 12/11/2020, 20/11/2020, 26/12/2020 e 04/01/2021; e na safra de 2022/2023, as datas de 14/11/2022, 24/11/2022, 12/12/2022 e 22/12/2022, as URs mínimas apresentaram-se com valores abaixo de 55%, não sendo recomendado a aplicação de produtos em períodos com temperaturas do ar mais altas pela influência direta na UR, porém as URs máximas e médias indicaram condições adequadas para a pulverização dos produtos em horários que favoreçam a efetividade da aplicação. Assim, o horário do dia em que ocorre a aplicação pode influenciar a deposição do produto sobre o alvo (HOFFMANN; ROEHRIG; BOLLER; FORCELINI, 2019), afetando, com isso, a uniformidade de aplicação, ou seja, gotas que efetivamente interceptam o alvo.

Em relação às temperaturas máximas atingidas na safra de 2020/2021, exceto no período de 20/01/2021 a 02/02/2021, e safra 2022/2023, obtidas nos períodos quatorzenais, foram superiores a 30 °C, assim alcançando temperaturas máximas impróprias para aplicação de defensivos agrícolas, segundo os autores Contiero, Biffe e Cataplan (2018).

Corroborando com esta observação, os autores Queiroz e Reis (2015), em seu trabalho utilizando temperaturas do ar entre 16 e 36 °C, atingiram resultados que mostram que o aumento da temperatura do ar influencia a deposição de produtos durante a pulverização sobre o alvo, em decorrência da evaporação das gotas em temperaturas mais elevadas.

Ademais, as temperaturas mínimas e médias quatorzenais apresentaram-se com valores inferiores a 30°C, durante todo o ciclo da soja nas duas safras estudadas, representando temperaturas adequadas para a pulverização de produtos.

Assim, conclui-se que nos períodos quatorzenais em que foram aplicados defensivos agrícolas nas safras de 2020/2021 e 2022/2023, as temperaturas máximas apresentaram-se com valores acima de 30°C, sendo temperaturas impróprias para pulverização de produtos em decorrência do risco de evaporação dos defensivos agrícolas, porém as temperaturas mínimas e médias indicaram condições adequadas para a aplicação dos produtos na ocorrência destas. Visando evitar tais temperaturas máximas, conforme recomendado pelos autores Balan et al. (2008), a pulverização dos defensivos agrícolas foi realizada pela manhã. As aplicações ocorreram entre 7 e 10 horas da manhã, sendo possível obter temperaturas mais amenas, abaixo de 30 °C e UR acima de 55%.

As velocidades mínimas e máximas do vento estão representadas na Tabela 4.

Tabela 4 Velocidades do vento nas safras de soja de 2020/2021 e 2022/2023

Safra	Data de aplicação	V Máxima (km h ⁻¹)	V Mínima (km h ⁻¹)
2020/2021	12/11/2020	9,8	1,1
	20/11/2020	5,9	0,6
	26/12/2020	7,4	1,1
	04/01/2021	9,4	0,9
2022/2023	14/11/2022	9,2	1,3
	24/11/2022	4,7	0,3
	12/12/2022	5,0	0,1
	22/12/2022	7,0	0,7

V - velocidade.

Observa-se na Tabela 4, no que se refere às velocidades mínimas do vento, alcançadas nas datas de aplicação de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico, que nas duas safras estudadas na totalidade das datas de aplicação atingiram valores inferiores a 3 km h⁻¹, estando fora da faixa de velocidade do vento apropriada para pulverização de defensivos agrícolas, de 3 a 8 km h⁻¹.

Assim, conclui-se que nos períodos quatorzenais em que foram aplicados defensivos agrícolas nas safras de 2020/2021 e 2022/2023, ocorreram velocidades mínimas do vento com valores abaixo de 3 km h⁻¹, velocidades inadequadas para aplicação de defensivos agrícolas em decorrência do risco de má distribuição dos produtos durante a pulverização.

Em relação às velocidades máximas do vento na safra 2020/2021 nas datas aplicação de produtos 20/11/2020 e 26/12/2020 ocorreram velocidades máximas do vento, respectivamente, de 5,9 e 7,4 km h⁻¹, atingindo valores localizados entre 3 e 8 km h⁻¹, sendo, segundo Contiero, Biffe e Cataplan (2018), velocidade do vento adequada para aplicação de produtos. Porém, nas datas de aplicação de produtos 12/11/2020 e 04/01/2021 ocorreram velocidades máximas do vento, respectivamente, de 9,8 e 9,4 km h⁻¹, estando distantes da velocidade máxima recomendada de 8 km h⁻¹ para pulverização, podendo ter influenciado negativamente na eficiência da deposição de produtos no alvo durante a pulverização, sendo necessária a aplicação em momentos do dia em que a velocidade do vento esteja propícia para pulverização.

Entretanto, a recomendação de aplicações de defensivos fundamentadas somente nos períodos do dia pré-determinados pode não ser o fator mais assertivo para a maximização da eficiência das aplicações (GRAZIANO, 2020), pois conforme as aplicações realizadas no presente trabalho na safra de 2022/2023 terem sido realizadas pela manhã, período recomendado em relação aos parâmetros UR e temperatura, outras variáveis ambientais não possuem previsibilidade, tal que a velocidade do vento, que pode interferir no resultado da uniformidade da pulverização, sendo necessário o seu monitoramento. Em consonância com essa observação, o autor Pita (2015) encontrou resultados que indicam

que a velocidade e o sentido do vento são os principais fatores responsáveis pela deriva de defensivos agrícolas durante a pulverização.

Já na safra de 2022/2023, nas datas em que ocorreu pulverização, 14/11/2022, 24/11/2022, 12/12/2022 e 22/12/2022, as velocidades máximas do vento atingiram valores respectivamente de 9,2; 4,7; 5,0; e 7,0 km h⁻¹, sendo apenas um valor de velocidade máxima do vento superior a 8 km h⁻¹, sendo que nesta data a velocidade do vento pode ter influenciado a aplicação de produtos.

A precipitação total durante o ciclo da soja nas safras de 2020/2021 e 2022/2023 alcançaram, respectivamente, os valores de 684 e 499 mm, resultados que estão dentro do intervalo considerado ideal, pois segundo Lopera et al. (2018), no decorrer de seu ciclo a soja necessita de um total de água que varia entre 450 e 800 mm ciclo⁻¹.

Nos intervalos quatorzenais que estão inseridas as datas em que foram realizadas as pulverizações de defensivos na safra de 2020/2021, as precipitações foram superiores aos intervalos da safra de 2022/2023, porém as pulverizações ocorreram em dias sem precipitação e houve ausência de chuvas em intervalo suficiente para que os produtos fossem absorvidos.

6.3.3 Defensivos agrícolas

Foram realizadas quatro aplicações de defensivos agrícolas por safra: tendo sido feitas pulverizações, conforme Tabela 1, nas datas de 12/11/2020, 20/11/2020, 26/12/2020 e 04/01/2021 para a safra de 2020/2021; e 14/11/2022, 24/11/2022, 12/12/2022 e 22/12/2022 para a safra de 2022/2023 de soja. O consumo total de defensivos agrícolas utilizados nas safras de 2020/2021 e 2022/2023 estão representadas na Tabela 5.

Tabela 5 Consumo total de defensivos agrícolas utilizados nas safras de soja de 2020/2021 e 2022/2023

Safra	Finalidade do Produto	Quantidade (l ha ⁻¹)	Quantidade (kg ha ⁻¹)
2020/2021	Herbicida	1,113	0,057
	Inseticida	0,830	0,620
	Fungicida	0,210	0,000
	Controle Biológico	37,170	0,000
2022/2023	Herbicida	1,245	0,000
	Inseticida	0,206	0,000
	Fungicida	0,000	0,000
	Controle Biológico	16,560	0,000

Analisa-se na Tabela 5, que descreve o consumo de defensivos agrícolas, que a quantidade de herbicidas utilizados na safra de 2020/2021 foi de 1,113 l ha⁻¹ e 0,057 kg ha⁻¹, bem próxima da quantidade aplicada na safra de 2022/2023, que foi de

1,245 l ha⁻¹. Em ambas as safras, 2020/2021 e 2022/2023, ocorreu uma data com velocidade máxima do vento superior à recomendada, conforme Tabela 1. Na safra 2020/2021 no dia 12/11/2020 ocorreu velocidade máxima do vento de 9,8 km h⁻¹, enquanto na safra de 2022/2023 ocorreu a velocidade de 9,2 km h⁻¹, porém não houve influência significativa, uma vez que as quantidades aplicadas nas duas safras foram similares.

Segundo Ulisses (2020), a aplicação e as perdas pós-aplicação de herbicidas na pulverização é dependente da metodologia de aplicação, condições ambientais e propriedades físico-químicas do produto aplicado. Em trabalho envolvendo aplicação de herbicidas, os autores Degreeff et al. (2018) alcançaram melhores resultados para aplicações de glyphosate quando a temperatura estava em 25 °C, proporcionando melhor controle quando comparado a temperaturas mais elevadas. Considerando que, com a efetividade no controle de plantas daninhas, pode-se eximir da necessidade de reaplicação de herbicidas, ocasionando, conseqüentemente, utilização de menor quantidade desses produtos.

Já em relação a aplicação de fungicidas, na safra 2022/2023 não foi utilizado este produto, enquanto na safra 2020/2021 aplicou-se 0,210 l ha⁻¹ de fungicida, evidenciando a possível influência das condições climáticas no surgimento de fungos, pois na safra de 2020/2021 houve maior quantidade de precipitação, demandando a aplicação de fungicidas para seu controle.

Souza (2021), em seu trabalho, obteve resultados que indicam que na ausência de condições ideais para o desenvolvimento de doenças, a utilização de fungicidas se torna onerosa, aumentando os custos de produção com nenhum resultado que indique a elevação da produtividade final de grãos. Com isso, é importante o monitoramento da lavoura, pois conforme a influência do ambiente sobre a incidência e o desenvolvimento da doença, o manejo integrado é essencial para a tomada de decisão da necessidade ou não da primeira aplicação de fungicida (AMORIM et al., 2018).

Em relação às condições climáticas presentes no momento da aplicação de fungicidas, o autor Hass (2017) obteve maior efetividade da aplicação, no controle da ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, nos momentos de aplicação em que a temperatura do ar se manteve inferior a 30 °C e a UR esteve acima de 60%. Além disso, é necessário ter atenção especial à velocidade do vento na aplicação, pois esta tem influência direta na pulverização de defensivos agrícolas. Assim, recomenda-se que o produtor obtenha um termo-higro-anemômetro para mensurar a velocidade do vento (BROCHADO; MENDES, 2020).

No caso de inseticidas e produtos para controle biológico na safra 2020/2021, foram aplicadas quantidades consideravelmente superiores desses produtos em relação à safra 2022/2023, sendo a diferença da aplicação de inseticidas e produtos de controle biológico

nas safras, respectivamente, de 1,244 l ha⁻¹ e 28,890 l ha⁻¹, demonstrando possíveis influências do clima na aplicação de produtos para controle de insetos e pragas.

Segundo os autores Preftakes et al. (2019), as condições climáticas tais como velocidade e direção do vento, temperatura, UR, e estabilidade atmosférica interagem com gotículas de defensivo agrícola no ar e influenciam em sua deposição. Assim, podem afetar a deriva no decorrer da pulverização, sendo que em condições climáticas desfavoráveis deve-se adiar ou cancelar a aplicação. Dentro deste contexto, os autores Weber et al. (2019) encontraram resultados em que a qualidade da aplicação foi influenciada diretamente pelas condições climáticas tais como temperatura, UR e velocidade do vento.

No presente trabalho as variações de temperatura e UR foram pouco relevantes, pois as pulverizações ocorreram no período da manhã, entre 7 e 10 horas, como indicado pelos autores Contiero, Biffe e Cataplan (2018) e Raetano (2011), que recomendam que a aplicação seja feita nas primeiras horas da manhã, alcançando temperaturas adequadas.

Porém, a velocidade do vento, como fator com pouca previsibilidade, atingiu valor de velocidade máxima do vento de 9,4 km h⁻¹ na safra de 2020/2021 na data de aplicação de inseticidas e produtos de controle biológico dia 04/01/2021, sendo velocidade do vento bem superior à recomendada (CONTIERO; BIFFE; CATAPLAN, 2018), demonstrando a possível influência do vento na aplicação. Já na safra de 2022/2023 não ocorreu velocidade do vento máxima superior à recomendada na data de aplicação de inseticidas e produtos de controle biológico.

Em consonância com esta observação, os autores Preftakes et al. (2019), em seu trabalho, a deposição do produto no alvo foi afetada pela velocidade do vento, sendo que a deriva na pulverização, decorrente da velocidade do vento, é observada em diferentes trabalhos (FELSOT et al., 2011; FRITZ, 2006; FOCUS, 2007).

Dentro do seu trabalho, Fritz (2006) alcançou resultados que indicaram a influência direta do vento na pulverização, sendo que com o aumento da velocidade do vento houve elevação da deriva dos produtos e parte destes se acumularam em áreas a favor do vento.

6.3.4 Comparativo de custos com defensivos agrícolas e produtos de controle biológico

Em relação ao valor gasto por hectare com defensivos agrícolas e produtos de controle biológico, considerando a cotação de preços dos produtos agrícolas em novembro de 2020 na safra 2020/2021, foi gasto R\$ 2.270,79. Já na safra 2022/2023 o valor monetário despendido foi de R\$ 2.615,59, levando em consideração o valor dos produtos agrícolas em novembro de 2022.

Visando-se comparar os valores monetários despendidos com defensivos agrícolas e produtos de controle biológico, multiplicou-se a quantidade de produtos utilizados em cada

uma das duas safras com os respectivos valores praticados no mês de novembro de 2022. Assim, adotando os valores citados, observou-se que o custo de defensivos agrícolas somados com produtos de controle biológico aplicados por hectare na safra de 2020/2021 foi de R\$ 5.904,05, enquanto na safra de 2022/2023 o custo foi de R\$ 2.615,59. Levando-se em consideração a extensão da área produtiva de 15,5 ha, o custo com defensivos agrícolas e produtos de controle biológico para as safras de 2020/2021 e de 2022/2023 foram, respectivamente, de R\$ 91.512,77 e de R\$ 40.541,65 – sendo a diferença no valor gasto com defensivos e produtos de controle biológico na safra 2020/2021 em comparação com 2022/2023 de R\$ 50.971,12, ou seja, alcançando um valor gasto 125% superior.

A diferença entre os valores monetários utilizados nas safras é decorrente principalmente da maior quantidade de produtos de controle biológico aplicados na safra de 2020/2021, o que leva a crer que os fatores climáticos representados, especialmente pela velocidade do vento, no momento da aplicação, com possível ação na deposição e deriva de gotas, teve influência para a aplicação de maior quantidade de inseticidas e produtos de controle biológico, no momento da pulverização, pois na safra de 2020/2021 ocorreu uma data de aplicação com velocidade máxima do vento superior à recomendada na aplicação destes produtos, enquanto na safra de 2022/2023 não ocorreu data com velocidade do vento superior à recomendada para aplicação destes produtos.

6.4 CONCLUSÕES

As condições climáticas representadas pela temperatura do ar, UR, precipitação e velocidade do vento exercem influência durante o cultivo de soja tanto no surgimento de doenças quanto na pulverização para o controle ou erradicação, tendo ação direta no consumo de produtos e no gasto monetário do produtor.

Enquanto fatores climáticos tais como temperatura do ar e UR têm maior previsibilidade adotando o planejamento da pulverização pela manhã, a velocidade do vento deve ser monitorada antes e durante a aplicação visando a economia de defensivos e produtos de controle biológico.

A maior ocorrência de precipitação, aliada a outros fatores relacionados ao solo e à planta, é fator preponderante para a ocorrência de fungos durante o cultivo de soja.

6.5 REFERÊNCIAS

AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de Fitopatologia**. 7. ed. São Paulo: Ceres, 2018. 573 p.

ANDEF - ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. **Manual de Tecnologia de Aplicação de Produtos Fitossanitários**. Campinas: Linea Creativa, 2004. 50p.

APARECIDO, L. E. de O.; ROLIM, G. D. S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P. S. de; JOHANN, J. A. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 40, n. 4, p. 405-417, 2016.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SOUZA, Â. R. L. de; SILVA, L. X. da. Gestão de custos na produção de milho e soja. **Revista Brasileira de Gestão de Negócios**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 273-294, 2018.

ARVIDSSON, T.; BERGSTRÖM, L.; KREUGER, J. Spray drift as influenced by meteorological and technical factors. **Pest Management Science**, Chichester, v. 67, p. 586-598, 2011.

BALAN, M. G.; ABI-SAAB, O. J. G.; SILVA, C. G. da; RIO, A. do. Deposição da calda pulverizada por três pontas de pulverização sob diferentes condições meteorológicas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 2, p. 293-298, 2008.

BROCHADO, M. G.; MENDES, K. F. **A “nova” era do dicamba: Problemas ou soluções?** Boletim informativo MIPD, n. 6, outubro de 2020.

BUENO, M. R.; CUNHA, J. P. A. R.; SANTANA, D. G. Assessment of spray drift from pesticide applications in soybean crops. **Biosystems Engineering**, v. 154, p. 35-45, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.10.017>

CARLSEN, S. C. K.; SPLIID, N. H.; SVENSMARK, B. Drift of 10 herbicides after tractor spray application. 2. Primary drift (droplet drift). **Chemosphere**, Philadelphia, v. 64, p. 778-786, 2006.

CONTIERO, R. L.; BIFFE, D. F.; CATAPAN, V. Tecnologia de Aplicação. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T.; FREITAS, P.S.L.; BERIAN, L.O.S.; GOTO, R. **Hortaliças-fruto**. Maringá: EDUEM, p. 401-449, 2018.

DEGREEFF, R. et al. Influence of plant growth stage and temperature on glyphosate e cacy in common lambsquarters (ffi *Chenopodium album*). **Weed Technology**, v. 32, n. 4, p. 448-453, 2018.

FELSOT, A.S.; UNSWORTH, J.B.; LINDERS, J.B.H.J.; ROBERTS, G.; RAUTMAN, D.; HARRIS, C.; CARAZO, E. Agrochemical spray drift; assessment and mitigation—a review. **Journal of Environmental Science and Health Part B-Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes**, v. 46, n. 1, 2011.

FOCUS. Report of the FOCUS Working Group on Landscape and mitigation factors. **Aquatic Risk Assessment**. Detailed Technical Reviews. Vol. 2. 2007.

FRITZ, B. K. Meteorological effects on deposition and drift of aerielly applied sprays. **Transactions of the ASABE**, v. 49, n. 5, p. 1295-1301. 2006.

GIL, E.; BALSARI, P.; GALLART, M.; LLORENS, J.; MARUCCO, P.; ANDERSEN, P. G.; FÀBREGAS, X.; LLOP, J. Determination of drift potential of different flat fan nozzles on a boom sprayer using a test bench. **Crop Protection**, Philadelphia, v. 56, p. 58-68, 2014.

GRAZIANO, C. E. P. L. **Qualidade de aplicação de produtos fitossanitários com duas classes de gotas em três períodos do dia**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte do Paraná. Bandeirantes, 2016.

HASS, M. **Efeito de horários de aplicação de fungicida no controle de phakopsorapachyrhizi na cultura da soja.** Dissertação (Mestrado Profissional em Desenvolvimento Rural) – Universidade de Cruz Alta. Cruz Alta. 2017.

HOFFMANN, L. L.; ROEHRIG, R.; BOLLER, W.; FORCELINI, C. A. Deposition and coverage of soybean leaf surfaces by sprays Applied using different assisted boom sprayer systems. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 39, n. 2, p. 198-207, 2019.

LAPERA, C. A. I.; LIMA, M. W. de P.; VILARINHO, M. S. **Ecofisiologia de culturas agrícolas: ecofisiologia da soja.** Editora da Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. 120p.

MATZRAFI, M. Climate change exacerbates pest damage through reduced pesticide efficacy. **Pest Management Science**, v. 75, n. 1, p. 9-13, 2019.

NUYTTENS, D.; SCHAMPHELEIRE, M.; STEURBAUT, W.; BAETENS, K.; VERBOVEN, P.; NICOLAÏ, B.; RAMON, H.; SONCK, B. Experimental study of factors influencing the risk of drift from field sprayers, Part1: Meteorological conditions. **Aspects of Applied Biology**, Warwick, v. 77, p. 1-8, 2006.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná** – 2a.ed. Curitiba: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – NEPAR-SBCS, 2019.

PITA, J. D. **Fitossanitários em pulverizações na cultura da laranja.** 2015. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus Jaboticabal. 2015.

PREFTAKES, C. J.; SCHLEIER III, J. J.; KRUGER, G. R.; WEAVER, D. K.; PETERSON, R. K. D. Effect of insecticide formulation and adjuvant combination on agricultural spray drift. **PeerJ**, v. 7, e7136, 2019. <https://doi.org/10.7717/peerj.7136>

QUEIROZ, H. S.; REIS, E. F. Deposição de Calda de Pulverização Hidráulica de Uso Agrícola em Condições Controladas de Temperatura. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 4, n. 2, p. 230-240, 2015.

RAETANO, C. G. Introdução ao estudo da tecnologia de aplicação de produtos fitossanitários. In: ANTUNIASSI, U. R.; BOLLER, W. (Org.). **Tecnologia de aplicação para culturas anuais.** Cap. 1, p. 15-26. Passa Fundo: Aldeia Norte; Botucatu: FEPAF, 2011.

SANTIAGO, H. **Simulação de perdas por evaporação na pulverização aérea.** Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

SANTOS, H. D.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. D.; OLIVEIRA, V. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3a.ed. Embrapa Solos: Brasília, Brazil, 2013.

SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. C. **Tecnologias de produção de soja.** Londrina: Embrapa Soja (Embrapa Soja. Sistemas de Produção 17), 2020.

SOUZA, F. M. **Épocas de semeadura e aplicações de fungicida na soja: impacto sobre caracteres agronômicos e na produtividade final de grãos.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021.

ULISSES, R. A. **Principais aspectos para reduzir a deriva de herbicidas**. Notícias Agrícolas, 2020. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/>. Acesso em: 01 dez. 2022.

WEBER, N. C.; SANTOS, E. M.; RUSSINI, A.; SILVA, F. F. Qualidade da aplicação de inseticida na cultura da soja realizada em diferentes condições climáticas e operacionais. **Energia na Agricultura**, v. 34, n. 1, p. 124-133, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2019v34n1p124-133>

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos no presente trabalho é possível apresentar as seguintes contribuições:

No artigo 1 foi possível observar a influência das condições climáticas na produtividade alcançada pela soja, ficando evidente a relação da quantidade e da periodicidade da precipitação na produtividade atingida, porém neste caso para estudo da influência de fatores climatológicos, tais como a temperatura e a umidade relativa do ar, recomenda-se que para trabalhos futuros seja refeito o experimento utilizando-se dados de maior quantidade de safras na mesma área, pois com isso pode-se identificar possíveis eventos adversos com influência na temperatura e na umidade relativa do ar e, conseqüentemente, podendo influenciar a produtividade da soja.

No artigo 2 foi possível obter a relação das condições climáticas e pulverização, evidenciando a influência da velocidade do vento na aplicação e quantidade de defensivos agrícolas e produtos de controle biológico, sendo que conforme se tem a velocidade do vento superior à recomendada para a aplicação se exige a aplicação de maior quantidade de produtos e, assim, conseqüentemente, ocasiona maiores gastos durante a safra da soja, afetando a sua viabilidade ao produtor. Contudo, recomenda-se que sejam realizados trabalhos futuros utilizando-se maior quantidade de safras e aplicações em áreas diferentes, visando um maior campo amostral, para confirmação dos resultados.

APÊNDICE

Regional weather variations and yields achieved in soybean crops

Marcos V. M. Machado¹, Márcio F. Maggi¹, Antonio M. M. Hachisuca², Erivelto Mercante¹ & Franciléia O. Silva¹

¹ Department of Agricultural Engineering, State University of West Paraná, Cascavel, PR, Brazil

² Center of Exact Sciences and Technology, State University of West Paraná, Foz do Iguaçu, PR, Brazil

Correspondence: Marcos V. M. Machado, Department of Agricultural Engineering, State University of West Paraná (UNIOESTE), Cascavel, PR, Brazil. E-mail: marcosengagr@gmail.com

Received: January 18, 2023 Accepted: March 3, 2023 Online Published: April 15, 2023
doi: 10.5539/jas.v15n5p10 URL: <https://doi.org/10.5539/jas.v15n5p10>

Abstract

Monitoring weather conditions during soybean cultivation is essential in agricultural planning. The variation of these conditions, such as temperature, precipitation, relative humidity and soil moisture directly influence the productive performance of crop. With this, the objective of the work was to verify the effects of weather conditions on the soybean yield, carrying out the survey of the minimum, maximum and average temperature and the total precipitation during the cultivation of the soybean and collecting the data of productivity reached in the agricultural harvests of 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 of soybeans in a commercial area with 15.5 ha, located in the Céu Azul City, Paraná State, Brazil. Regarding the results for the three soybean harvests, the air temperature remained adequate for the development of the crop in most of the cycle. And the values observed for precipitation indicated the occurrence of well-distributed rainfall in the 2019/2020 harvest, and in the 2017/2018 harvest there was irregular rainfall distribution, however there were no periods without precipitation. However, the large precipitation deficit occurred in the 2018/2019 harvest, where the lack of rain occurred in 28 days, between 12/03/2018 and 12/30/2018, indicating a drought in this period. The soybean yield obtained in the area in the 2019/2020 harvest was 3.727 t ha⁻¹, higher than the other two soybean harvests, being that 2018/2019 harvest reaching the lowest value, 2.394 t ha⁻¹, indicating the influence of the weather in the soybean yield achieved.

Keywords: weather conditions, soybean yield, soil moisture, temperature

1. Introduction

Agricultural crops still encounter obstacles to achieving high yields due to weather variations. Being that the weather is the main determining factor of yield in agricultural crops (Carmelo, 2018). According to Kurukulasuriya and Rosenthal (2013), agriculture is the sector most vulnerable to climate impacts. Thus, monitoring the main weather parameters is of fundamental importance to measure the impact of weather on agricultural crops.

The weather is extremely important, as it provides support and conditions for the growth and development of plants. Being that the changes in weather system patterns influence agricultural yields, including annual and subannual changes in temperature and precipitation (Snyder, Waldhoff, Ollenberger & Zhang, 2021). Precipitation associated with

water deficit is the main limiting factor for soybean yield in Brazil, but other atmospheric variables, such as air temperature, photoperiod and solar radiation, can both intensify and attenuate the effects of water deficit on soybean yield (Sentelhas et al., 2015).

The soybean crop is able to tolerate, in some cases, water deficit in short periods, but it can present a significant reduction in productivity in long periods without rain. Being that, the drop in performance resulting from the water deficit is of great importance, since the development of the crop is significantly affected by low precipitation and poorly distributed rainfall (Anda, Soós, Menyhárt, Kucserka, & Simon 2020). And, soybeans are more sensitive to water deficit in the reproductive stage (Montoya, García, Pintos, & Otero, 2017).

Ferrari, Paz and Silva (2013) also report that excessive rainfall can lead to a reduction in soybean yield due to the decrease in leaf water potential and, consequently, stomatal closure, impairing photosynthesis, reducing soil aeration, development roots and nitrogen fixation in the soil.

Soybean cultivation studies indicate changes in yield due to weather variations (Nóia Junior, Fraise, Karrei, Cerbaro & Perondi, 2020), temperature (Ferreira & Rao, 2011); and precipitation (Farias, 2007; Bottega, Pinto, Queiroz, & Santos, 2013).

In this work, the objective was to verify the effects of weather conditions on the soybean yield achieved in the 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 harvests in a commercial area in the Céu Azul City in the western region of the Paraná State.

2. Materials and Methods

2.1 Characteristics of Area, Climate and Soil

The experiment was carried out in three agricultural harvests 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 in soybean cultivation in area located in the Céu Azul City, Paraná State, Brazil.

The area has approximately 15.5 ha and its central geographic location has approximate geographic coordinates of 25°06'32"S and 53°49'55"W. The local climate is classified as Cfa according to the Köppen classification. It is a humid climate, without a dry season and hot in the summer (Aparecido, Rolim, Richetti, Souza, & Johann, 2016). The average annual temperature in the Ceu Azul City is 18.5°C and the average annual precipitation is 1890 mm.

The soil of the experimental area has a clayey texture and is classified as typical Dystrophic Red Latosol (LVd) in the Brazilian Soil Classification System (Santos et al., 2013). The delimitation of the experimental area was carried out with GPS and for the composition of the sampling grid, 40 sampling points were used. At the sampling points, attributes related to altitude, slope, chemical and physical attributes (soil resistance to penetration, total porosity) were determined.

Figure 1 represents the location of the experimental area.

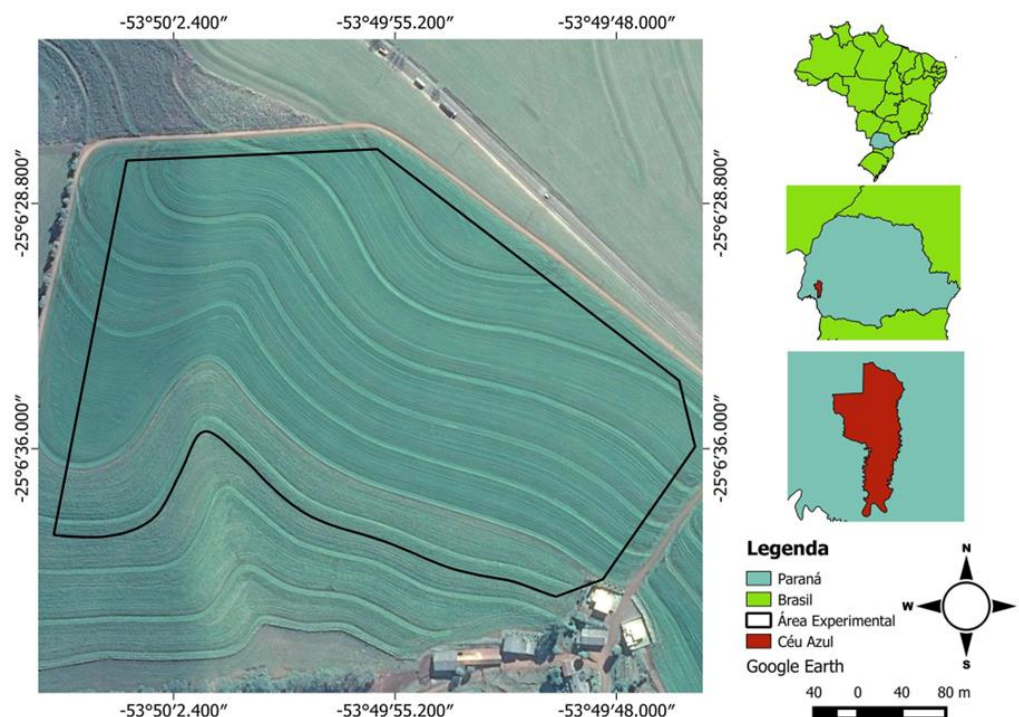


Figure 1. Representation of the experimental area and location coordinates

2.2 Monitoring of weather conditions

For the monitoring of weather conditions, in the work were used data provided by the System of Technology and Environmental Monitoring of Paraná (SIMEPAR) from the climatological station located in Cascavel City, City close to the experimental area.

The work used the climatological data contained in the periods with soybean cultivation in the experimental area in the 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 harvests. The data used were: precipitation and minimum, maximum and average air temperatures.

In order to identify the weather parameters that may affect productivity and that are unsuitable for soybean cultivation, climatological data were grouped in periods of fourteen days, within each harvest, obtaining the minimum, maximum and average temperatures reached and precipitation total.

2.3 Planting, Harvesting and Yield

In soybean planting in the agricultural years 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020, the soybean cultivar used was Syngenta 1359, soybean cultivar super early cycle, and spacing between rows of 0.70 m was used to facilitate the traffic of machines, as the harvester and sprayer are adjusted for this spacing.

Harvesting was performed with a harvester equipped with GPS and a harvest monitor with a sensor attached to the top of the grain elevator. In the work, yield data were collected for the three soybean harvests and later relating the yield achieved with the weather data obtained. Thus, weather conditions, precipitation and minimum, maximum and average air temperatures during the seedling cultivation period were recorded, aiming to identify

improper conditions for cultivation associated with deficits in the yields achieved.

2.3 Statistical analysis

Statistical analysis was performed using a completely randomized design (CRD), with treatments represented by soybean yields and harvest monitor measurements considered as replicates. Tukey's test, at a 5% probability level, was used to compare the yields achieved in the harvests.

3. Results and Discussion

3.1 Analysis of Soil Chemical Attributes

The analyzes of the chemical attributes of the soil were carried out in 2017 and 2019 according to Table 1, following the history of soil management in the area and the criterion of the producer, there was no need for chemical analysis of the soil in 2018, as the producer adopts carrying out chemical analyzes of the soil at intervals of 2 years.

Table 1. The results of the analysis of soil chemical attributes

Year	Chemical attributes								
	Ca	Mg	K	Al	H+Al	CTC	P	V	pH
--	-----cmolc/dm ³ -----						mg/dm ³	%	-
2017	7,725	2,629	0,549	0,009	5,291	16,194	22,044	67,190	5,930
2019	6,104	2,601	0,611	0	3,971	12,961	27,722	69,911	5,501

The results presented for Ca, Mg, P, K, pH in the 2017 and 2019 in soil chemical analyzes are included in the very high interpretation class; and, CTC, V as high in the interpretation table of soil chemical parameters for the Paraná State by the authors Pauletti and Motta (2019), thus being considered suitable for soybean cultivation. The Al element was the only that presented a low amount in the years 2017 and 2019, but it is not an element considered essential in soybean cultivation.

However, due to the high demand for nutrients N, P and K in soybean cultivation, mineral fertilizer NPK 8-40-00 was used for fertilization, being applied throughout the area in the amount of 125 kg ha⁻¹ made directly with the planting in the three soybean agricultural years.

3.2 Weather data

The weather data collected during the 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 soybean crops: precipitation, minimum, maximum and average temperatures, are represented in intervals of fourteen days in Table 2.

Table 2 Precipitation and temperature data for the 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 soybean crops

Precipitation and temperature data from the climatological station located in Cascavel City					
Soybean Crop	Period	Precipitation (mm)	Minimum T (°C)	Maximum T (°C)	Average T (°C)
2017/2018	11/01 à 11/14/2017	149,00	11,90	31,00	20,85
	11/15 à 11/28/2017	173,00	12,70	34,10	21,63
	11/29 à 12/12/2017	11,00	16,10	33,20	23,39
	12/13 à 12/26/2017	262,00	17,20	33,50	23,58
	12/27 à 01/09/2018	186,20	16,00	30,80	22,23
	01/10 à 01/23/2018	256,80	17,60	29,50	22,80
	01/24 à 02/06/2018	17,40	16,00	32,40	24,09
	02/07 à 02/20/2018	389,00	15,20	32,50	22,78
	02/21 à 02/23/2018	0,60	13,80	31,50	22,42
2018/2019	11/05 à 11/18/2018	29,60	14,60	33,30	23,28
	11/19 à 12/02/2018	56,40	14,60	29,30	21,78
	12/03 à 12/16/2018	13,20	11,80	33,10	23,00
	12/17 à 12/30/2018	10,20	17,90	32,70	24,68
	12/31 à 01/13/2019	75,60	17,70	34,90	25,02
	01/14 à 01/27/2019	46,00	16,70	34,70	25,06
	01/28 à 02/10/2019	57,20	16,20	36,30	25,04
	02/11 à 02/24/2019	47,60	16,20	32,70	23,26
2019/2020	02/25 à 03/05/2019	34,00	15,20	33,10	23,38
	10/27 à 11/09/2019	128,60	16,20	36,30	24,44
	11/10 à 11/23/2019	52,20	15,10	34,10	24,08
	11/24 à 12/07/2019	78,00	12,30	32,10	21,99
	12/08 à 12/21/2019	207,20	15,70	32,40	21,72
	12/22 à 01/04/2020	7,60	13,80	34,00	24,17
	01/05 à 01/18/2020	114,20	17,00	32,10	24,18
	01/19 à 02/01/2020	41,40	15,70	32,40	23,19
	02/02 à 02/15/2020	70,80	15,50	33,30	24,09
02/16 à 02/25/2020	50,00	12,10	34,60	24,85	

T: Temperature.

The averages of the fourteen-day temperature intervals over the entire period of the 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 crops remained between 20°C and 30°C, with the minimum temperatures being above 10° C and the maximum temperatures that occurred in the crops were below 40°C, remaining according to MAPA (2017) within the appropriate conditions for soybean cultivation, results that indicate that temperature was not a determining factor for the variation in soybean productivity. In agreement with this result, in the Roncador and Boa Esperança Cities, in the Paraná State, in Brazil, during the soybean crops of 2008/2009, 2009/2010 and 2010/2011, temperatures remained between 20°C and 30°C, not compromising the final productivity achieved (Oliveira, Silva, & Yokoo, 2019).

Regarding precipitation in the 2017/2018 soybean crop, there was excessive precipitation and irregular rainfall distribution, but without periods with no precipitation. In

turn, in the 2018/2019 cultivation, the averages of the fourteen-day intervals also indicate a large variation in the amount of rainfall, including the presence of drought in the period between December 03, 2018 and December 30, 2018. In line with this result, in the 2011/2012 crop year there was a deficit of precipitation, in relation to that recommended for the soybean cycle, with the occurrence of the “La Niña” phenomenon, causing a reduction in soybean yield of 44, 29 and 10% respectively, in the states of Rio Grande do Sul, Paraná and Mato Grosso do Sul (CONAB, 2013).

On the other hand, during the 2018/2019 soybean crop, there was a better distribution of precipitation, with rain occurring in all periods in the soybean cycle. Result obtained that is in agreement with the results of Carmelo (2018) in soybean planting in southern Brazil. Since, Farias (2011) express that the water availability during the growing season constitutes the main limitation to reach the yield potential of soybeans and the main cause of variability of grain yields observed from one year to another.

The total precipitation during the soybean cycle in the 2017/2018 and 2018/2019 crops respectively reached the values of 1445.0 mm cycle⁻¹ mm and 369.8 mm cycle⁻¹, results that are outside the range considered ideal according to Lourenço (2020), which indicates that during its cycle the soybean plant needs a total of water that varies between 450 to 800 mm cycle⁻¹. In contrast, in the 2019/2020 soybean crop, precipitation reached a value of 750 mm cycle⁻¹, in line with the work of Schenatto (2014) and Camicia (2018) who, like this work, obtained results greater than 450 mm cycle⁻¹ and less than 800mm cycle⁻¹ of the precipitation for the same area in soybean crops in 2012/2013 and 2015/2016, respectively.

With this, it is observed that the adequate precipitation level occurred in the 2019/2020 soybean crop, favoring the performance of soybean plants. And, in contrast, there was a deficit in the amount of rainfall in the 2018/2019 crop, which is outside the recommended range, so it is considered that the water available for soybeans during its cycle may have limited plant development in the 2018/2019 soybean crop, because according to Anda, Soós, Menyhárt, Kucserka and Simon (2020), water deficiency during soybean cultivation is the most important environmental variable that contributes to the reduction of soybean yield.

On the other hand, there was excess precipitation in soybean cultivation in 2017/2018, which is outside the ideal precipitation limits for soybean cultivation recommended by Lourenço (2020), which may have caused a decrease in the final productivity achieved.

3.3 Soybean Yield

The soybean yield obtained in the experimental area in the 2017/2018, 2018/2019 and 2019/2020 crops were, respectively, 2.984 t ha⁻¹; 2,394 t ha⁻¹; and, 3,727 t ha⁻¹.

Figure 2 shows the comparison of yields achieved in the three crops analyzed in the experimental area.

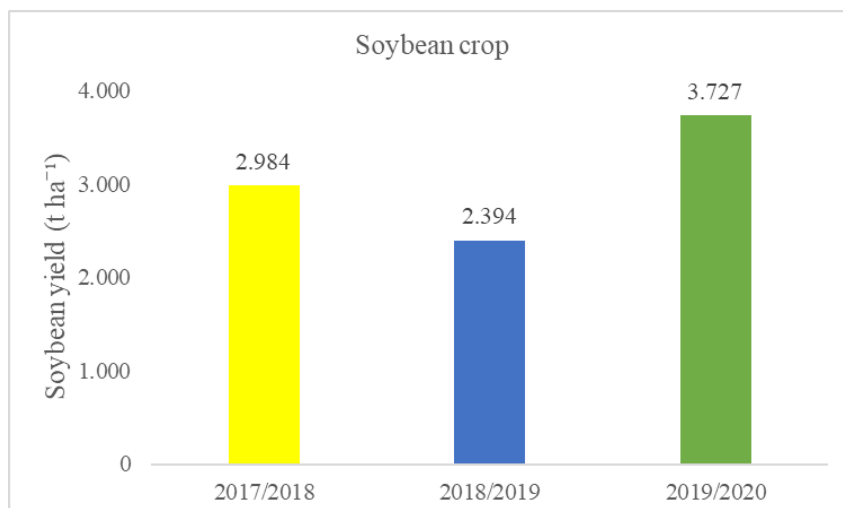


Figure 2. Productivity achieved in the experimental area in soybean crop

It can be seen in Figure 2 that in the 2019/2020 soybean crop, productivity was 55.68% higher than in 2018/2019; and, 24.9% higher than 2017/2018, and the higher productivity result achieved is in line with Radin, Schonhofer and Tazzo (2017) who also obtained higher productivity in soybean cultivation with adequate amount and distribution of precipitation and non-occurrence of drought during the soybean cycle.

Regarding the statistical analysis, performing the Tukey test to compare the average yields of soybean crops, it was observed that there was a significant difference in the yields of the three crops, with the productivity of each crop divergent in relation to the other two yields.

Thus, with the yield data analyzed in Figure 2, it was observed that the deficit or excess of precipitation was a determining factor for the variation in yield.

Comparing the 2019/2020 crop: in the 2018/2019 crop there was a decrease of 380.2 mm of precipitation during the soybean cycle, compromising 1.333 t of production; and in 2017/2018 there was an excess of 695 mm of precipitation during the soybean cycle, reducing the final production achieved by 0.743 t.

4. Conclusions

Keeping the temperature within limits considered ideal for the development and production of soybeans has no influence on the variation in soybean yield.

On a regional scale, in an area without irrigation technology, where a monoculture agricultural environment predominates, a microclimate can be generated that is directly dependent on the variability and amount of rainfall in the soybean cycle.

The deficit or excess in precipitation and the incidence of poorly distributed rainfall during the soybean cycle influence the development of the crop, generating negative results in soybean yield.

The occurrence of drought during soybean cultivation can lead to a deficit of available water for soybean plants, influencing their development and, consequently, influencing the final yield achieved by the crop.

Precipitation in excess of the recommended amount during the soybean cycle causes excess water and reduced aeration in the soil, causing, as a consequence, a decrease in soybean yield.

Acknowledgements

The authors would like to thank the State University of Western Paraná (UNIOESTE) and the Coordination for the Upgrading of Higher Education Personnel (CAPES).

References

- Anda, A., Soós, G., Menyhárt, L., Kucserka, T., Simon, B. (2020). Yield features of two soybean varieties under different water supplies and field conditions. *Field Crops Research*, 245. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107673>
- Aparecido, L. E. de O., Rolim, G. D. S., Richetti, J., Souza, P. S., Johann, J. A. (2016). Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, 40(4), 405–417. <https://doi.org/10.1590/1413-70542016404003916>
- Bottega, E. L., Pinto, F., Queiroz, D. M., Santos, N. T. (2013). Variabilidade espacial e temporal da produtividade de soja no Cerrado brasileiro. *Revista Agrarian*, 6, 167-177. <http://doi.org/10.30612/agrarian.v6i20.1503>
- Camicia, R. G. da M. (2018). Seleção de variáveis para geração de zonas de manejo e diferentes densidades de semeadura de soja. (Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel/PR, Brazil).
- Carmelo, V. (2018). Variabilidade pluviométrica e produção de soja: análise comparativa entre regiões produtoras do Brasil, Estados Unidos e Índia. (Tese de Doutorado em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente/SP, Brazil). Retrieved from: [file:///C:/Users/55459/Downloads/carmello_v_dr_prud%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/55459/Downloads/carmello_v_dr_prud%20(2).pdf)
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. (2013). Acompanhamento da safra brasileira: grãos, oitavo levantamento da safra de grãos 2011/2012. Brasília: Safra 2011/12, CONAB.
- Farias, J. R. B. (2011). Limitações climáticas à obtenção de rendimentos máximos de soja. Rosário: V Congresso da Soja do Mercosul.
- Farias, J. R. B., Nepomuceno, A. E., Neumaier, N. (2007). *Ecofisiologia da soja*. Londrina, PR: Embrapa Soja, Circular Técnica 48.
- Ferrari, E., Paz, A., Silva, A. C. (2015). Water deficit on the soybean metabolism in early sowings. *Nativa*, 3(1), 67-77. <http://doi.org/10.14583/2318-7670.v03n01a12>
- Ferreira, D. B., Rao, V. B. (2011). Recent climate variability and its impacts on yields in Southern Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 105, 83 – 97. <http://doi.org/10.1007/s00704-010-0358-8>

Kurukulasuriya, P., & Rosenthal, S. (2003). Climate change and agriculture: a review of impacts and adaptations. The World Bank Environment Department, URI: <http://hdl.handle.net/10986/16616>

Lourenço, L. F. (2020). O efeito da deficiência hídrica em plantas de soja. (Tese de Doutorado em Ciências, Universidade de São Paulo). <https://doi.org/10.11606/T.11.2020.tde-02102020-154804>

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. (2017). Portaria Nº 16, de 20 de julho de 2017. Aprova o ZARC para o Estado do Paraná. Brasília, Diário Oficial da União de 21 de julho de 2017.

Montoya, F., García, C., Pintos, F., Otero, A. (2017). Effects of irrigation regime on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 193, 30-45. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.001>

Nóia Junior, R. D. S., Fraisse, C. W., Karrei, M A. Z., Cerbaro, V. A., Perondi, D. (2020). Effects of the El Niño Southern Oscillation phenomenon and sowing dates on soybean yield and on the occurrence of extreme weather events in southern Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, 290, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108038>

Oliveira, R. de R., Silva, R. V., Yokoo, S. C. (2019). A influência climática na cultura da soja nos municípios de Roncador e Boa Esperança – PR, dos anos de 2008 a 2017. XI EPCC Encontro Internacional de Produção Científica.

Pauletti, V., Motta, A. C. V. (2019). Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná (2 nd. ed.) Curitiba, PR: Núcleo Estadual Paraná da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – NEPAR-SBCS, 2019.

Radin, B., Schonhofer, A., Tazzo, F. (2017). Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. *Agrometeoros*, 25(1), 19-26. <http://doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26263>
Santos, H. D., et al. (2013). Sistema brasileiro de classificação de solos (3nd. ed.). Brasília, DF: Embrapa Solos.

Schenatto, K. (2014). Utilização de métodos de interpolação e agrupamento para definição de unidades de manejo em agricultura de precisão. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel/PR, Brazil). Retrieved from: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/2637>

Sentelhas, P. C., Battisti, R., Câmara, G. M. S., Farias, J. R. B., Hampf, A., & Nendel, C. (2015). The soybean yield gap in Brazil - magnitude, causes and possible solutions for a sustainable production. *Journal of Agricultural Science*, 153, 1394–1411, <https://doi.org/10.1017/S0021859615000313>

Snyder, A., Waldhoff, S., Ollenberger, M., Zhang, Y. (2021). Empirical estimation of weather-driven yield shocks using biophysical characteristics for U.S. rainfed and irrigated maize, soybeans, and winter wheat. *Environmental Research Letters*, 16 (9), <http://doi.org/10.1088/1748-9326/ac15ce>

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author(s), with first publication rights granted to the journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>).