

RAFAEL SOUSA FERREIRA

**Viabilidade da cultura da canola (*Brassica napus L.*) na bacia do Alto do
Paranapanema: uma estimativa baseada em modelagem de culturas**

Buri

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

RAFAEL SOUSA FERREIRA

**Viabilidade da cultura da canola (*Brassica napus L.*) na bacia do Alto do
Paranapanema: uma estimativa baseada em modelagem de culturas**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Agronômica para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Agronômica.

Orientação: Prof. Dr. Daniel Silveira Pinto
Nassif

Financiamento: CNPQ

Buri

2021

Sousa Ferreira, Rafael

Viabilidade da cultura da canola (*Brassica napus* L.) na
bacia do Alto do Paranapanema: uma estimativa baseada
em modelagem de culturas / Rafael Sousa Ferreira --
2021.
32f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos,
campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Daniel Silveira Pinto Nassif

Banca Examinadora: Daniel Alves da Veiga Grubert,
Guilherme Mentone de Oliveira

Bibliografia

1. *Brassica napus*. 2. Lacuna de produtividade. 3.
Modelagem agrícola. I. Sousa Ferreira, Rafael. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539



ATA DE APRESENTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 27 dias do mês de **outubro** de 2021 às 15h, no Centro de Ciências da Natureza da Universidade Federal de São Carlos, por meio de videoconferência, realizou-se, a sessão pública de apresentação de Monografia do Curso de Graduação em Engenharia Agrônômica, do aluno **Rafael Sousa Ferreira** sob orientação do **Prof. Dr. Daniel Silveira Pinto Nassif**, intitulada “**Viabilidade da cultura da canola (Brassica napus) na Bacia do Alto Paranapanema: uma estimativa baseada em modelagem de culturas**”.

Pelos Professores/Membros da banca foram atribuídas as seguintes notas:

Prof./Orientador: Daniel Silveira Pinto Nassif

Nota: 9,0 (nove) Assinatura: _____

Prof./Membro: Daniel Alves da Veiga Grubert

Nota: 9,0 (nove) Assinatura: _____

Prof./Membro: Guilherme Mentone de Oliveira

Nota: 9,0 (nove) Assinatura: _____

O aluno foi **APROVADO** com a média final de **9,0 (nove)**.

AGRADECIMENTO

Aos meus pais, Nardy e Patrícia, pelo apoio incondicional e sempre buscarem fazer o melhor; ao meu irmão, João, pela parceria e o carinho recíproco; à minha família que sempre me motivou e me faz sentir que posso alcançar meus objetivos; aos meus amigos do colégio, o time Canelas F.C, pela amizade e dividir momentos bons e ruins durante a vida; aos meus amigos da faculdade, o time D.P FC, pela amizade, os churrascos, as conversas, as caronas e toda parceria nos momentos longe de casa; às pessoas especiais que estão na minha vida e que sempre estendem a mão, Guilherme Maciel, Pietro Soranz, Vinicius Marinho, Gabriel Matos, Geovanna Taeko, Jade Freitas, Amanda Reviglio, entre tantas outras.

Ao Núcleo de Estudos e Pesquisa em Agrometeorologia Modelagem e Irrigação (NEPAMI) pela oportunidade de me desenvolver profissionalmente e me aproximar de futuros engenheiros agrônomo e ambiental de excelência e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade da cultura da canola (*Brassica napus L.*) em diferentes municípios da Bacia do Alto Paranapanema por meio da modelagem das culturas. Utilizaram-se os dados meteorológicos diários de temperaturas máxima e mínima (°C), pluviosidade (mm) e radiação global ($\text{W.m}^{-2}.\text{D}^{-1}$) de dez municípios da região entre os anos de 2009 a 2019 e, posteriormente, introduzidos na plataforma do DSSAT para determinação da produtividade atingível. Foram simulados 10 datas de semeadura, espaçadas em quinze dias, de 15 de fevereiro a 30 de junho, com o objetivo de entender a janela de semeadura adequada da canola na Bacia do Alto Paranapanema. Por fim foi feita a espacialização dos dados com o software Quantum Gis (QGis 3.18). Mesmo essas simulações ficando distantes de índices de produtividades de países mais tradicionais no cultivo de canola, como Canadá, a nível nacional a região pode se tornar um expoente da produção, com produtividade atingível média nas melhores datas de semeadura, entre 15 de abril a 15 de junho, de 1.492,85 Kg.ha^{-1} e desvio padrão médio de 139,60. Isso mostra o potencial da inserção da canola na região da Bacia do Alto Paranapanema, devendo consequentemente ter investimentos para quantificar e, posteriormente, aumentar a eficiência agrícola.

Palavras-chave: *Brassica napus*, DSSAT, eficiência produtiva, lacuna de produtividade

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the viability of canola (*Brassica napus L.*) in different municipalities in the Alto Paranapanema Basin through crop modelling. We used daily meteorological data of maximum and minimum temperatures (°C), rainfall (mm) and global radiation ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{D}^{-1}$) of ten municipalities in the region between 2009 to 2019 and, later, introduced in the DSSAT platform to the determination of attainable productivity. Ten dates of sowing were simulated, spaced fifteen days, from February 15 to June 30, with the objective to understand the right sowing window of the canola in the Alto Paranapanema Basin. Finally, data was spatialised with Quantum Gis software (QGis 3.18). Even though these simulations are far from productivity indices of traditional countries in canola production, as Canada, at the national level the region can be an exponent of production, with average attainable productivity on the best sowing dates, between April 15 to 15 June, of 1.492,85 Kg.ha^{-1} and average standard deviation of 139,60. This shows the potential of canola in the Alto Paranapanema Basin region, and should therefore have investments to quantify and, subsequently, increase agricultural productivity.

Key words: *Brassica napus*, DSSAT, productivity efficiency, productivity gap.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização dos municípios da bacia do Alto do Paranapanema.....	14
Figura 2 - Pluviosidade mensal média e radiação global média mensal (Rg) durante os anos de 2009 a 2019 na Bacia do Alto Paranapanema.....	18
Figura 3 - Média das temperaturas máxima, média e mínima, em °C, na Bacia do Alto Paranapanema de 2009 a 2019.....	18
Figura 4 – Espacialização do Tratamento 1.....	21
Figura 5 – Espacialização do Tratamento 2.....	22
Figura 6 – Espacialização do Tratamento 3.....	23
Figura 7 – Espacialização do Tratamento 4.....	24
Figura 8 – Espacialização do Tratamento 5.....	25
Figura 9 – Espacialização do Tratamento 6.....	26
Figura 10 – Espacialização do Tratamento 7.....	27
Figura 11 – Espacialização do Tratamento 8.....	28
Figura 12 – Espacialização do Tratamento 9.....	29
Figura 13 – Espacialização do Tratamento 10.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tratamento de interesse do presente trabalho em função da data de semeadura.....	15
Tabela 2 – Parâmetros de entrada do modelo CSM-CROPGRO-Canola.....	16
Tabela 3 – Média e Desvio padrão de produtividade de todos os tratamentos por município.....	19
Tabela 4 - Média e Desvio padrão dos tratamentos com melhores desempenhos.....	20

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
4. CONCLUSÕES.....	31

1 INTRODUÇÃO

A canola (*Brassica napus L. var oleífera*) é uma cultura decorrente do melhoramento genético empregado na colza (*Brassica napus*) na década de 1970 no Canadá com o objetivo de produzir uma variação desta com um óleo de melhor qualidade (Kirkegaard et al., 2021). Das classificações de canola, a mais propícia para a condição geográfica brasileira é a canola de primavera, para latitudes menores de 35°.

Segundo os dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAOstat, 2021) a produção de canola na China, Canadá, União Europeia e Austrália, de 1993 até 2019, se multiplicou por 2, 3, 4 e 10, respectivamente. No Brasil, atualmente sua produção se limita a produção de alimentos (Milazzo et al., 2013) e rações (Woyengo et al., 2016).

No Brasil, a produtividade e produção de canola, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2021) está estimada em 1.255 Kg.ha⁻¹ e 48,7 toneladas, respectivamente, este valor de produtividade está abaixo do relatado pelo USDA (2019) para o Canadá, 2.249 Kg.ha⁻¹, país referência no cultivo de canola. Segundo Bergmann et al (2013) 94% da produção de canola nacional se concentra na região Sul, principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná. Segundo Kirkegaard et al (2021) a América do Sul apresenta áreas com condições necessárias de solo e climáticas para produção de canola, principalmente no Brasil, cerca de 8 milhões de hectares, entretanto faltam incentivos econômicos para o desenvolvimento do cultivo de canola. Jacob Junior et al (2012) acrescenta que a região sudeste se mostra uma região interessante de expansão da canola, principalmente para sistemas de rotação de culturas ou cobertura de solo. Este primeiro tópico é responsável pela produção de 15 a 20% da produção global de alimentos, sendo muito comum em regiões tropicais e subtropicais da América Latina, Ásia e África (Lithourgidis et al., 2011).

A Bacia do Alto Paranapanema é uma divisão hidrográfica, estabelecida pela Lei 9.034 de 27 de dezembro de 1994, localizada na região sudoeste do estado de São Paulo, com 22.738,2 km², abrangendo 38 municípios. Nessa região destaca-se a produção agrícola com foco na produção de celulose e papel, além da agricultura irrigada de grãos, segundo o Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema (CBH-ALPA, 2020).

Neste trabalho serão abordados dois tipos de produtividades agrícola, potencial e atingível. O primeiro se relaciona com a máxima produtividade alcançada por uma cultura com seu genótipo ótimo e com condições ambientais favoráveis ao cultivo, sem a presença de fatores redutores e limitantes, como pragas, água, doenças e nutrientes, sendo algo intangível

na prática. A produtividade atingível é a que se utiliza o déficit hídrico por cada fase de desenvolvimento da cultura, portanto quanto mais diferente da necessidade hídrica, menor a produtividade (Sentelhas et al., 2016).

A modelagem agrícola pode ser fundamental no conhecimento de possíveis áreas de expansão de uma determinada cultura. Esses modelos possibilitam a simulação do desenvolvimento e crescimento de determinada cultura e, conseqüentemente, direcionamento de programas de melhoramento genético, a partir do conhecimento de seus processos biofísicos e podem ser utilizados para avaliação de futuros impactos climáticos, previsão e quebra de safra. (Wang et al., 2012)

Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) é um programa de modelagem que simula o desenvolvimento e crescimento das culturas, tendo como base o clima, solo, manejo e coeficientes genéticos da cultura, sendo composto por dezesseis modelos de culturas concentrados em um software com atribuições de possibilitar a entrada, armazenamento e organização dos dados das culturas, de solos e clima; estimativa de rendimento; auxílio nas observações do campo, dos aspectos genéticos e das condições experimentais (Boote et al., 2013). A primeira calibragem para a cultura da canola, originando o DSSAT/CSM-CROPGRO-Canola, foi realizada por Jing et al (2016) para região de West Nipissing, Canadá, tendo como base o modelo de feijão fava idealizado por Boote et al (2002).

O objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio do DSSAT, a produtividades potencial e atingível da canola na região da Bacia do Alto Paranapanema em diferentes datas de semeadura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo abordou a região da bacia do Alto do Paranapanema que é composta por 38 municípios e localizada no Sudoeste Paulista (Figura 1), dentre os quais utilizaram-se as informações de dez, sendo eles: Apiaí, Avaré, Capão Bonito, Itaberá, Itapetininga, Itapeva, Itararé, Paranapanema, Riversul e Taquarituba. O clima desta região, segundo a classificação climática proposta por Koppen, e refinada por Alvares et al (2013), é do tipo Cfa (Clima Subtropical Úmido). O solo predominante, segundo a classificação da Empresa Brasileira de Produção Agropecuária (EMBRAPA, 2013) é o Latossolo Vermelho com textura argilosa.

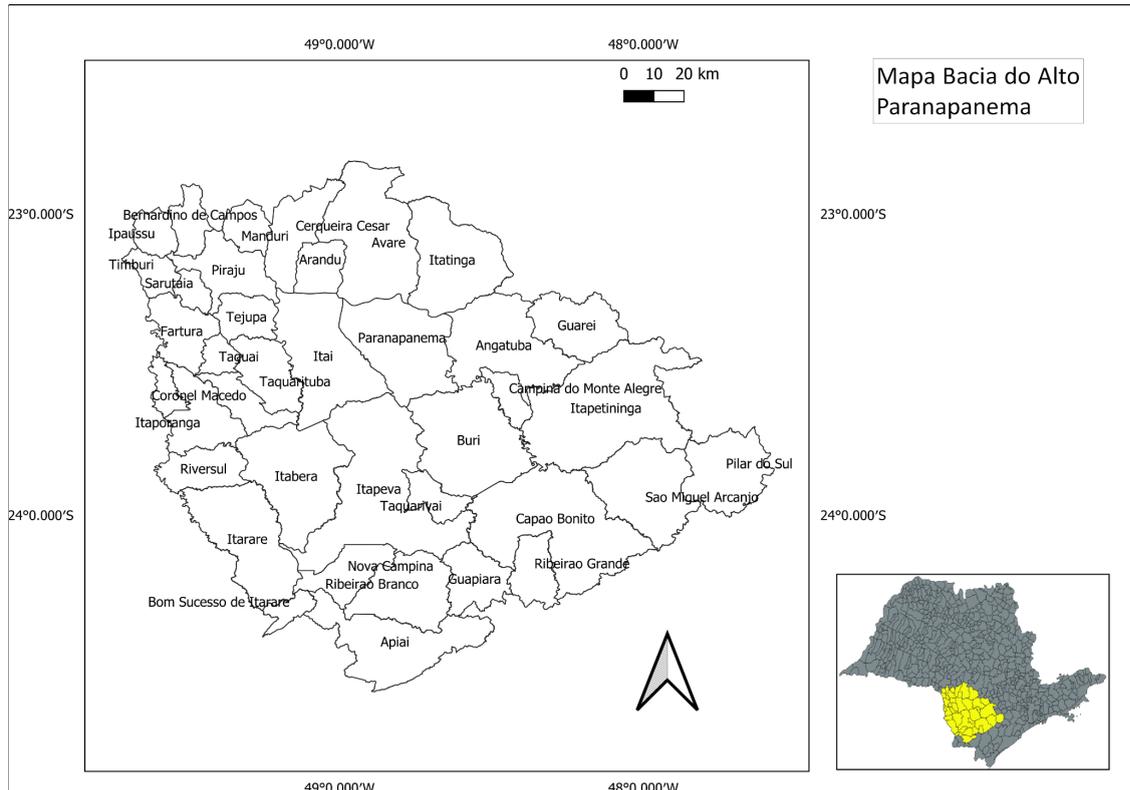


Figura 1. Localização dos municípios da bacia do Alto do Paranapanema.

As simulações foram realizadas pelo modelo CSM-CROPGRO-Canola, esse fazendo parte da plataforma DSSAT, de modo a analisar o período agrícola no período de 2009 a 2019. Para modelagem, a plataforma considera as características específicas da cultura, como a duração dos estádios fenológicos, tamanho e formato das folhas, estruturas, entre outros; biomassa e produtividade do manejo, como data de semeadura e cultivar (Deligios et al., 2013); condições do solo; do clima (Boote et al., 2013).

As simulações foram realizadas através das variáveis meteorológicas diárias utilizadas no modelo, como temperaturas mínima e máxima ($^{\circ}\text{C}$), pluviosidade (mm) e radiação solar global ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{D}^{-1}$).

Estes dados foram utilizados pelo modelo CSM-CROPGRO-Canola a fim de estimar a Produtividade Potencial e comparar os dados de campo obtidos pelos modelos calibrados por Saseendran et al (2010) e Yang et al (2014), através da análise dos parâmetros estatísticos do modelo que são Índice de concordância (d) de Willmott (1981) (equação 1), Raiz quadrada do erro médio (RMSE) (eq. 2), Erro significativo (ME) (eq. 3) e Eficiência da modelagem (Ef) (eq. 4).

$$d = 1 - \frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{\sum(|Y_i - X_i| + |X_i - \underline{X}|)^2} \quad (1)$$

$$RMSE = \left[\left(\frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{n} \right)^{0,5} \right] \quad (2)$$

$$nRMSE = \frac{100 \times RMSE}{\underline{X}}$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i) \quad (3)$$

$$rME = \left(\frac{ME}{\underline{X}} \right) \times 100$$

$$EF = 1 - \frac{\sum(Y_i - X_i)^2}{\sum(X_i - \underline{X})^2} \quad (4)$$

Sendo n o número de amostras; Y_i os valores estimados; X_i os valores observados; \underline{X} a média dos resultados observados.

Além da comparação entre municípios da região, adotou-se diferentes datas de semeadura. Sendo que foram utilizadas dez datas de semeadura distintas, separadas entre 15 dias e abrangeram um período de 15 de fevereiro a 30 de junho (Tabela 1), tendo como repetições os anos de 2009 a 2019.

Tabela 1. Tratamento de interesse do presente trabalho em função da data de semeadura.

Tratamento em função da data de semeadura	
Tratamento 1	15 de Fevereiro
Tratamento 2	01 de Março
Tratamento 3	15 de Março
Tratamento 4	30 de Março
Tratamento 5	15 de Abril

Tratamento 6	30 de Abril
Tratamento 7	15 de Maio
Tratamento 8	30 de Maio
Tratamento 9	15 de Junho
Tratamento 10	30 de Junho

A partir da coleta dos dados meteorológicos e da definição dos tratamentos, colocou-se as informações referentes ao tipo de solo predominante na Bacia do Alto Paranapanema, o Latossolo Vermelho com textura argilosa. Os principais dados necessários para simulação foram os teores de argila, silte e areia e densidade aparente por camada de profundidade, coletados por Beutler et al (2002).

Os dados genéticos utilizados se basearam nos estudos de Deligios et al (2013) e foram calibrados por Jing et al (2016), o qual utilizaram como base a cultivar de canola InVigor 5440. Os parâmetros (Tabela 2) são apresentados a seguir.

Tabela 2. Parâmetros de entrada do modelo CSM-CROPGRO-Canola

Parâmetro	Unidade	Descrição
CSDL	horas	Duração crítica do dia curto sobre o progresso do desenvolvimento reprodutivo sem efeito da duração do dia
PP-SEN	1.hora ⁻¹	Inclinação da resposta relativa de desenvolvimento x fotoperíodo
EM-FL	Dias fototermais	Tempo entre emergência e aparecimento de flores
FL-SH	Dias fototermais	Tempo entre primeira flor e início da formação de vagem
FL-SD	Dias fototermais	Tempo entre primeira flor e início da formação de grãos
SD-PM	Dias fototermais	Tempo entre início da formação de grãos e maturidade fisiológica
FL-LF	Dias fototermais	Tempo entre o aparecimento de flores e o final da expansão foliar
LFMAX	mg.CO ₂ .m ⁻² . s ⁻¹	Taxa máxima fotossíntese da folha
SLAVR	cm ² .g ⁻¹	Área específica foliar da cultivar sobre condições médias

		de crescimento
SIZLF	cm ²	Tamanho máximo da folha inteira
SFDUR	Dias fototermais	Duração do enchimento de grãos por cohorte de vagem em condições médias de crescimento
PODDUR	Dias fototermais	Duração da adição de vagem sob condições médias de crescimento
XFRT	-	Fração máxima de crescimento diário particionada para semente
WTPSD	grama	Peso máximo por semente
SDPDV	-	Sementes por vagem sob condições médias de crescimento
THRSH	%	Porcentagem de debulhamento
SDPRO	g.g ⁻¹	Fração proteica nas sementes
SDLIP	g.g ⁻¹	Fração de óleo nas sementes

Após a coleta dos dados meteorológicos, de solo e genéticos e sua inserção na plataforma DSSAT, colocou-se as informações referentes ao plantio. Com base no experimento de Jing et al (2013) utilizou-se um espaçamento entrelinhas de 0,2 metros e uma densidade de plantio de 55 plantas por m² para todos os tratamentos.

Após a adição destas informações, montou-se os dez tratamentos, conforme suas características, na plataforma e começou-se a fazer as simulações para entender a evolução da produtividade de cada tratamento para cada um dos dez municípios do estudo. Cada resultado calculado pelo modelo CSM-CROPGRO-Canola foi-se anotado e separado por município e tratamento, sendo que realizou-se a média e desvio padrão por data de semeadura.

Por fim, com o objetivo de melhorar a visualização da viabilidade da canola na bacia nas diferentes datas de semeadura, utilizou-se a intersecção dos dados resultantes para o desenvolvimento dos mapas de produtividade média por tratamento, realizado no software Source Geographic Information System (QGis 3.18).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições meteorológicas na Bacia do Alto Paranapanema dos anos de 2009 a 2019 foram de pluviosidade média, em mm, por mês variando de 51,46 a 223,2,

respectivamente nos meses de janeiro e agosto. Em relação às condições de radiação solar global, em $\text{MJ.m}^{-2}.\text{D}^{-1}$, a variação na região foi entre 10,866 e 21,393, respectivamente nos meses de junho e novembro (Figura 2). Em relação à temperatura média, em $^{\circ}\text{C}$, na Bacia do Alto Paranapanema variou entre 15,95 e 23,465, respectivamente nos meses de junho e fevereiro (Figura 3).

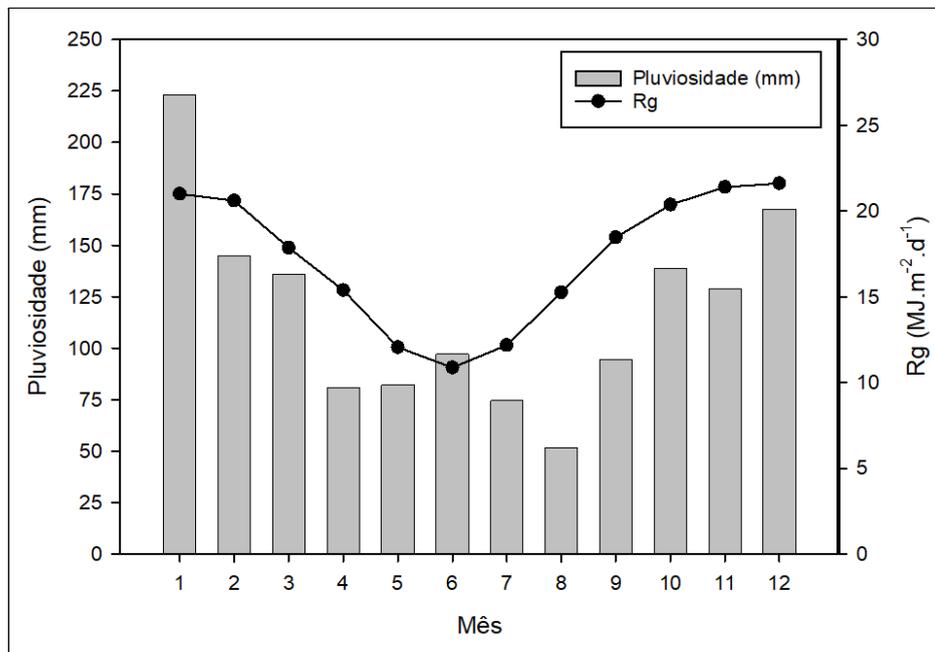


Figura 2. Pluviosidade mensal média e radiação global média mensal (Rg) durante os anos de 2009 a 2019 na Bacia do Alto Paranapanema.

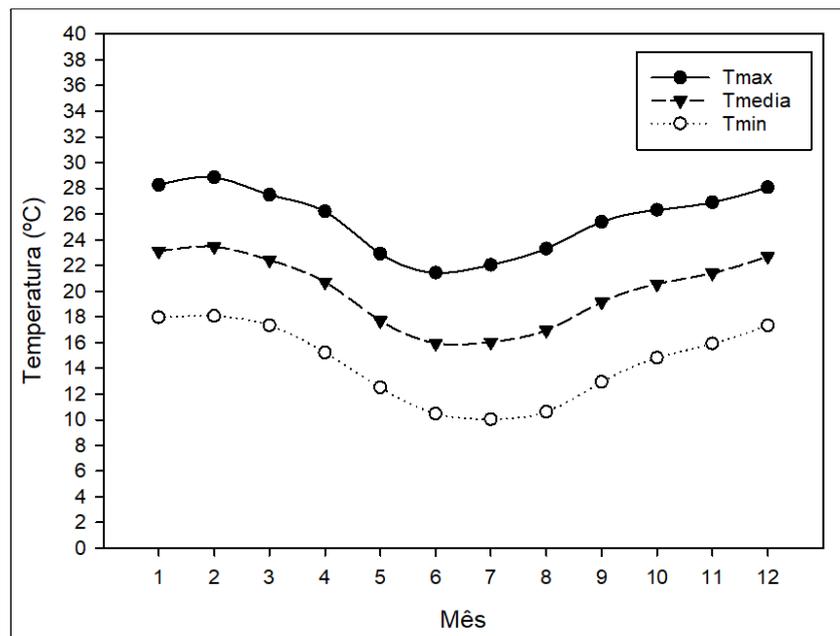


Figura 3. Média das temperaturas máxima, média e mínima, em °C, na Bacia do Alto Paranapanema de 2009 a 2019

A produtividade média de todos os tratamentos por município variou entre 966,19 Kg.ha⁻¹ e 1.276,58 Kg.ha⁻¹, respectivamente Avaré e Itapetininga, sendo a média de todos os tratamentos foi de 1.175,11 Kg.ha⁻¹ (Tabela 3). Em relação ao desvio padrão variou-se entre 466,16 Kg.ha⁻¹ e 605,91 Kg.ha⁻¹, respectivamente Itararé e Capão Bonito, sendo que a média de todos os tratamentos foi de 537,29 Kg.ha⁻¹.

A princípio, em comparação com os dados apresentados pela CONAB (2021), as produtividades mostradas conforme a Tabela 3 se assemelham com a média nacional de produtividade. Entretanto, nessa análise comparamos todos os tratamentos, mesmo aqueles em épocas de semeadura com baixa produtividade da canola e excluimos fatores de déficit hídrico, o que se caracterizaria a Produtividade Atingível, e os fatores de manejos de pragas, daninhas e doenças, relacionados a Produtividade Real.

Tabela 3. Média e Desvio padrão de produtividade de todos os tratamentos por município.

Média e Desvio padrão de produtividade de todos tratamentos por município, em Kg.ha ⁻¹		
Município	Produtividade	Desvio Padrão
Apiaí - SP	1.098,76	548,10
Avaré - SP	966,19	542,19
Capão Bonito - SP	1.246,75	605,91
Itaberá - SP	1.260,54	555,86
Itapetininga - SP	1.276,58	546,61
Itapeva - SP	1.033,97	535,87
Itararé - SP	1.264,39	466,16
Paranapanema - SP	1.209,15	553,99
Riversul - SP	1.193,38	519,66
Taquarituba - SP	1.201,40	498,56

A produtividade média dos tratamentos com os melhores desempenhos por município variou entre 1.256,11 Kg.ha⁻¹ e 1.693,00 Kg.ha⁻¹, respectivamente Avaré e Riversul, sendo a média de 1.532,87 Kg.ha⁻¹ (Tabela 4). Em relação ao desvio padrão variou-se entre 211,59

Kg.ha⁻¹ e 467,69 Kg.ha⁻¹, respectivamente Taquarituba e Capão Bonito, sendo que a média de todos os tratamentos foi de 377,33 Kg.ha⁻¹.

Um fator fundamental para saber a viabilidade da canola na região, além das simulações no DSSAT, é a utilização da Eficiência Agrícola (EA), segundo Marin et al (2008) é denominada como um indicador do desempenho agrícola regional, relacionando a energia fornecida ao sistema e a realmente utilizada. No estudo realizado por Battisti et al (2012), o autor calculou a eficiência agrícola referente às culturas da soja, milho e trigo para dez municípios no estado do Rio Grande do Sul entre os anos de 1980 e 2008, com isso certificou-se as eficiências agrícolas média para as culturas da soja, milho e trigo de 59,2%, 67,26% e 46,8%. A eficiência agrícola é variável conforme o pacote tecnológico disponível e utilizado no cultivo de uma determinada cultura (Battisti et al., 2012).

Tabela 4. Média e Desvio padrão dos tratamentos com melhores desempenhos

Média e Desvio padrão de produtividade de tratamentos com os melhores desempenhos, em Kg.ha ⁻¹		
Município	Produtividade	Desvio Padrão
Apiaí - SP	1.488,33	367,45
Avaré - SP	1.256,11	452,14
Capão Bonito - SP	1.553,12	467,69
Itaberá - SP	1.578,68	377,92
Itapetininga - SP	1.643,43	287,09
Itapeva - SP	1.307,06	437,60
Itararé - SP	1.497,85	380,68
Paranapanema - SP	1.674,55	385,35
Riversul - SP	1.693,00	405,79
Taquarituba - SP	1.636,55	211,59

No primeiro tratamento (Figura 4), com data de semeadura dia 15 de fevereiro, verificou-se uma baixa produtividade média na região, de 417 Kg.ha⁻¹, com um melhor desempenho médio dos municípios de Itaberá, Itararé e Itapetininga dos analisados no estudo e com desvio padrão de 95,51 Kg.ha⁻¹.

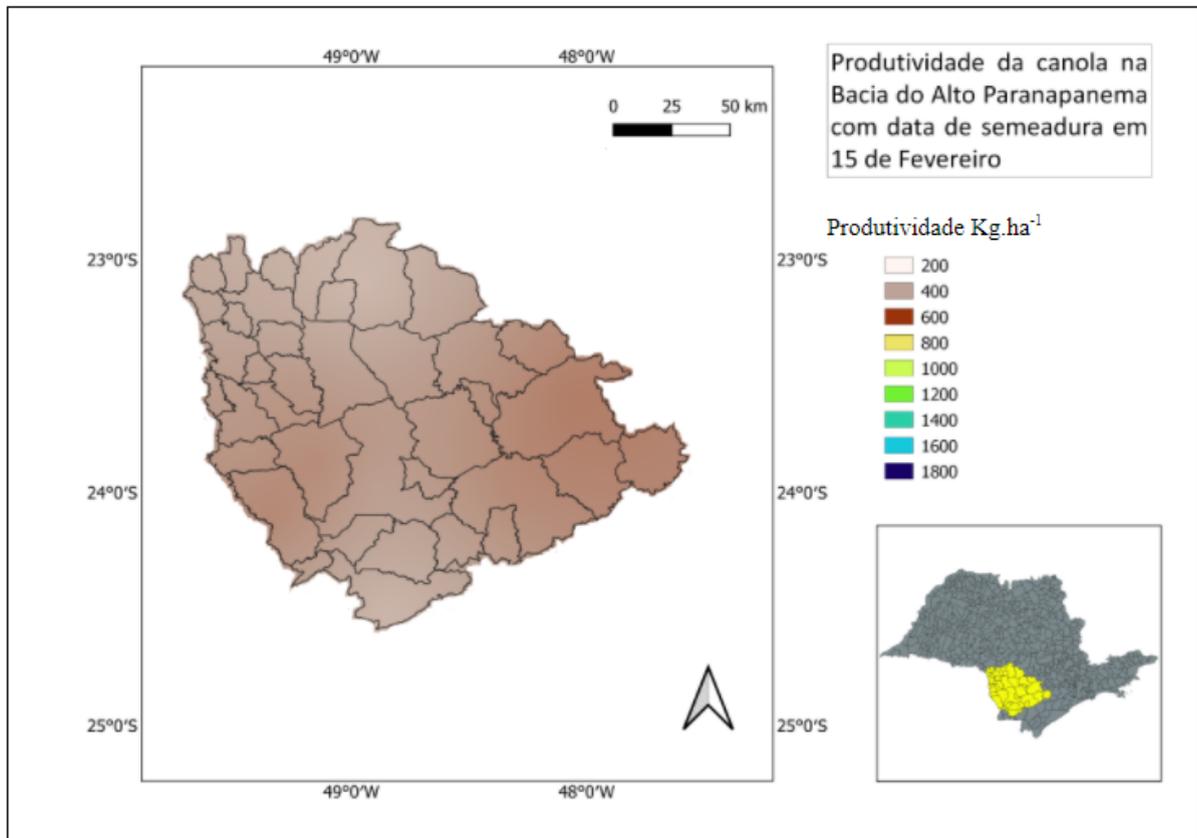


Figura 4. Espacialização do Tratamento 1.

No segundo tratamento (Figura 5), com data de semeadura de 1º de março, obteve-se uma média de 546,25 Kg.ha⁻¹ e desvio padrão de 128,59 Kg.ha⁻¹. Os municípios com melhores médias de produtividades no período analisado foram Itararé, Itapetininga e Riversul. Esse resultado pode ser explicado pelo município de Itararé apresentar a menor temperatura média durante o ciclo

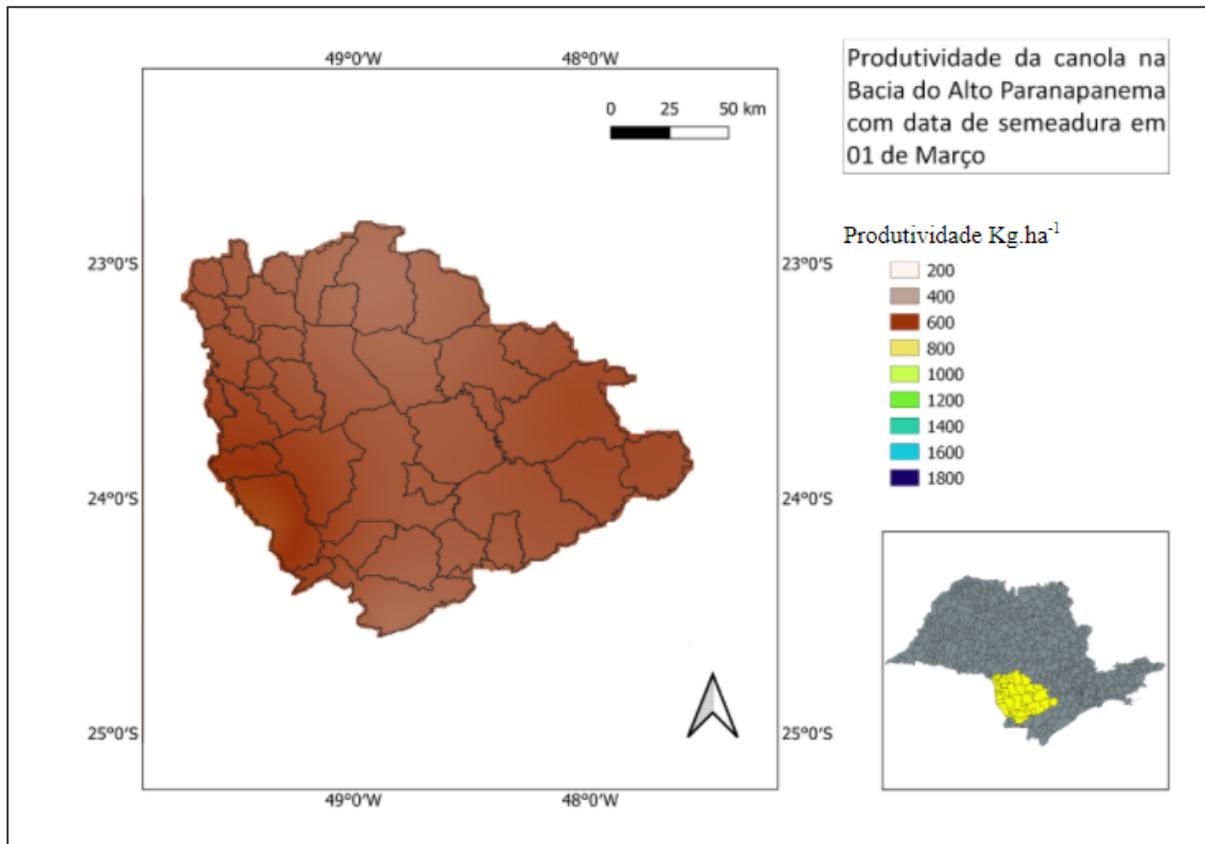


Figura 5. Espacialização do Tratamento 2.

No terceiro tratamento (Figura 6), com data de semeadura em 15 de março, obteve-se uma média de produtividade de 759,45 Kg.ha⁻¹ e desvio padrão de 150,81 Kg.ha⁻¹. Dos municípios analisados, os que obtiveram melhores médias de produtividades no período foram Capão Bonito, Itararé e Itapetininga.

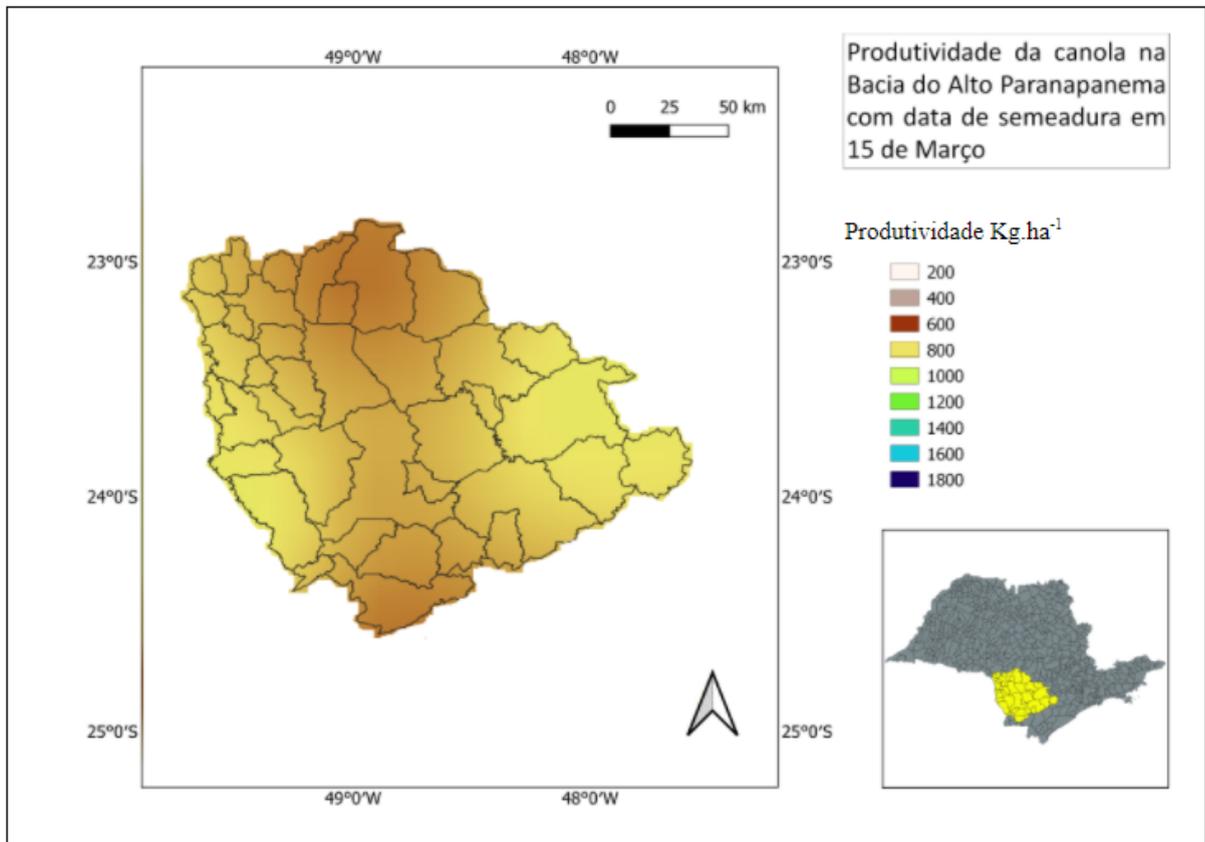


Figura 6. Espacialização do Tratamento 3.

No quarto tratamento (Figura 7), com data de semeadura no dia 30 de março, obteve-se uma média de produtividade de 1.168,1 Kg.ha⁻¹ e desvio padrão de 151,9 Kg.ha⁻¹. Os municípios de Capão Bonito, Itapetininga e Itararé foram os que apresentaram melhores médias de produtividades no período em questão.

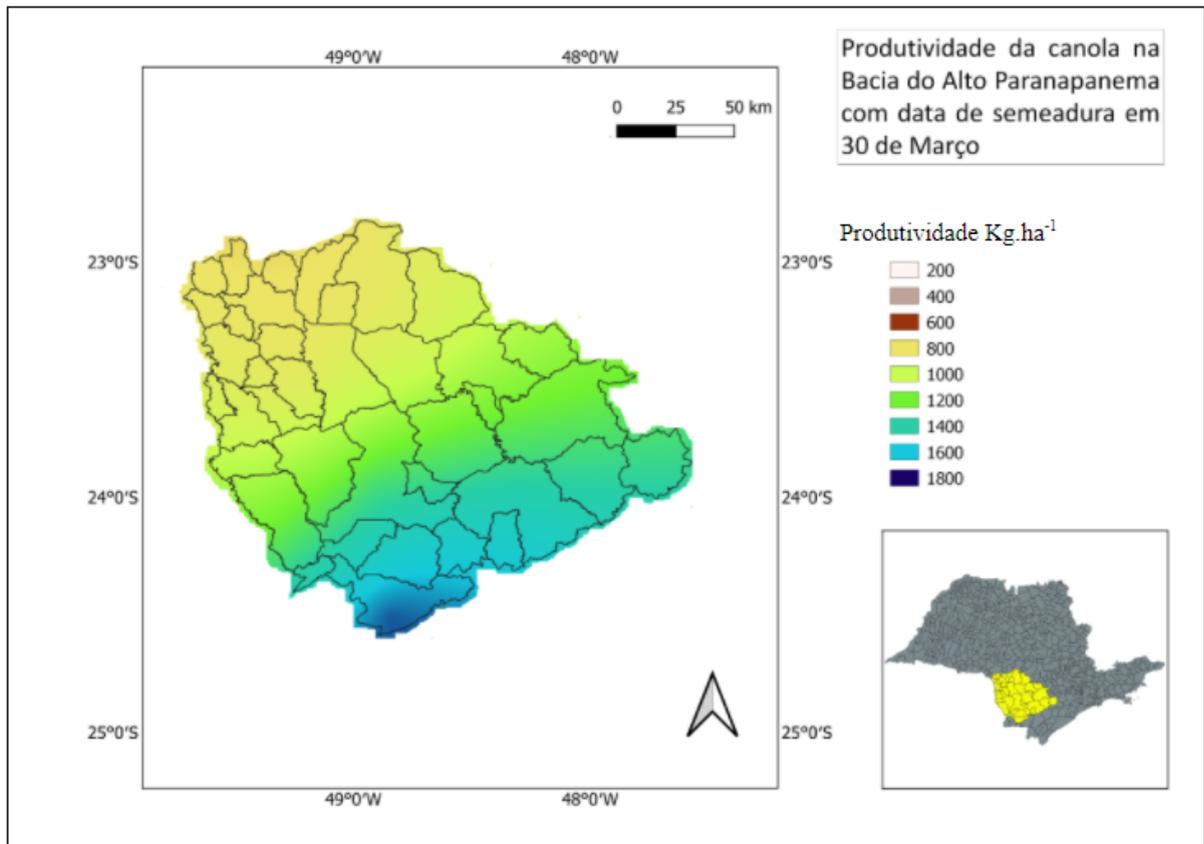


Figura 7. Espacialização do Tratamento 4.

No quinto tratamento (Figura 8), com data de semeadura de 15 de abril, obteve-se uma média de produtividade de 1.432,38 Kg.ha⁻¹ e desvio padrão de 164,09 Kg.ha⁻¹. Dos municípios analisados no estudo, Capão Bonito, Itapetininga e Taquarituba foram os que apresentaram melhores médias de produtividades.

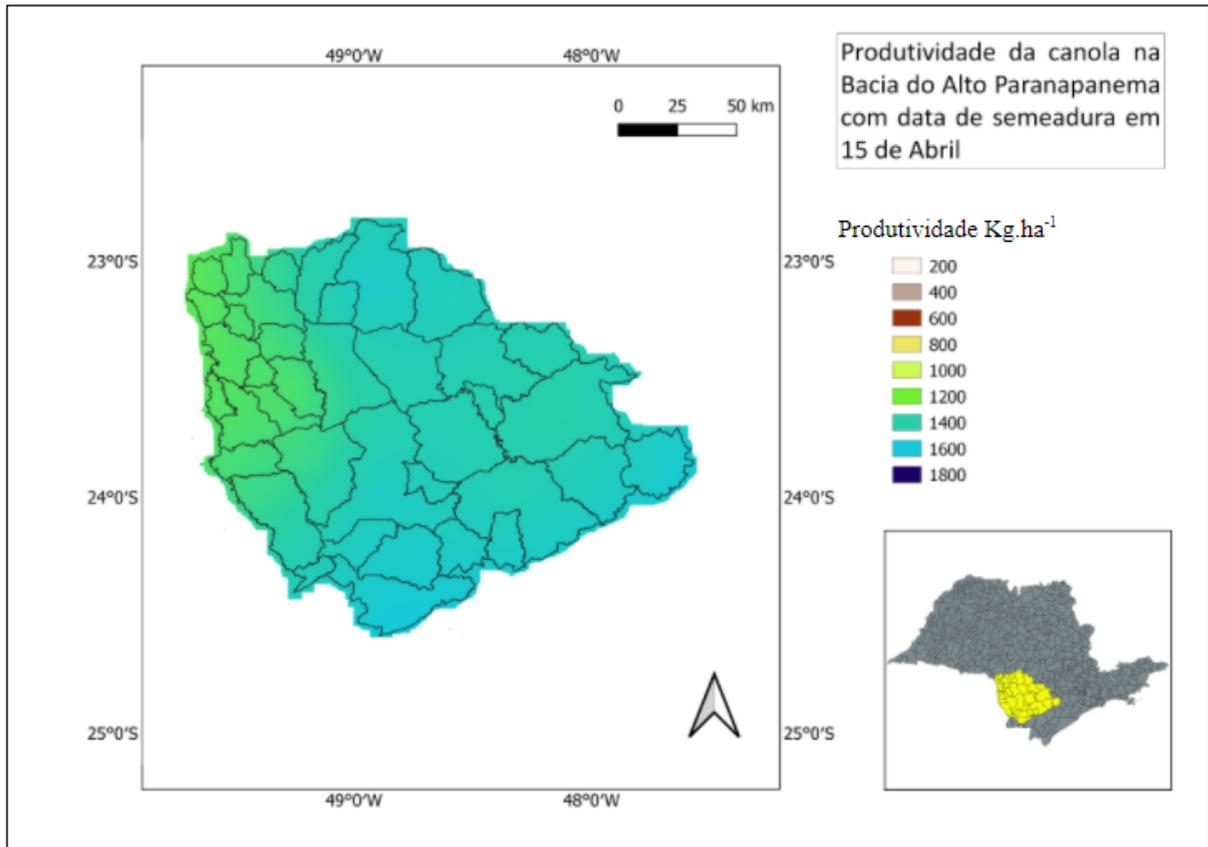


Figura 8. Espacialização do Tratamento 5

No sexto tratamento (Figura 9), com data de semeadura de 30 de abril, obteve-se uma média de produtividade de 1.496,40 Kg.ha⁻¹ e desvio padrão de 144,67 Kg.ha⁻¹. No período analisado, os municípios analisados da bacia do Alto Paranapanema que apresentaram melhores médias de produtividades foram Itapetininga, Paranapanema e Taquarituba.

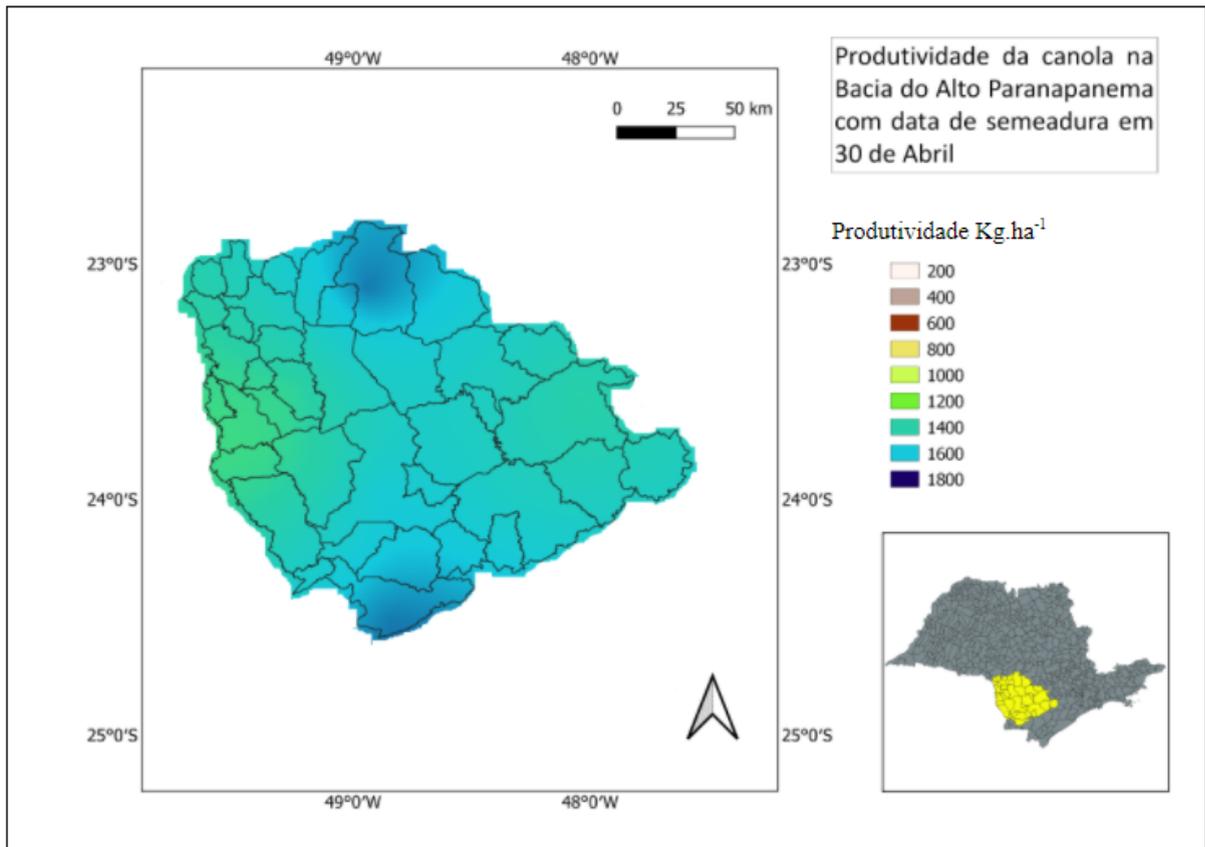


Figura 9. Espacialização do Tratamento 6.

No sétimo tratamento (Figura 10), com data de semeadura de 15 de maio, obteve-se uma média de produtividade de 1.476,70 Kg.ha⁻¹ e desvio padrão de 147,14 Kg.ha⁻¹. Os municípios de Itaberá, Itapetininga e Paranapanema foram os que apresentaram as melhores médias de produtividades no período estudado.

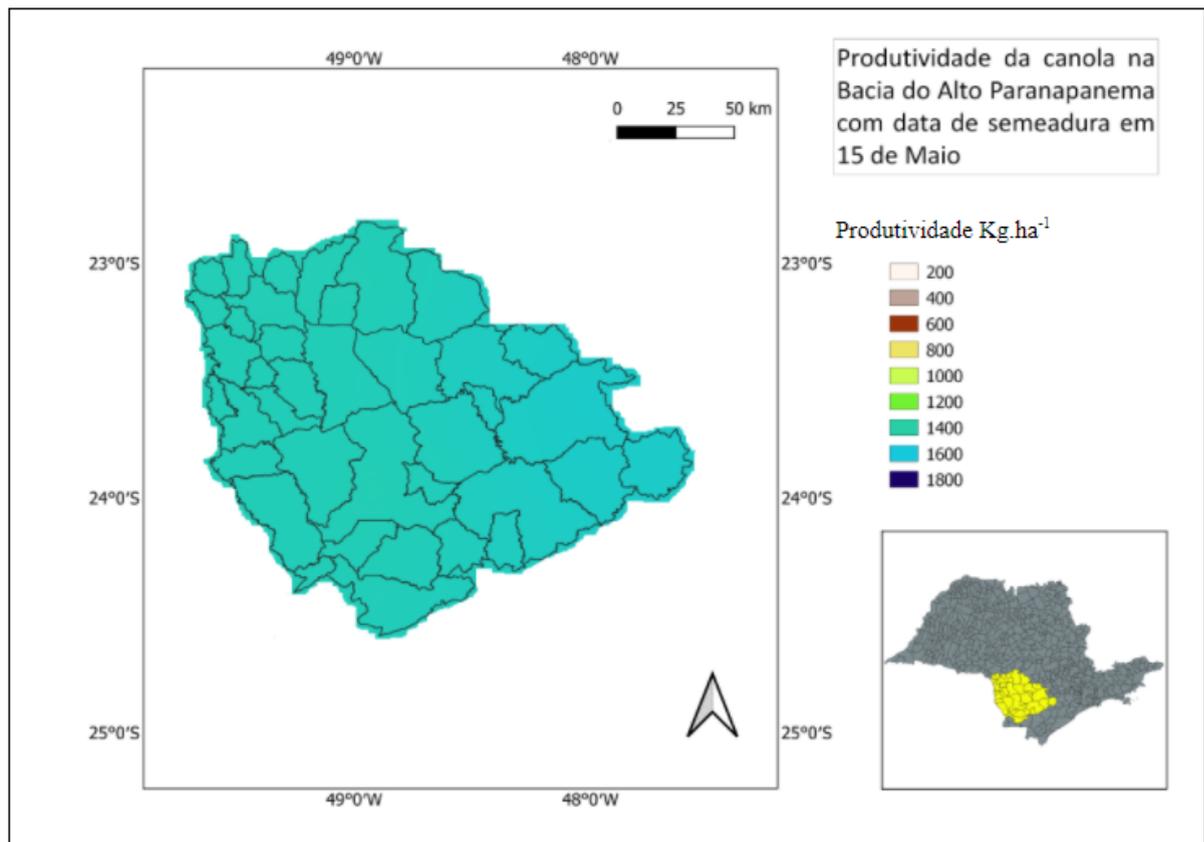


Figura 10. Espacialização do Tratamento 7.

No oitavo tratamento (Figura 11), com data de semeadura de 30 de maio, obteve-se uma média de produtividade de 1.547,81 Kg.ha⁻¹ e desvio padrão de 134,43 Kg.ha⁻¹. Os municípios que apresentaram as melhores médias de produtividades, nos anos de 2009 a 2019 na região foram Itaberá, Paranapanema e Riversul.

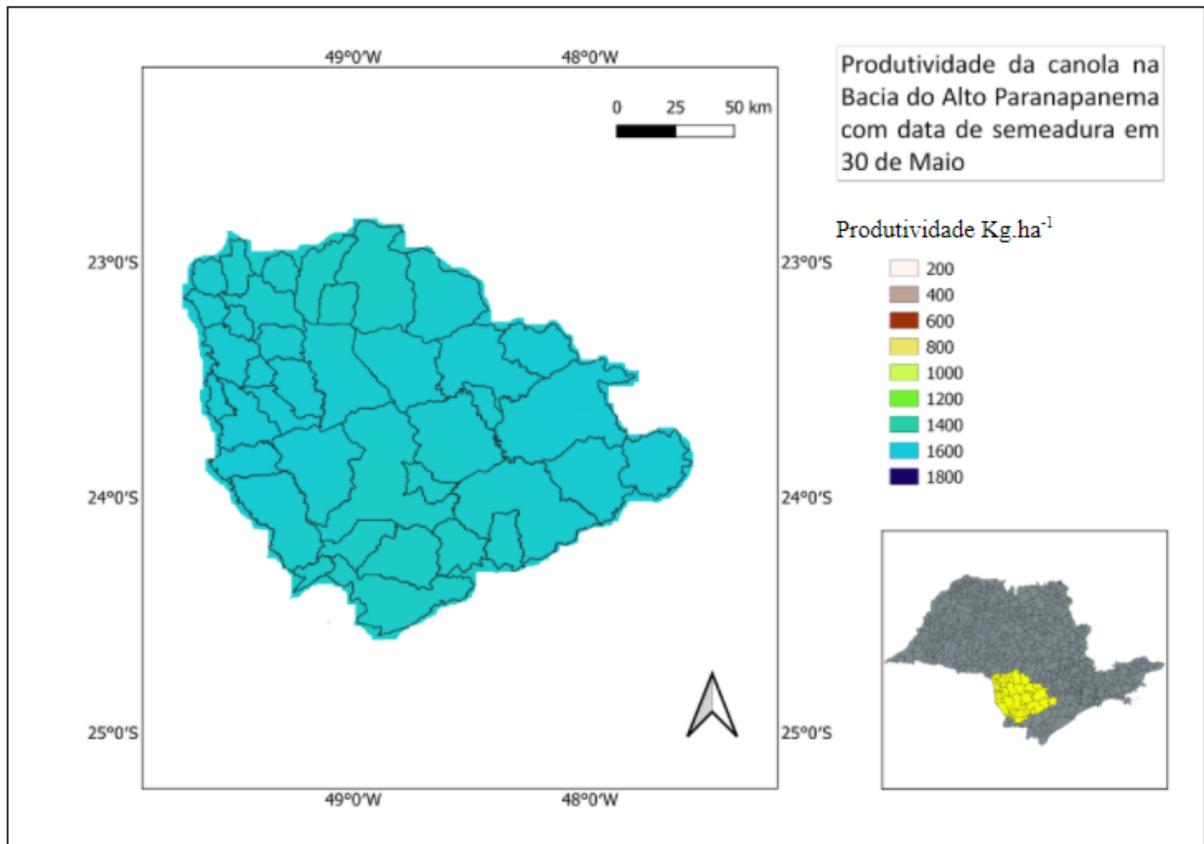


Figura 11. Espacialização do Tratamento 8.

No nono tratamento (Figura 12), com data de semeadura de 15 de junho, obteve-se uma média de produtividade de 1.510,96 Kg.ha⁻¹ e desvio padrão de 107,69 Kg.ha⁻¹. Os municípios com melhores médias de produtividades no período de estudo foram Itaberá, Paranapanema e Riversul.

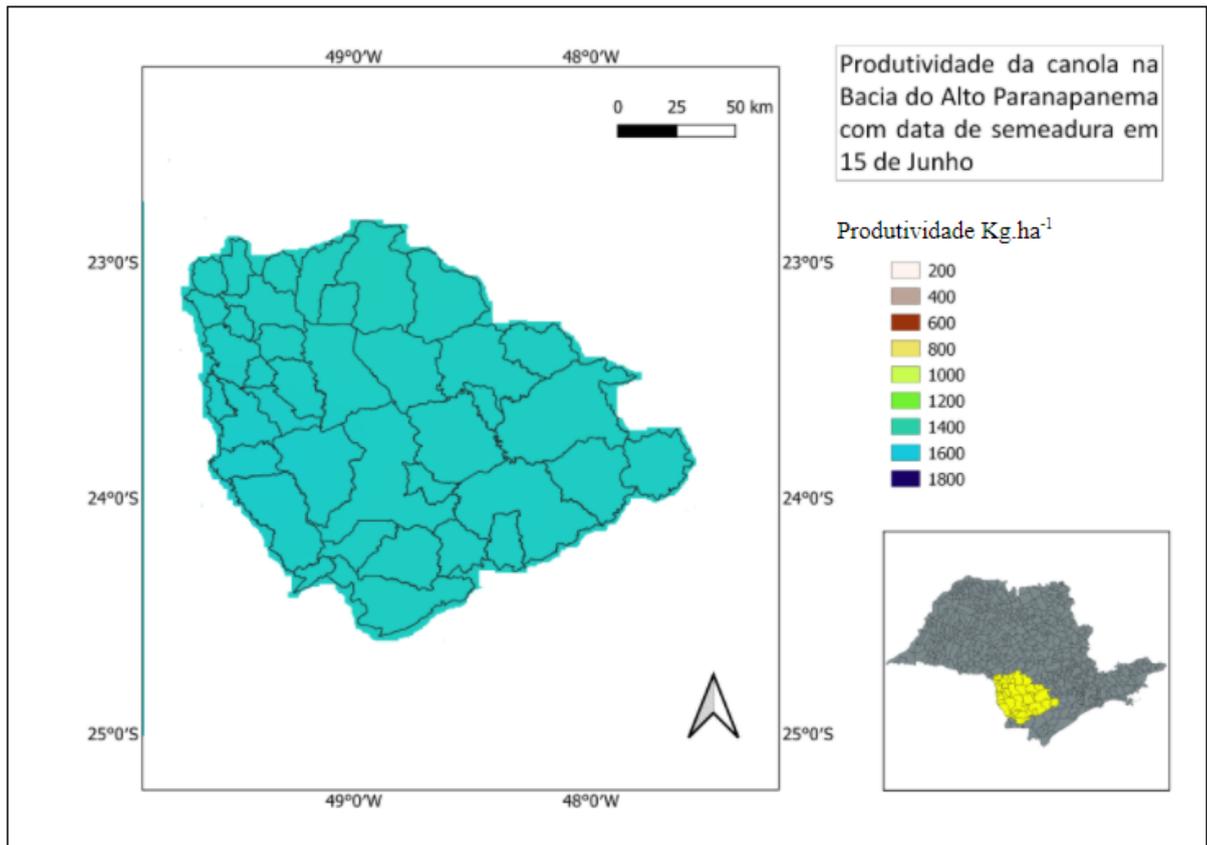


Figura 12. Espacialização do Tratamento 9.

Por fim, no décimo tratamento (Figura 13), com data de semeadura de 30 de junho, obteve-se uma média de produtividade de 1.395,84 Kg.ha⁻¹ e desvio padrão de 90,20 Kg.ha⁻¹. Nesse, os municípios com melhores médias de produtividades foram Itaberá, Itararé e Riversul.

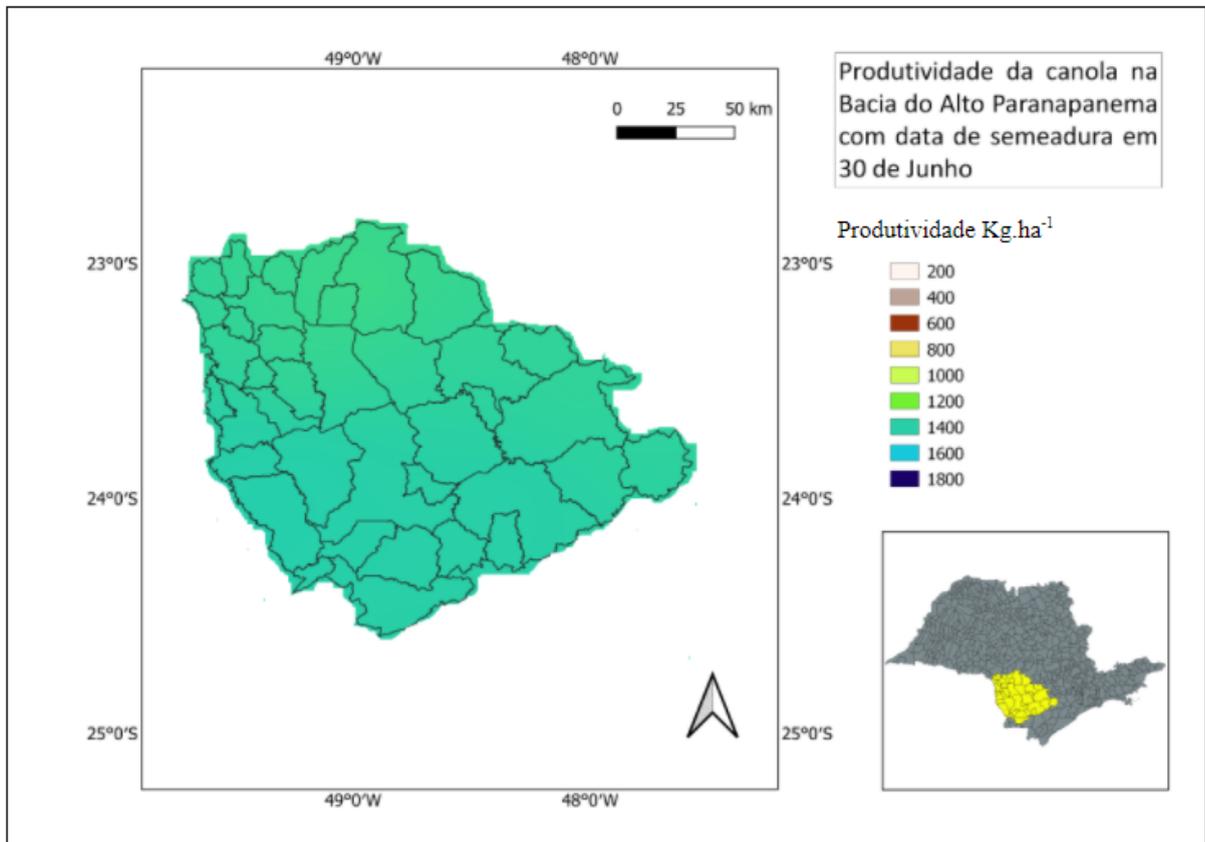


Figura 13. Espacialização do Tratamento 10.

Os resultados da espacialização podem ser explicados conforme os fatores meteorológicos. Em relação à temperatura média, segundo Thomas (2003) o ideal é de 20° C, portanto isso explica o melhor desempenho do município de Itararé nos tratamentos 1 ao 4 pois uma parte dos ciclos ocorrem em meses mais quentes e sua série histórica apresenta temperaturas mais amenas comparado aos outros municípios.

Na radiação solar, os municípios de Taquarituba, Itapetininga e Itaberá apresentaram os maiores índices, isso explica suas boas produtividades em diferentes janelas de semeadura, sendo que atualmente não existe na literatura algum valor ideal de radiação solar no cultivo da canola.

Com a chuva, pelo que foi observado no experimento, notou-se a relação das chuvas e menores temperaturas juntos. O município de Itapeva apresenta uma alta quantidade de chuvas, comparado aos outros municípios, entretanto devido às altas temperaturas a produtividade da canola é uma das mais baixas dos municípios analisados. Já o município de Itararé apresenta essa relação e tem bons resultados de produtividade, principalmente nos primeiros tratamentos.

Os melhores tratamentos, na maioria dos municípios, corresponderam aos tratamentos cinco, seis, sete, oito, nove e dez, portanto a janela de semeadura seria de 15 de abril a 30 de junho, se contrapondo ao proposto pelo Sistema de Monitoramento Agrometeorológico, do Agritempo, que indica a janela de semeadura da canola em alguns municípios dos meses de março a maio. Essa desinformação de seu cultivo e a falta de investimentos, esta destacada por Kirkegaard et al (2021), são as principais causas do subaproveitamento da canola em solo brasileiro.

Com esse trabalho de conclusão de curso tive contato com a cultura da canola, não muito conhecida no Brasil atualmente, e alguns conceitos fundamentais para prática do Engenheiro Agrônomo, principalmente voltados para a área de agrometeorologia. Sendo alguns desses conceitos, como a importância dos fatores meteorológicos, de solo e genéticos; noções sobre os diferentes tipos de produtividades e eficiência agrícola; o impacto da janela de semeadura na produtividade; entre outros importantes conceitos. Outro importante ponto que tive contato e que acrescentará em minha vida profissional foi a utilização das ferramentas DSSAT e QGis, ambas que combinadas podem trazer um conhecimento interessante para tomada de decisão na agricultura

4 CONCLUSÕES

1. A canola apresenta condições meteorológicas para ser cultivada na Bacia do Alto Paranapanema.
2. A janela de semeadura mais adequada para canola na região é de 15 de abril a 15 de junho, sendo o melhor desempenho foi em 30 de maio.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAVOREK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; PILAU, F. G. Eficiência agrícola da produção de soja, milho e trigo no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2008. *Ciência Rural*. v. 42, p. 24-30, 2012.

BERGMANN, J. C.; TUPINMBÁ, D.; COSTA, O. Y. A.; ALMEIDA, J. R. M.; BARRETO, C. C.; QUIRINO, B. Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 21, p. 411-420, 2013. DOI: 10.1016/j.rser.2012.12.058.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Classificação de Solos**. v. 26, p. 829-834, 2002.

BOOTE, K. J.; MÍNGUEZ, M. I.; SAU, F. Adapting the CROPGRO Legume Model to Simulate Growth of Faba Bean. **Agronomy Journal**. v. 94, p. 743-756, 2002. DOI: 10.2134/agronj2002.7430

BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; WHITE, J. W.; ASSENG, S.; LIZASO, J. I. Putting mechanisms into crop production models. **Plant, Cells & Environment**. v. 36, p. 1658-1672, 2013. DOI: 10.1111/pce.12119

CBH-ALPA. Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas do estado de São Paulo**: Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - Alto Paranapanema - UGRHI-14. Piraju - SP, 2020. 68p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira**: 10º Levantamento Grãos Safra 2020/2021. Brasília, 2021. 110p.

DELIGIOS, P. A.; FARCI, R.; SULAS, L.; HOOGENBOOM, G.; LEDDA, L. Predicting growth and yield of winter rapeseed in a Mediterranean environment: Model adaptation at a field scale. **Field Crops Research**. v. 104, p. 100-112, 2013. DOI: 10.1016/j.fcr.2013.01.017

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, 2013. 20p.

FAOSTAT. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Available at: <www.fao.org/faostat/en>. Accessed on: Jun. 24 2021.

JACOB JUNIOR, E. A.; MERTZ-HENNING, L. M.; HENNING, F. A.; RODRIGUEZ-QUILON, I.; MAIA, M. S. ALTISENT, J. M. D. Changes in canola plant architecture and seed physiological quality in response to different sowing densities. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, p. 14-20, 2011. DOI: 10.1590/S0101-31222012000100002.

JING, Q.; SHANG, J.; QIAN, B.; HOOGENBOOM, G.; HUFFMAN, T.; LIU, J.; MA, B. L.; GENG, X.; JIAO, X.; WALTERS, D. Evaluation of the CSM-CROPGRO-Canola Model for Simulating Canola Growth and Yield at West Nipissing in Eastern Canada. **Agronomy Journal**. v. 108, p. 575-584, 2016. DOI: 10.2134/agronj2015.0401

KIRKEGAARD, J. A.; LILLEY, J. M.; BERRY, P. M.; RONDANINI, D. Canola. In: SADRAS, V.; CALDERINI, D. (Ed.). *Crop Physiology Case Histories for Major Crops*. United States: Academic Press, 2021. p. 518-549. DOI: 10.10/B978-0-12-819194-1.00017-7.

LITHOURGIDIS, A. S.; DORDAS, C. A.; DAMALAS, C. A.; VLACHOSTERGIOS, D. N. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, p. 396-410, 2011.

MARIN, F. R.; LOPES-ASSAD, M. L.; ASSAD, E. D.; VIAN, C. E.; SANTOS, M. C. Sugarcane crop efficiency in two growing in São Paulo state, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 43, p. 1449-1455, 2008. DOI: 10.1590/s0100-204x2008001100002

MILAZZO, M. F.; SPINA, F.; VINCI, A.; ESPRO, C.; BART, J. C. J. Brassica biodiesels: Past, present and future. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 18, p. 350-389, 2013. DOI: 10.1016/j.rser.2012.09.033.

SASEENDRAN, S. A.; NIELSEN, D. C.; MA, L.; AHUJA, L. R. Adapting CROPGRO for Simulating Spring Canola Growth with Both RZWQM2 and DSSAT 4.0. **Agronomy Journal**. v. 102, p. 1606-1621, 2010. DOI: 10.2134/agronj2010.0277

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; MONTEIRO, L. A.; DUARTE, Y. C. N.; VISSÉS, F. A. Yield Gap - Conceitos, Definições e Exemplos. **Informações Agronômicas**, v. 155, p. 9-12, 2016.

USDA. United States Department of Agriculture. **Canada**: Oilseeds Updates - Canola. Ottawa, 2019. 3p.

THOMAS, P. The Grower's manual. In: Canola Council of Canada, Winnipeg, 2003. Available at: http://www.canolacouncil.org/crop-productioncanola_grower's_manual_contents. Accessed on: Sep. 19 2021.

WANG, S.; WANG, E.; WANG, F.; TANG, L. Phenological development and grain yield of canola as affected by sowing date and climate variation in the Yangtze River Basin of China. **Crop and Pasture Science**. v. 63, p. 478-488, 2012. DOI: 10.1071/CP11332

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**. v. 2, p. 184-194, 1981. DOI: 10.1080/02723646.1981.10642213

WOYENGO, T. A.; SÁNCHEZ, J. E.; YÁÑEZ, J.; BELTRANENA, E.; CERVANTES, M.; MORALES, A.; ZIJLSTRA, R. T. Nutrient digestibility of canola co-products for grower pigs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 222, p. 7-16, 2016. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2016.09.009.

YANG, J. M.; YANG, J. Y.; LIU, S.; HOOGENBOOM, G. An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crops models with observed data. **Agricultural Systems**. v. 127, p. 81-89, 2014. DOI: 10.1016/j.agsy.2014.01.008