

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**EFEITOS DA GEADA SOBRE A RESPOSTA
ESPECTRAL DO MILHO SAFRINHA EM DOURADOS**

**JEAN LUCAS CARAMASCHI DOS SANTOS
PEDRO RODRIGO LEAL DE BARROS**

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2022**

EFEITOS DA GEADA SOBRE A RESPOSTA ESPECTRAL DO MILHO SAFRINHA EM DOURADOS

JEAN LUCAS CARAMASCHI DOS SANTOS

PEDRO RODRIGO LEAL DE BARROS

Orientador: Prof. Dr. ANAMARI VIEGAS DE ARAUJO MOTOMIYA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrícola.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S237e Santos, Jean Lucas Caramaschi Dos

Efeitos da geada sobre a resposta espectral do milho safrinha em Dourados [recurso eletrônico] /
Jean Lucas Caramaschi Dos Santos, Pedro Rodrigo Leal de Barros. -- 2022.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Anamari Viegas de Araujo Motomiya.

TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2022.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Índice de vegetação. 2. NDVI. 3. Sentinel 2. I. Barros, Pedro Rodrigo Leal de . II. Motomiya,
Anamari Viegas De Araujo. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

EFEITOS DA GEADA SOBRE A RESPOSTA ESPECTRAL DO MILHO SAFRINHA EM DOURADOS

Por

Jean Lucas Caramaschi dos Santos

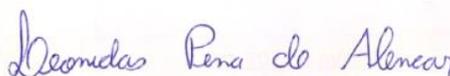
Pedro Rodrigo Leal de Barros

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: 10 de junho de 2022



Prof. Dr. Anamari Viegas de Araujo Motomiya
Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Leônidas Pena de Alencar
Membro da banca – UFGD/FCA

 Documento assinado digitalmente
VALERIA MENSE GOMES
Data: 10/06/2022 11:29:13-0300
Verifique em <https://verificador.itb.br>

Avaliadora Eng. Agrônoma Valéria Mensa Gomes

Eng. Agrônoma Valéria Mensa Gomes - Pós-graduanda em Engenharia Agrícola
Membro da banca – UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

Dedicamos este trabalho a todos os integrantes da Universidade Federal da Grande Dourados, desempenhados em qualquer função, que mesmo indiretamente, participaram de nossa jornada acadêmica desde o início. Em especial à Prof. Dr. Anamari Viegas de Araujo Motomiya, orientadora deste trabalho, que nos acompanhou durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Aos nossos pais e amigos pelo apoio e pela paciência em todos os momentos difíceis da vida e trajetória acadêmica. Aos colegas que nos acompanharam durante toda jornada acadêmica, e especialmente a todos os integrantes da IV Turma de Engenharia Agrícola.

SANTOS, J. L. C.; BARROS, P. R. L. **Efeitos da geada sobre a resposta espectral do milho safrinha em Dourados.** 2022. 18 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2022.

RESUMO

A ocorrência de geada é bastante frequente na região de Dourados, principalmente durante o outono-inverno, esse é um dos principais fatores da diminuição da produtividade na região. Uma das formas de estimar as perdas é através de análises utilizando imagens de satélites. Este trabalho teve por objetivo avaliar as alterações na resposta espectral causadas pela geada na cultura do milho safrinha na safra 2020/21, em Dourados-MS. Elaborou-se um Banco de Dados Geográficos referente à área de estudo. Avaliou-se o histórico de ocorrência de geada na região de Dourados e identificou-se os dias no quais ocorreu o evento. Foram obtidas imagens conforme o desenvolvimento fisiológico do milho (*Zea mays* L.); as datas de aquisição foram determinadas baseadas no desenvolvimento vegetativo da cultura até a incidência da geada onde o vigor vegetativo começou a declinar. Foram utilizadas imagens do satélite Sentinel 2, nas faixas espectrais do visível ao infravermelho próximo, determinando-se os índices NDRE (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada na Banda de Borda Vermelha) e NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Os dados foram processados no software QGIS 3.16.4 de modo a analisar o comportamento das plantas antes e após a geada. A ocorrência de geada causou alterações na resposta espectral da cultura do milho safrinha em Dourados, MS, com diminuição expressiva dos valores dos índices de vegetação NDVI e NDRE.

Palavras-chave: Índice de vegetação. NDVI. Sentinel 2

ABSTRACT

The occurrence of frost is quite frequent in the Dourados region, especially during the autumn-winter season, and this is one of the main factors of decreased productivity in the region. One way to estimate the losses is through analysis using satellite images. This work aimed to evaluate the changes in the spectral response caused by frost in the corn second crop in the 2020/21 harvest, in Dourados-MS. A Geographic Database was prepared for the study area. The history of frost occurrence in the Dourados region was evaluated and the days on which the event occurred were identified. Images were obtained according to the physiological development of corn (*Zea mays* L.); the acquisition dates were determined based on the vegetative development of the crop until the frost incidence where the vegetative vigor began to decline. Sentinel 2 satellite images were used, in the visible to near infrared spectral bands, determining NDRE (Normalized Difference Vegetation Index in the Red Edge Band) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) indices. The data were processed in QGIS 3.16.4 software in order to analyze the behavior of plants before and after frost. The occurrence of frost caused changes in the spectral response of the corn second crop in Dourados, MS, with a significant decrease in the values of NDVI and NDRE vegetation indices.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização.....	5
Figura 2 – SCP, contorne e grade.....	9
Figura 3 – Calculadora raster.....	10
Figura 4 – Geadas ocorridas na região de Dourados no período de 2011 a 2021.....	11
Figura 5 – Temperaturas mínimas	12
Figura 6 – NDVI calculado.....	13
Figura 7– NDRE calculado.....	14

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Revisão de literatura	2
2.1	Milho safrinha (<i>Zea mays</i> L.)	2
2.2	Conceito agrônômico de geada	2
2.2.1	A Geada sobre o milho safrinha	3
2.3	QGIS	3
2.4	Sentinel	3
2.4.1	Aplicações dos satélites Sentinel	4
2.4.2	Satélites da missão Sentinel	4
3	Material e métodos	5
3.1	Pré-processamento dos dados	9
4	Resultados e discussão	11
5	Conclusões	16
6	Referências bibliográficas	17

1 INTRODUÇÃO

Na meteorologia, define-se ocorrência de geada quando há deposição de gelo sobre plantas e objetos expostos ao relento. Isso ocorre quando a temperatura do ar atinge 0°C e tem umidade na atmosfera (Pereira et al., 2002). No entanto, mesmo com a formação de gelo sobre as plantas, pode não haver morte dos tecidos vegetais, por elas estarem em repouso vegetativo. Em Agronomia, entende-se geada como fenômeno atmosférico que provoca a morte das plantas ou de suas partes (folhas, caule, frutos, ramos), em função da baixa temperatura do ar, que acarreta congelamento dos tecidos vegetais, havendo, ou não, formação de gelo sobre a planta. A morte pode ser causada tanto por ventos muito frios soprando por muitas horas, como pelo resfriamento radiativo com o ar muito seco (Pereira et al., 2002).

Pode-se utilizar imagens de satélites associando-se os danos causados pela geada com a resposta espectral da cultura. Diferentes índices de vegetação têm sido propostos para o estudo da vegetação com os avanços das ferramentas de sensoriamento remoto (Simões et al., 2003). O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é um dos mais utilizados e está relacionado aos parâmetros biofísicos da vegetação como índice de área foliar (IAF), acúmulo de biomassa e produtividade (Bégué et al., 2010).

O NDRE (*Normalized difference red edge* - Diferença Normalizada na Banda de Borda Vermelha) é um índice que vem sendo utilizado mais recentemente com a disponibilidade de novos sensores e tende a ser mais sensível à variação de clorofila presente nas folhas, além de penetrar mais profundamente nas plantas (Holland & Schepers, 2010). Além disso, o NDRE pode fornecer uma melhor análise de colheitas, com a possibilidade de medir mais a fundo no dossel (Taipale, 2018).

Este trabalho teve por objetivo avaliar as alterações na resposta espectral causadas pela geada na cultura do milho safrinha na safra 2020/21, em Dourados-MS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MILHO SAFRINHA (*Zea mays* L.)

O milho (*Zea mays* L.) é a segunda cultura mais produzida no Brasil, com finalidades que atendem ao consumo humano, animal e para bioenergia. Atualmente, o Brasil é o terceiro maior produtor mundial desta cultura, atrás apenas dos Estados Unidos e da China. O milho é produzido principalmente em duas épocas: no verão (6,1 milhões de hectares) e na segunda safra, a safrinha (9,0 milhões de hectares), sendo esta última, atualmente, o principal período de produção, tendo a região Centro-Oeste em notoriedade, com uma área de 5,7 milhões de hectares destinados a este cultivo (CONAB, 2016).

O desempenho produtivo do milho safrinha é primariamente dependente da época de semeadura, que deve ser realizada logo após a colheita da cultura do verão para maior aproveitamento do período de chuvas, pois quanto mais tardia for, menor será o potencial produtivo e maior o risco de produção (Duarte et al., 2011).

O agricultor acaba não tendo pleno controle da data de implantação da safrinha, pois a época de semeadura do milho depende do ciclo e das operações de manejo e colheita da cultura anterior. O uso de soja precoce tem favorecido o milho em sucessão, possibilitando a antecipação da semeadura para períodos com menor risco à produção. Em vista disso, quando há intenção de se realizar a semeadura de milho na segunda safra, o produtor deve planejar a primeira visando colher mais cedo, o que viabiliza a semeadura do milho em sucessão com maior aproveitamento do período de chuvas (Galvão et al., 2015).

O manejo da adubação de manutenção do sistema milho safrinha em sucessão à soja relaciona-se basicamente ao fornecimento de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). O milho é beneficiado pelo residual da adubação e pelos restos culturais que permanecem sobre o solo após a colheita da soja, os quais, durante a decomposição, disponibilizam nutrientes, sobretudo o nitrogênio proveniente da fixação biológica na simbiose com o rizóbio.

2.2 CONCEITO AGRONÔMICO DE GEADA

Define-se geada como um fenômeno atmosférico que provoca a morte das plantas ou de suas partes (folhas, ramos, frutos), devido à ocorrência de baixas temperaturas que acarretam

o congelamento dos tecidos vegetais, havendo ou não a formação de gelo sobre a plantas (Pereira et al., 2002).

2.2.1 A Geada sobre o milho safrinha

Quando a planta é submetida à temperatura noturna abaixo de 5°C, leva em média 48 horas para recuperar a taxa de fixação de CO₂, acarretando a má formação dos grãos. A germinação é prejudicada pelas temperaturas do solo abaixo de 10°C e superior 42°C, sendo que a temperatura entre 25°C a 30°C propicia a germinação das sementes e emergência das plântulas (Oliveira, 2003).

O efeito da geada provoca alterações no metabolismo vegetal e resulta em danos fisiológicos nas plantas por causa da solidificação do orvalho sobre as partes aéreas da planta, uma condição indesejável, pois prejudica a cultura, causando quebra na produção e inconveniência de prejuízo econômico (Ometto, 1981).

2.3 QGIS

O software QGIS é um Sistema de Informações Geográficas (SIG) gratuito e de código aberto GNU (*General Public License*) desenvolvido pela OSGeo (*Open Source Geospatial Foundation*), uma organização sem fins lucrativos fundada em 2006 com a missão de apoiar e promover o desenvolvimento de tecnologias e dados geoespaciais gratuitos. O QGIS possui versões para Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android e suporta inúmeros formatos de imagens vetoriais, imagens matriciais (raster) e bancos de dados (Pamboukian, 2015).

2.4 SENTINEL

A série de satélites SENTINEL faz parte do programa Copernicus. Esta série de satélite começou a ser lançada em 2014 e se desenvolveu a partir de um projeto da Agência Espacial Europeia (ESA).

O satélite Sentinel-2, lançado em 2015, apresenta um sensor multiespectral de resolução espacial média/alta produzido pela Agência Espacial Europeia (ESA). Seu sensor, o *MultiSpectral Instrument* (MSI), apresenta uma larga faixa imageada (290 km), boa resolução temporal (cinco dias, com dois satélites), resolução espacial alta e média (10, 20 e 60 m) e

possui treze bandas espectrais abrangendo comprimentos de onda de 0,4 a 2,2 μm (Drusch et al., 2012; Sothe et al., 2017).

2.4.1 Aplicações dos satélites Sentinel

Esta série de satélites teve como objetivos monitorar os recursos naturais terrestre, o uso e ocupação das terras, os ambientes marinhos, o clima e desastres naturais.

2.4.2 Satélites da missão Sentinel

A missão é composta por uma série de pares de satélites especializados, adequados a temas de interesses distintos. Os satélites SENTINEL – 1 (S1) levam a bordo sensores de radar e são aplicados ao monitoramento terrestre e oceânico. O par de satélites SENTINEL – 2 (S2) é dotado com sensor óptico de alta resolução espacial e foi direcionado ao monitoramento da vegetação, solos e áreas costeiras. Já o par de satélites SENTINEL – 3 (S3) carrega sensores ópticos e radares, possuindo como objetivo o monitoramento marinho. Os pares S4 e S5 são aplicados ao monitoramento da qualidade do ar (Giovanini, 2021)

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na região de Dourados, Mato Grosso do Sul, latitude: 22° 14' 40.71" Sul, longitude: 55° 01' 18.90" Oeste, situado a 384 metros de altitude, conforme figura 1. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como Am (Alvares et al., 2013), com verão chuvoso e inverno seco. As médias anuais de temperatura e precipitação situam-se entre 22 °C e 24 °C e entre 1500 e 1700 mm, respectivamente (Arai et al., 2010). As chuvas se concentram no período de outubro a março, com reduções entre abril e setembro. O município de Dourados apresenta predominância de Latossolo Vermelho (95,75%) (IBGE-BDIA, 2020).

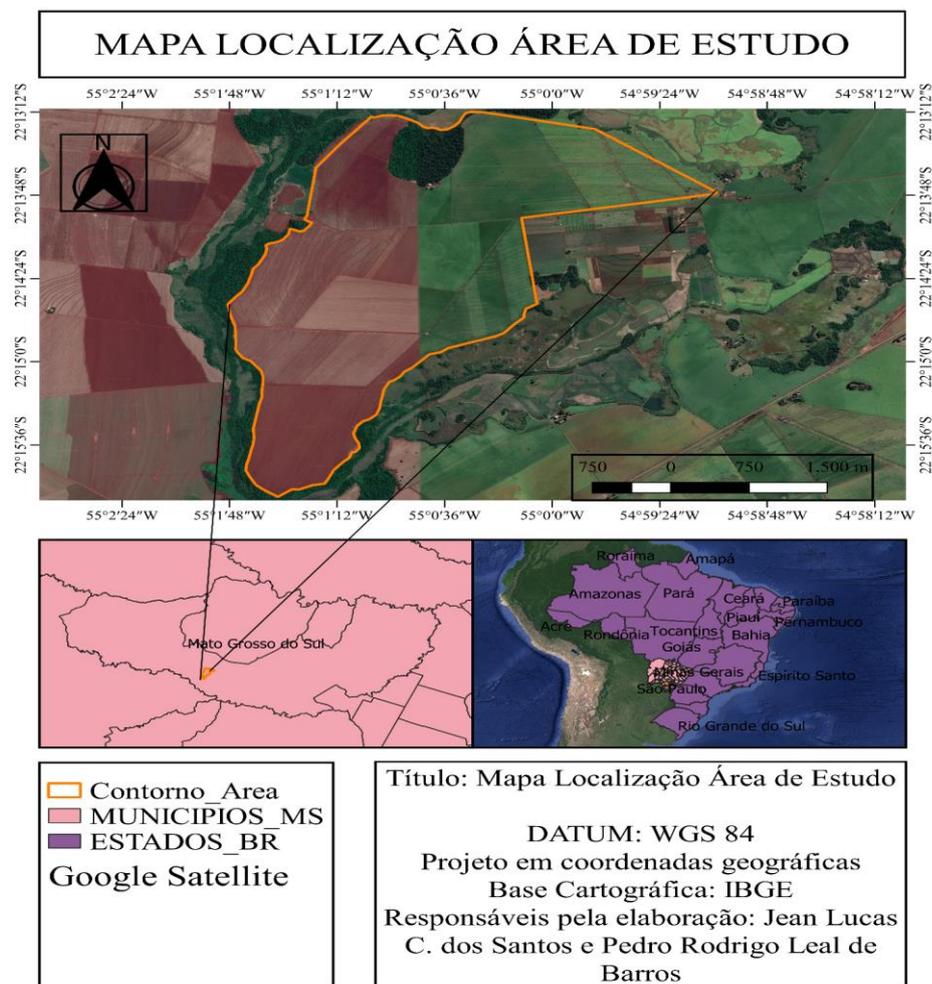


Figura 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO.

Fonte: Autores, 2022.

Utilizando dados históricos fornecidos pela Embrapa (Tabela 1), que possui um banco de dados meteorológicos em Dourados com sua série iniciada em 1979, foi utilizado os dados entre o ano de 2011 e 2021 para se estimar o índice de geadas. A intensidade foi calculada a partir dos dados registrados de temperatura mínima nas estações meteorológicas de acordo com a metodologia adotada pela Embrapa Agropecuária Oeste (Tabela 2).

Tabela 1. Banco de dados clima EMBRAPA

Data	T (°C)	T máxima (°C)	T mínima (°C)	UR (%)	UR máxima (%)	UR mínima (%)
1/6/2021	19,70	26,20	13,30	86,00	100,00	61,00
2/6/2021	22,90	30,40	17,40	72,00	99,00	36,00
3/6/2021	22,90	31,60	15,20	66,00	95,00	32,00
4/6/2021	24,20	31,90	18,20	57,00	81,00	33,00
5/6/2021	24,30	32,50	17,70	55,00	82,00	24,00
6/6/2021	21,50	26,60	18,20	75,00	98,00	51,00
7/6/2021	20,00	24,70	17,30	89,00	100,00	67,00
8/6/2021	19,90	23,60	17,70	89,00	100,00	68,00
9/6/2021	18,50	20,40	16,80	98,00	100,00	93,00
10/6/2021	19,30	22,70	17,40	94,00	100,00	79,00
11/6/2021	18,20	22,90	13,90	87,00	100,00	62,00
12/6/2021	16,20	24,00	10,50	69,00	98,00	26,00
13/06/2021	16,10	24,50	7,70	71,00	96,00	40,00
14/06/2021	18,30	25,90	11,90	73,00	94,00	45,00
15/06/2021	18,30	26,80	11,70	76,00	99,00	40,00
16/06/2021	16,90	23,00	13,10	81,00	95,00	50,00
17/06/2021	14,80	17,60	11,20	80,00	94,00	60,00
18/06/2021	14,60	17,50	12,50	87,00	99,00	72,00
19/06/2021	15,10	18,80	11,50	91,00	100,00	73,00
20/06/2021	13,20	17,60	10,90	85,00	94,00	64,00
21/06/2021	16,70	20,10	14,00	83,00	98,00	67,00
22/06/2021	19,20	25,50	14,80	86,00	100,00	59,00
23/06/2021	22,10	28,20	17,10	74,00	96,00	53,00
24/06/2021	22,50	29,70	18,10	71,00	90,00	44,00
25/06/2021	22,90	30,00	17,40	74,00	100,00	49,00
26/06/2021	23,80	31,50	17,50	57,00	85,00	31,00
27/06/2021	15,60	23,20	10,10	82,00	99,00	51,00
28/06/2021	7,40	10,30	3,70	84,00	93,00	76,00
29/06/2021	6,70	14,60	0,90	66,00	92,00	30,00
30/06/2021	8,60	18,40	0,30	59,00	90,00	22,00
1/7/2021	11,90	21,80	3,10	55,00	89,00	24,00
2/7/2021	15,80	26,70	5,40	50,00	84,00	21,00

Fonte: Embrapa, 2021

Tabela 2. Escala de intensidade de geada.

Temperatura Mínima (°C)	Intensidade
> 4	Sem geada
3 < T _{min} ≤ 4	Geada Fraca
1 < T _{min} ≤ 3	Geada Moderada
≤ 1	Geada Forte

Fonte: Fernandes, 2021.

Para realizar-se as análises, foram utilizadas imagens provenientes do satélite Sentinel 2 Nível-1C (com correções radiométricas e geométricas incluindo orto-retificação e registro espacial de refletância da parte superior da atmosfera (ToA)) cujas resoluções espaciais e espectrais são apresentadas na Tabela 3. Tais imagens foram adquiridas da Agência Espacial Europeia (ESA) portal do Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu/apihub>).

Tabela 3. Tabela comprimentos de ondas.

Resolução	Nr da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Central (nanômetro)	Combinações de Bandas
10 m	B02	Blue (Azul)	490	Cor Verdadeira RGB 04/03/02 Falsa Cor 1 e 2 RGB 08/04/03 e 04/08/03
	B03	Green (Verde)	560	
	B04	Red (Vermelho)	665	
	B08	NIR (Infravermelho Próximo)	842	
20 m	B05	Red Edge 1	705	SWIR 1 RGB 12/11/8A
	B06	Red Edge 2	740	
	B07	Red Edge 3	783	
	B08A	Red Edge 4	865	
	B11	SWIR 1	1610	
	B12	SWIR 2	2190	
60 m	B01	Aerossol	443	-
	B09	Water Vapor	940	
	B10	Cirrus	1375	

Fonte: Engesat. Disponível em <<http://www.engesat.com.br/sentinel-2/>>.

As imagens foram adquiridas nos meses de maio a julho de 2021 sendo que aquelas com interferência de nuvens, sobre a região de estudo, foram excluídas do banco de dados. Os dados foram processados e analisados pelo software QGIS, com a versão QGIS 3.16.4. O QGIS é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) *Open Source*, que suporta inúmeros formatos de vetores, *rasters* e bases de dados, sendo de grande importância para o processamento dos dados coletados através de imagens de satélites.

Foram utilizados o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o índice diferença normalizada na banda de borda vermelha (NDRE) que fornecem informações sobre a condição da vegetação natural ou agrícola nas imagens geradas por sensores remotos, e são frequentemente usados para medir a atividade fotossintética da vegetação. O NDVI é constituído da combinação de duas frequências distintas de luz, ou seja, pela divisão da soma das faixas de forte absorção de luz vermelha pela clorofila e a banda altamente reflexiva do infravermelho próximo (Bernardi, 2014).

Por outro lado, o NDRE usa uma combinação de luz infravermelha e uma banda de frequência que fica na região de transição entre a banda vermelha e a infravermelha, chamada de “borda do vermelho” (“*Red Edge*”). Segundo Gates et al. (1965), conforme existe uma maior quantidade de clorofila, a reflectância no comprimento de onda do *red edge* se torna maior. Uma das grandes vantagens da utilização do NDRE é que ele é capaz de medir mais a fundo do dossel das plantas, além de ser menos propenso a saturação. Desta forma, fornece uma melhor resposta quando se trata de culturas permanentes ou em estágios de desenvolvimento mais avançado, sendo possível, às vezes, apresentar uma medição de variabilidade melhor que o NDVI (Taipale, 2018).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é calculado pela razão entre a diferença das refletividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho e pela soma dessas mesmas refletividades (Equação 1, Rouse et al., 1973).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Onde: NIR corresponde à banda do infravermelho próximo e o RED corresponde à banda do vermelho.

Segundo Barnes et al. (2000), o índice da diferença normalizada na banda de borda vermelha (NDRE) é expresso pela seguinte equação (Equação 2):

$$NDRE = \frac{NIR - RE}{NIR + RE} \quad (2)$$

Sendo RE a energia refletida no intervalo de onda “red edge” do espectro eletromagnético.

3.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS

O download das imagens foi feito a partir do *plugin SCP (Semi-Automatic Classification Plugin)* disponível no QGIS, onde pode-se escolher a área desejada partindo da camada de contorno e a grade, podendo também escolher a porcentagem de nuvens presentes na imagem capturada (Figura 2).

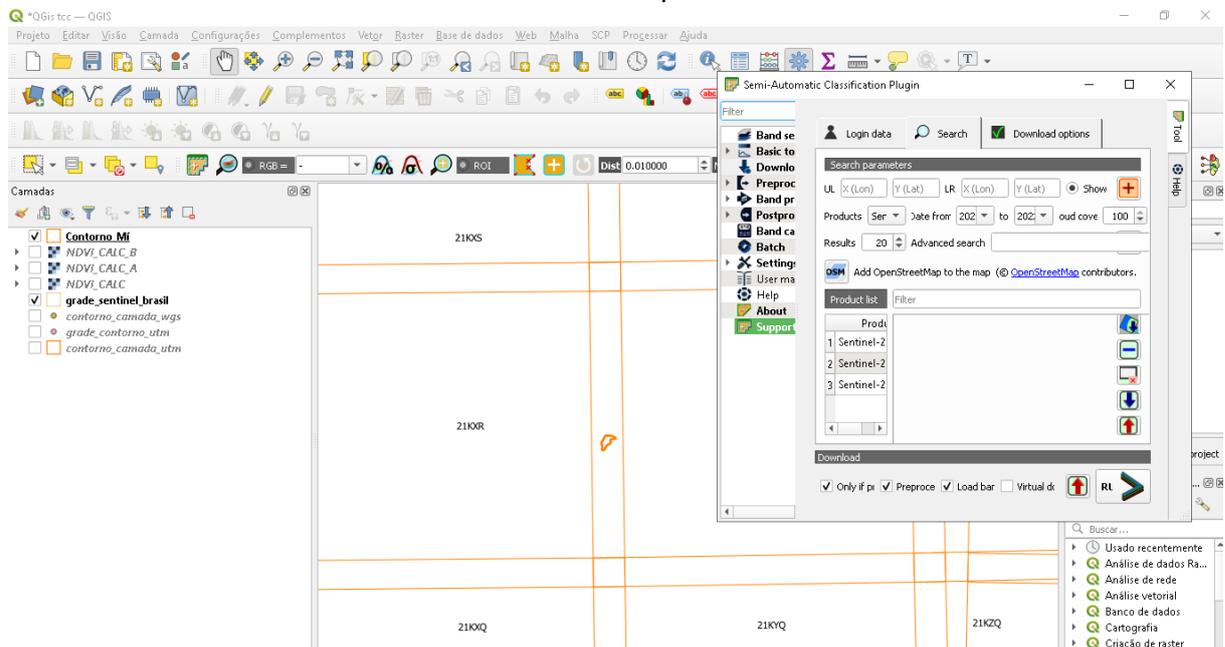


Figura 2. SCP, contorno e grade
Fonte: Autores, 2022.

Para simplificar o método, fez-se o download apenas das bandas 04, 05 e 08 que são necessárias para o cálculo do NDVI e NDRE e adotou-se a porcentagem máxima de cobertura de nuvens de 40% para que se pudesse escolher apenas imagens com boa qualidade. No QGIS, o cálculo foi feito a partir da calculadora *raster*, como apresentado na Figura 3.

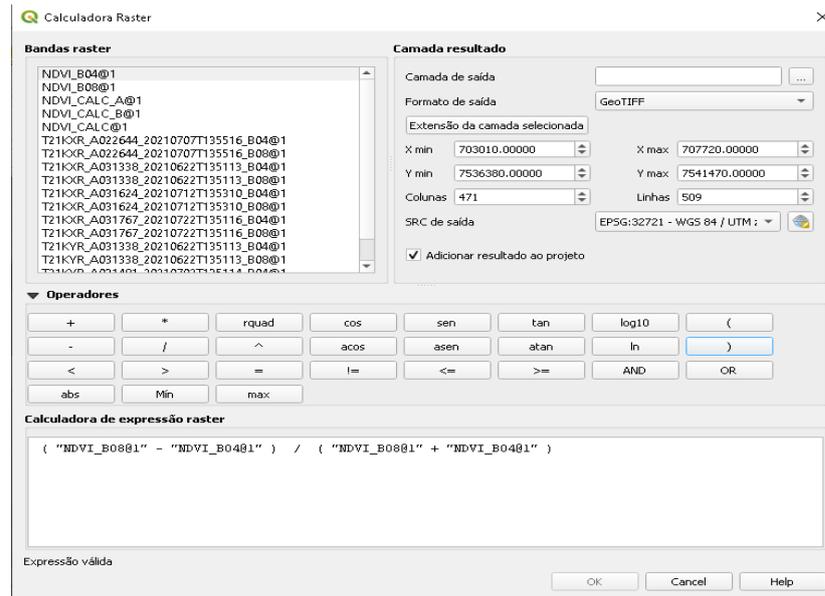


Figura 3. Calculadora *raster*

Fonte: Autores, 2022.

Após a geração dos mapas do NDVI e NDRE, fez a alteração da visualização em tons de cinza para “banda simples falsa-cor” para facilitar a visualização dos índices por cores. Adotou-se a composição “*RdYlGn*” (vermelho, amarelo e verde) de tal forma que os índices de vegetação assumem uma escala de cores onde os valores podem variar de -1 e 1, onde 1 é a área com maior atividade vegetativa e os valores negativos ou mais próximos de 0 são locais onde há pouca vegetação, ou seja, com menor atividade fotossintética.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estimou-se a ocorrência de 36 eventos de geadas na região nos últimos 10 anos, o equivalente a uma média de quatro eventos por ano (Tabela 4). Desse total, 15 geadas foram de intensidade fraca (42%), 9 de intensidade moderada (25%) e 12 de intensidade forte (33%) (Figura 4).

Tabela 4. Índice de geadas.

Ano	Ocorrência	INTENSIDADE DA GEADA		
		Fraco	Moderado	Forte
2011	3	0	2	1
2012	3	3	0	0
2013	10	4	2	4
2014	0	0	0	0
2015	0	0	0	0
2016	4	2	2	0
2017	3	1	1	1
2018	0	0	0	0
2019	3	0	1	2
2020	1	1	0	0
2021	9	4	1	4
Total	36	15	9	12
	100%	42%	25%	33%

Fonte: Autores, 2022.

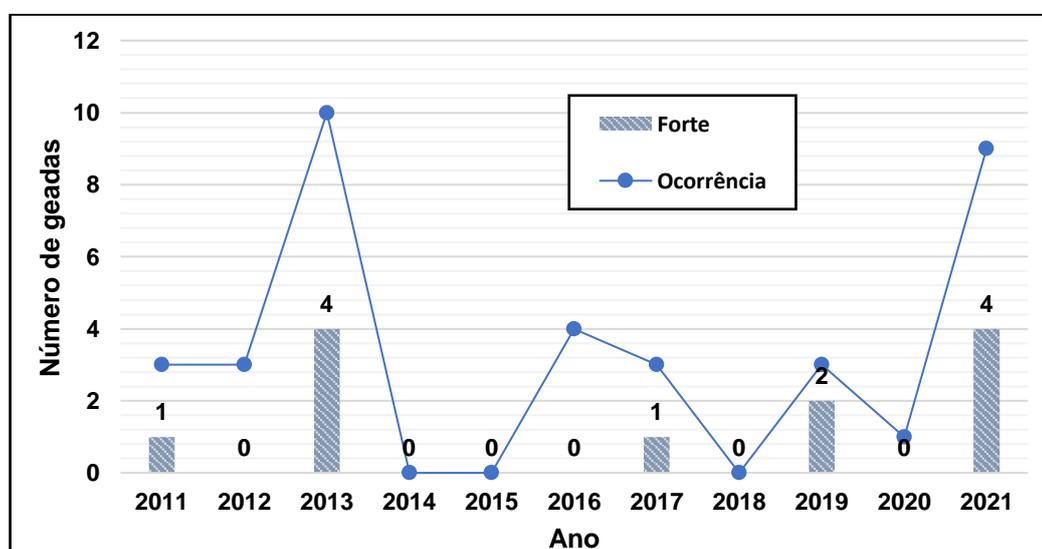


Figura 4. Geadas ocorridas na região de Dourados no período de 2011 a 2021.

Fonte: Autores, 2022.

A mais recente ocorrência do evento registrada no Município (Embrapa, 2021), ocorreu nos dias 29 e 30 de junho de 2021, sendo possível observar que houve uma queda brusca da temperatura, entre o dia 02 de junho a 02 de julho do ano de 2021, com uma temperatura mínima de 0,9°C às 06h05min no dia 29 de junho e 0,3°C às 06h no dia 30 de julho (Figura 5).

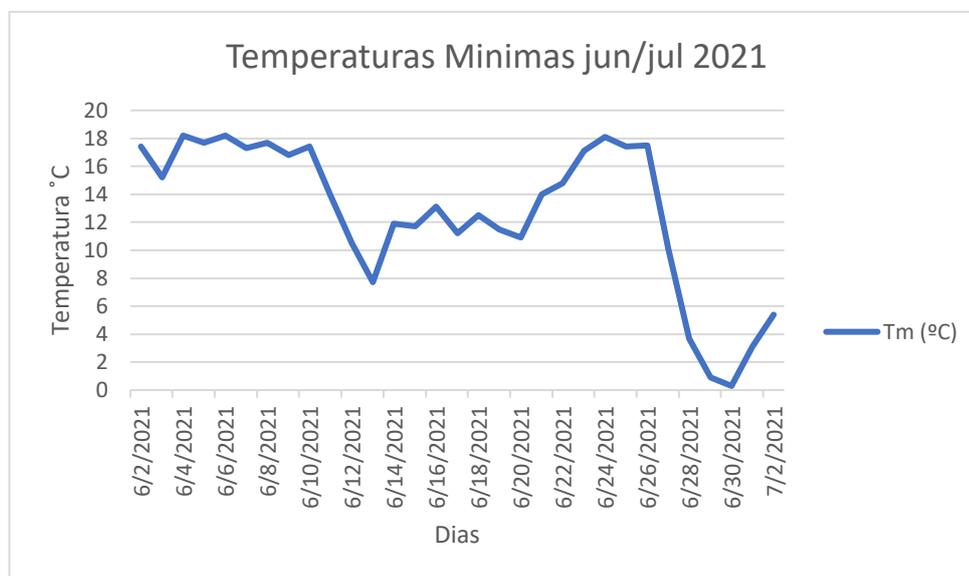


Figura 5. Temperaturas mínimas.

Fonte: Autores, 2022.

Feitas as análises das imagens juntamente com os dados meteorológicos, pode-se notar uma grande variação na refletância da cultura do milho na área estudada (Figura 6), o que indica uma baixa atividade clorofiliana da vegetação após a geada, já que as folhas mais velhas danificadas sofrem uma mudança de coloração do verde para cores mais amareladas e claras, isso ocorre pelo extravasamento do conteúdo das células devido ao rompimento da parede celular devido aos cristais de gelo, já as folhas mais novas sentem o dano de forma mais severa, pois possuem mais água e menor quantidade de sais do que as folhas mais antigas e terem menor reserva de calor (Gassen, 2002).

As alterações espectrais provocaram diminuição do NDVI indicativo de que a cultura foi severamente afetada pela geada, o que provoca queda de produtividade. Bégué et al. (2010) observaram que na fase de crescimento, o NDVI é relacionado principalmente por variações no Índice de Área Foliar (IAF), enquanto na fase de maturação, as variações no NDVI são explicadas principalmente por mudanças na cor das folhas.

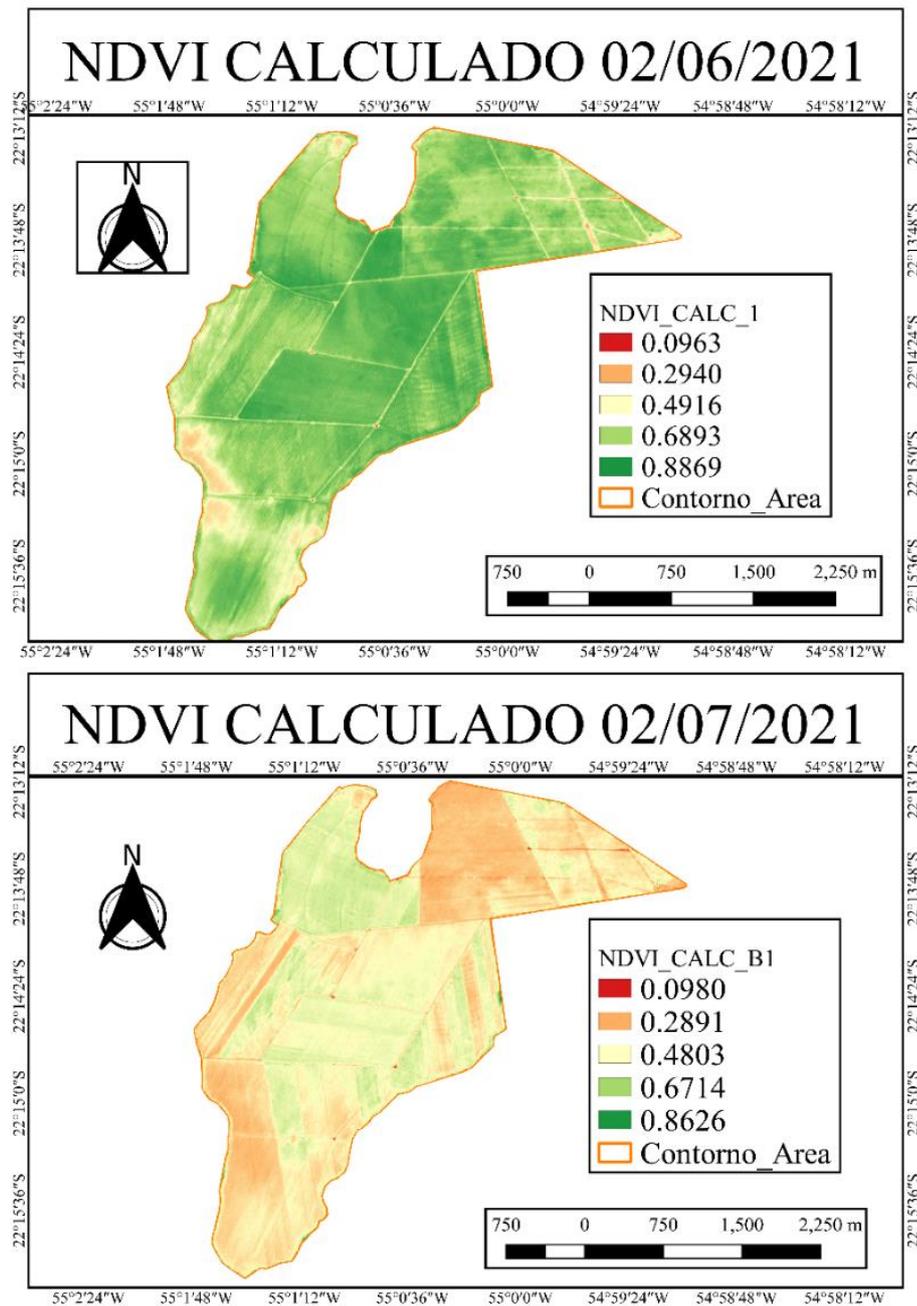


Figura 6. NDVI Calculado.

Fonte: Autores, 2022.

Observou-se que no dia 2 de junho, a lavoura apresentava valores mais elevados de NDVI ao longo de sua extensão, indicativo de plantas saudáveis e com bom potencial produtivo. No dia 2 de julho, dois dias após a geada, observou-se uma redução dos valores do NDVI, o que indica a menor atividade fotossintética da vegetação, provavelmente devido à morte das células, a perda de vigor e principalmente a queima foliar ocasionada pela geada. As alterações

foram observadas também pelo índice NDRE, elaborado a partir das bandas do infravermelho próximo (B08) e do *Red Edge* (B05) (Figura 7).

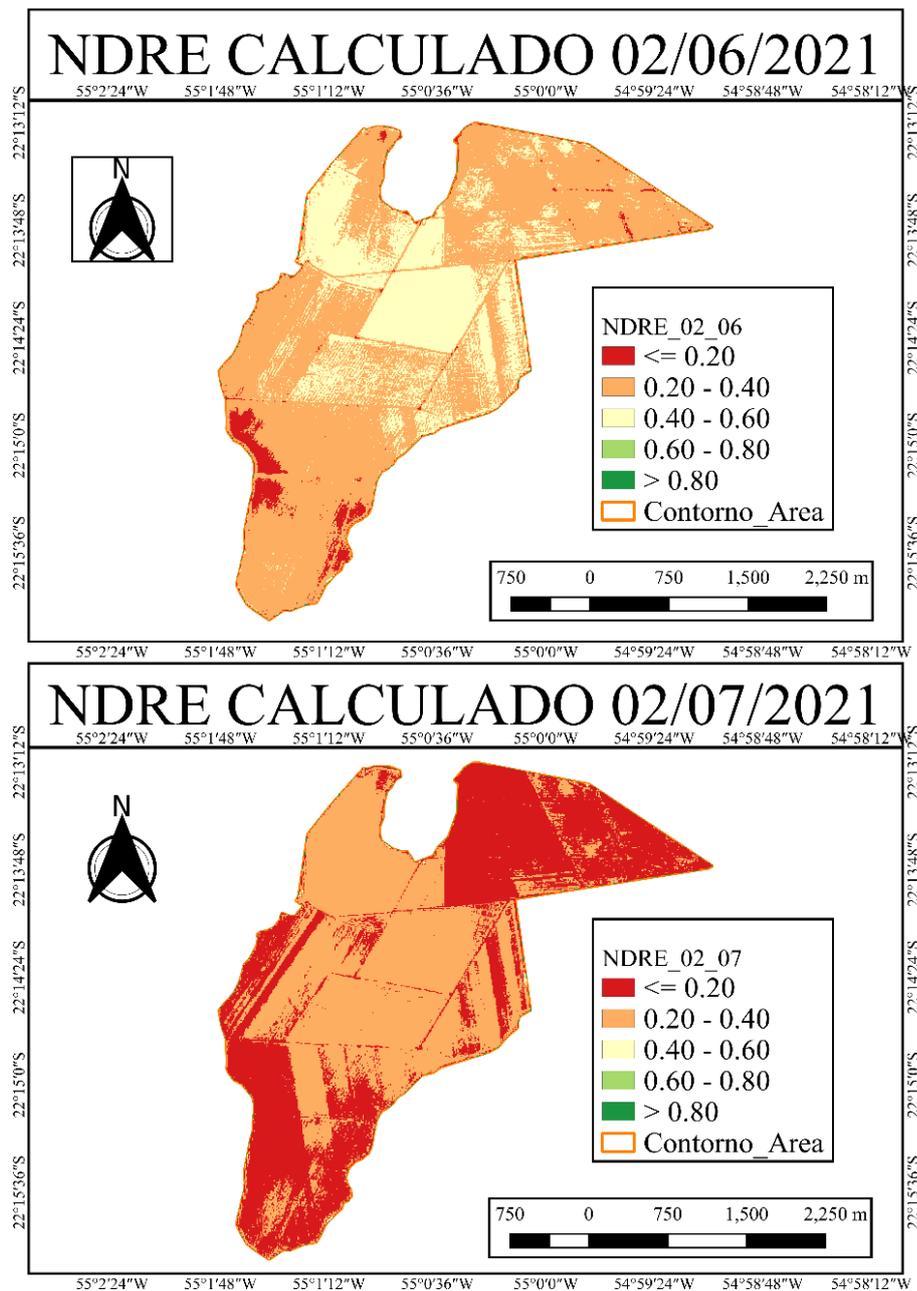


Figura 7. NDRE Calculado.

Fonte: Autores, 2022.

O NDRE tem uma sensibilidade maior em detectar as variações nas condições da cultura como nutrição, clorofila e área foliar, ao contrário do NDVI, gerando bons resultados desde as fases mais iniciais das culturas até as fases mais avançadas.

Para a maioria das aplicações de agricultura de precisão, as imagens multiespectrais com quatro bandas espectrais padrão (ou seja, azul, verde, vermelho e NIR) são suficientes, mas bandas adicionais na borda vermelha, infravermelho de ondas curtas e comprimentos de onda térmicos são úteis para monitorar as culturas (Yang, 2018). A alta frequência de revisita e o rápido tempo de retorno de dados combinados com sua cobertura aérea relativamente grande torna o satélite Sentinel-2 uma excelente opção para aplicações em agricultura de precisão (Ali et al., 2019). Além disso, estas imagens são fonte adicional para avaliar o efeito de fenômenos meteorológicos adversos sobre as culturas.

5 CONCLUSÕES

A ocorrência de geada nos dias 29 e 30 de junho de 2021 causou alterações na resposta espectral da cultura do milho safrinha em Dourados, MS, com diminuição expressiva dos valores dos índices de vegetação NDVI e NDRE.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, A.; MARTELLI, R.; LUPIA, F.; BARBANTI, L. Assessing multiple years' spatial variability of crop yields using satellite vegetation indices. **Remote Sensing**, v.11, p. 2384-2407, 2019.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, p. 711-728, 2013.

ARAI, F. K.; GONÇALVES, G. G. G.; PEREIRA, S. B.; PEIXOTO, P. P. P. Estudo do comportamento pluvial na região de Dourados, MS. **Agrarian**, v. 2, e. 6, p. 105-112, 2010.

BARNES, E. M. Coincident detection of crop wáter stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE**, 2000, Bloomington. Madison: ASA: CSSA: SSSA, 2000.

BÉGUÉ, A., LEBOURGEOIS, V., BAPPEL, E., TODOROFF, P., PELLEGRINO, A., BAILLARIN, F. AND SIEGMUND, B. Spatio-temporal variability of sugarcane fields and recommendations for yield forecast using NDVI. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, p.5391-5407, 2010.

BERNARDI, A. C. de C.; CAMPANA, M.; BETTIOL, G. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; INAMASU, R. Y.; RABELLO, L. M. **Variabilidade de propriedades do solo, índices de vegetação e produtividade de pastagem sob manejo intensivo**. São Carlos, SP, Embrapa Pecuária Sudeste.

YANG, C. High resolution satellite imaging sensors for precision agriculture. **Frontiers of Agricultural Science Engineering**. v. 5, p.393-405, 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acomp. safra bras. grãos, v. 3 - Safra 2015/16, n 5** - Quinto levantamento, fevereiro 2016.

DRUSCH, M.; BELLO, U.D.; CARLIER, S.; COLIN, O.; FERNANDEZ, V.; GASCON, F.; HOERSCH, B.; ISOLA, C.; LABERINTI, P.; MARTIMORT, P.; MEYGRETC, A.; SPOTOA, A.F.; SYA O.; MARCHESED F. & BARGELLINID P. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. **Remote Sensing of Environment**, v. 120: p. 25-36, 2012.

DUARTE, A. P.; CANTARELA, H.; BATISTA, K. Manejo de nitrogênio e ciclagem de nutrientes na cultura do milho safrinha. In: Seminário Nacional de Milho Safrinha, 10., 2009, Rio Verde. **Anais...** Rio Verde: FESURV, 2009. p. 89-105.

FERNANDES, V.R. **cemtec**. registro de ocorrência de geadas. [S.l.]. cemtec, 2021. Disponível em: <https://www.cemtec.ms.gov.br/18531-2/>. Acesso em: 21 jun. 2022.

FIETZ, C. R.; FISCH, G. F. **O Clima da Região de Dourados, MS**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 30 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 92).

GALVÃO, J. C. C.; TROGELLO, E.; PEREIRA, L. P. L. Milho Segunda Safra. In: **Milho: do plantio à colheita**. Ed. GALVÃO, J. C. C.; BORÉM, A.; PIMENTEL, M. A. G. Viçosa, MG: Editora UFV. 2015. p. 207-223.

GASSEN, D. N. **O efeito de geada em cereais de inverno e em milho**. Agrolink. Passo Fundo, 2002. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/colunistas/o-efeito-de-geada-em-cereais-de-inverno-e----em-milho_383648.html. Acesso em: 21 jun. 2022.

GIOVANINI, A. **Sentinel: Histórico, Características e Aplicações**. Disponível em <<https://adenilsongiovanini.com.br/blog/sentinel-historico-caracteristicas-e-aplicacoes/>>. Acesso em abril de 2022.

HOLLAND, K.H.; SCHEPERS, J.S. Derivation of a variable rate nitrogen application model for in-season fertilization of corn. **Agronomy Journal**, v. 102, n 5, p.1415-1424, 2010.

IBGE-BDIA - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Banco de Dados de Informações Ambientais, 2020. **Pedologia**. Available on: <<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>>. Accessed on: May 2022.

OLIVEIRA, E. F. Fatores que garantem o sucesso da safrinha de milho. **VI Seminário Nacional de Milho Safrinha**, IAPAR, Londrina, 2003.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

PAMBOUKIAN, S. V. D. **QGIS – CONCEITOS BASICOS** (2015). disponível em <https://www.mackenzie.br/fileadmin/OLD/62/ARQUIVOS/PUBLIC/user_upload/_imported/fileadmin/LABGEO/Curso/01._Aula_01/0108._QGIS_-_Conceitos_Basicos.pdf>. Acesso em abril de 2022.

ROUSE, J.W., R.H. HAAS JR., J.A. SCHELL, D.W. DEERING; J.C. HARLAN. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. NASA/Goddard Space Flight Center (GSFC) type III final report. NASA/GSFC, Greenbelt, MD, 1974.

SIMÕES, M.S.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Análise do comportamento espectral de uma área comercial de cana-de-açúcar em duas safras por meio de radiometria de campo. XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais...** 2003, p. 2367–2374.

SOTHE, C.; ALMEIDA, C.; LIESENBERG, V.; SCHIMALSKI, M. Evaluating sentinel-2 and Landsat-8 data to map successional forest stages in a subtropical forest in southern Brazil. **Remote Sensing**. v.9, p. 838-860, 2017.

TAIPALE, E. **NDVI vs. NDRE: What's the Difference?** (2018). Disponível em <<https://sentera.com/insights/ndvi-vs-ndre-whats-the-difference>> Acesso em outubro de 2021.