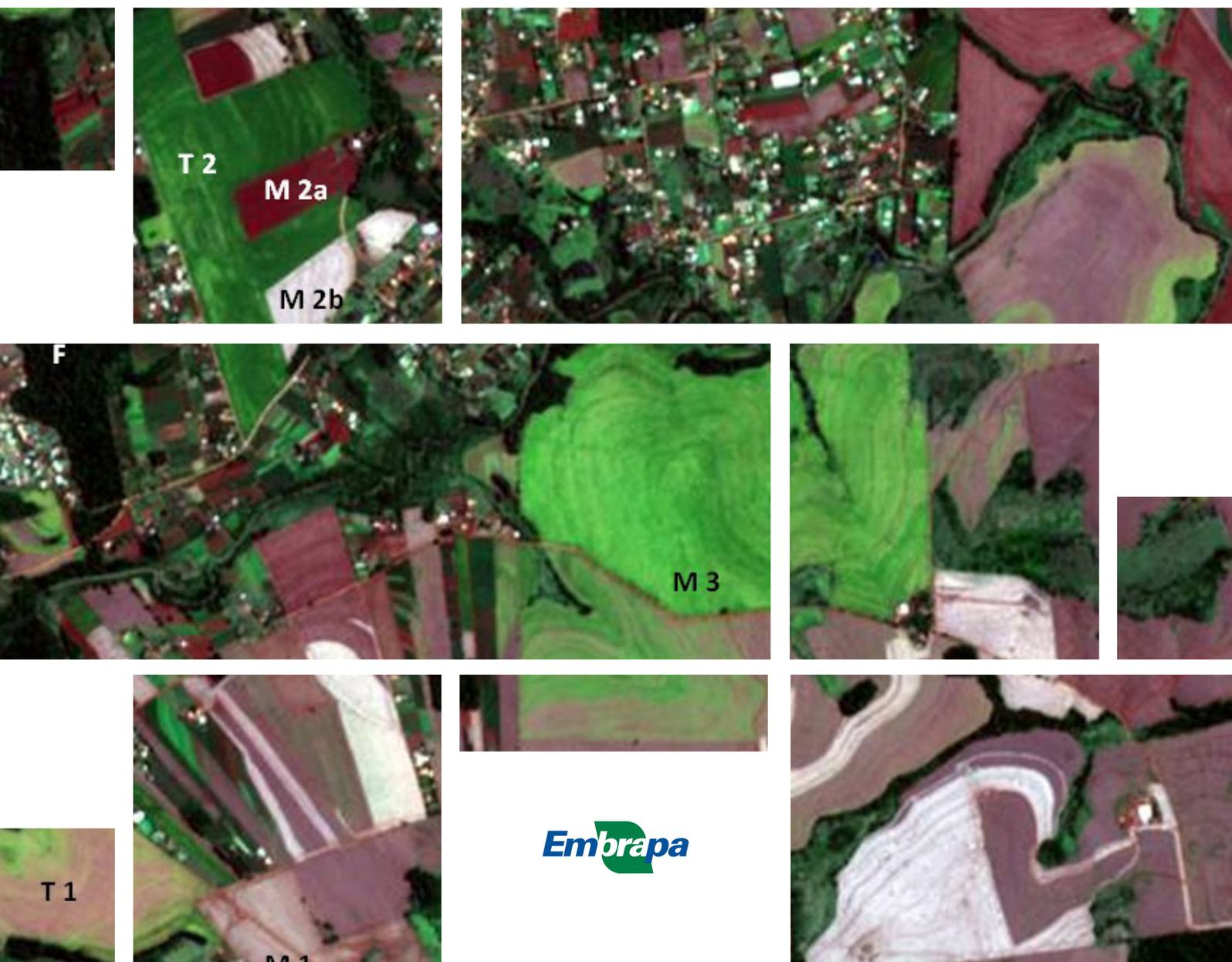


Dinâmica espectral de áreas agrícolas e impactos causados pela geada de junho de 2021, por recortes de imagens do satélite Sentinel-2, na região de Londrina, PR, Brasil



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

DOCUMENTOS 444

Dinâmica espectral de áreas agrícolas e impactos causados pela geada de junho de 2021, por recortes de imagens do satélite Sentinel-2, na região de Londrina, PR, Brasil

*Sergio Luiz Gonçalves
José Renato Bouças Farias
Rubson Natal Ribeiro Sibaldelli
Norman Neumaier*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja

Rod. Carlos João Strass, s/n, acesso Orlando Amaral
Caixa Postal 231
CEP 86001-970
Distrito da Warta
Londrina/PR
Telefone: (43) 3371 6000
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Comitê Local de Publicações
da Embrapa Soja**

Presidente

Alvadi Antônio Balbinot Junior

Secretária-Executiva

Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros

*Claudine Dinali Santos Seixas, Edson Hirose, Ivani de
Oliveira Negrão Lopes, José de Barros França Neto,
Liliane Márcia Mertz-Henning, Marco Antonio Nogueira,
Mônica Juliani Zavaglia Pereira e Norman Neumaier*

Supervisão editorial

Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol

Normalização bibliográfica

Valéria de Fátima Cardoso

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Marisa Yuri Horikawa

Foto da capa

Arquivo Embrapa Soja

1ª edição

PDF digitalizado (2022)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Soja

Dinâmica espectral de áreas agrícolas e impactos causados pela geada de junho de 2021,
por recortes de imagens do satélite Sentinel-2, na região de Londrina, PR, Brasil / Sergio
Luiz Gonçalves... [et al.]. – Londrina : Embrapa Soja, 2022.
52 p. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937 ; n. 444).

1. Espectrometria. 2. Zoneamento agrícola. 3. Meteorologia. 4. Agricultura. 5. Geada. 6.
Dano pelo frio. I. Gonçalves, Sergio Luiz. II. Farias, José Renato Bouças. III. Siboldelli, Rubson
Natal Ribeiro. IV. Neumaier, Norman. V. Série.

CDD: 543.0858 ; 630.2515 (21. ed.)

Autores

Sergio Luiz Gonçalves

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

José Renato Bouças Farias

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Rubson Natal Ribeiro Sibaldelli

Matemático, especialista em Estatística, Londrina, PR.

Norman Neumaier

Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Agronomia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Apresentação

A agricultura brasileira tem evoluído significativamente nas últimas décadas, tornando o país um dos principais produtores de alimentos para o mundo. Isso se deve aos importantes avanços obtidos nos mais diversos setores da ciência agrônoma e afins. Além disso, avanços científicos e tecnológicos em vários outros campos do conhecimento têm sido incorporados ao setor do agronegócio. O grande desenvolvimento da informática possibilitou a melhoria de muitos processos, dando aos aspectos digitais um peso nunca antes visto na agricultura.

Atualmente, todo o dinamismo da agricultura brasileira pode ser acompanhado por diversas técnicas de sensoriamento remoto. Elas têm sido utilizadas há várias décadas para a coleta de dados da superfície terrestre, sem que haja contato entre os sensores dos satélites e o solo. Durante as últimas décadas, satélites e sensores foram aperfeiçoados, possibilitando o monitoramento das mais diferentes atividades e fenômenos que ocorrem em todas as partes do mundo. Isso vem permitindo, por exemplo, o acompanhamento de desastres ambientais, o crescimento das áreas urbanas, desmatamentos, mudanças climáticas e diversos aspectos da agricultura e da pecuária, além de outros. É importante destacar, também, que tais avanços são crescentes, uma vez que os sensores dos diversos satélites têm sido aperfeiçoados ao longo do tempo, com significativa melhoria nas resoluções espacial e temporal dos mesmos.

Para que se utilize as imagens de satélite, são necessárias diversas técnicas de tratamento, armazenamento e análise de dados, além de técnicas de composição de imagens. O presente trabalho traz noções básicas de algumas teorias sobre sensoriamento remoto, a prática de obtenção de imagens em preto e branco, a criação de composições coloridas e em falsa cor. Além disso, o trabalho mostra, com imagens de satélite e fotos de acompanhamentos de campo, a dinâmica espectral e temporal de culturas de trigo e milho, cultivadas após a soja, da semeadura à colheita. Isso possibilitou a comparação de lavouras com vegetação saudável e em pleno desenvolvimento, com lavouras atingidas por um estresse térmico que se configurou em geada e trouxe variáveis danos econômicos à cultura do milho, segunda safra.

A forma de apresentação deste trabalho possibilita que usuários, mesmo não sendo especialistas em sensoriamento remoto, tenham noções básicas sobre o entendimento, a compreensão e a interpretação das imagens de satélite das áreas acompanhadas.

Alvadi Antônio Balbinot Junior

Chefe-adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Embrapa Soja

Sumário

Introdução.....	9
As ondas do espectro eletromagnético e a sua interação com a vegetação	10
A detecção de informações remotas	10
Composições de imagens de satélite	11
Composições coloridas verdadeiras	11
Composições coloridas em falsa cor	12
Índices de vegetação – o uso do NDVI (normalized difference vegetation index).....	14
Dinâmica espectral de alvos agrícolas	14
Material e Métodos	15
Resultados.....	16
Discussão	49
Conclusão.....	51
Referências	52

Introdução

Nos dias atuais, a agricultura brasileira encontra-se ainda em expansão. A grande extensão territorial do Brasil, com a inclusão de novas áreas agrícolas, os grandes aumentos de produtividade das culturas verificados nas últimas décadas e a crescente demanda por produtos alimentares, têm sido fatores decisivos para explicar o porquê de o Brasil ser hoje um grande exportador de alimentos. No entanto, muitos avanços verificados na agricultura nas últimas décadas não ocorreram por acaso. Novas tecnologias e resultados de pesquisa, incluindo variedades melhoradas, manejo e fertilidade de solos, melhor controle de pragas e doenças, cultivos em épocas preferenciais, entre outros avanços ajudam a entender esse desempenho alcançado pelo país.

Apesar de todo o sucesso verificado no Brasil, a agricultura é historicamente uma atividade de risco e, atualmente, provavelmente agravada pelas mudanças climáticas, que enfatizam para as próximas décadas, aumentos das temperaturas globais e incertezas quanto à distribuição hídrica. As atividades agrícolas, no entanto, têm tido o auxílio cada vez maior de avanços tecnológicos, além daqueles ligados diretamente aos aspectos agrônômicos, como das áreas de informática, modelagem, geoprocessamento, das telecomunicações e das conexões digitais. Um dos aliados para um melhor acompanhamento de lavouras de diversas culturas tem sido o sensoriamento remoto. Nas últimas décadas, essa área do conhecimento tem evoluído enormemente com objetivos de monitoramento e observações não só da superfície terrestre, como também na exploração de outros planetas (corpos celestes), ou mesmo galáxias. Desde a primeira missão Landsat, iniciada na década de 1970, muito se avançou, com o surgimento de aprimoramentos das próprias versões Landsat, com sensores cada vez mais modernos, além do lançamento de diversos outros satélites, em vários países, possibilitando o acompanhamento de inúmeros eventos que ocorrem sobre a superfície terrestre. Além da agricultura, muitas outras áreas do conhecimento estão sendo beneficiadas, incluindo o meio ambiente, pelo monitoramento de catástrofes, a evolução da ocupação de áreas pouco habitadas, o acompanhamento das modificações no desenvolvimento urbano e muitas outras. Na agricultura, o sensoriamento remoto tem sido utilizado e possui o crescente potencial de uso em diversas atividades, incluindo a identificação de culturas em pleno desenvolvimento vegetativo, o seu envolvimento com os solos, seus diferentes estádios de desenvolvimento, maturação e colheita. É possível também, monitorar estresses agrícolas, entre eles aqueles causados por pragas e doenças, deficiências hídricas e efeitos adversos de temperaturas.

É possível estudar e entender o sensoriamento remoto sob diversos pontos de vista, uma vez que está presente em inúmeros campos do conhecimento e com centenas de objetivos diferentes. Num entendimento clássico, o termo remoto, que significa distante, refere-se ao fato de que a obtenção de dados e imagens acontece à distância, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre (Florenzano, 2011). Hoje, no século 21, temos alguns aspectos que devem ser levados em conta, como por exemplo, os cenários de mudanças climáticas, que nos levam a ter uma atenção especial com relação a diversos fatores climáticos e aspectos relacionados à agricultura. Temos atualmente, a vantagem da disponibilização de imagens gratuitas de satélites que eram considerados de média a alta resolução espacial há 20 anos atrás e hoje, já são considerados de média a baixa resolução, caso por exemplo do Landsat. E temos ainda softwares e plataformas, em muitos casos gratuitos, onde o próprio usuário pode obter e interpretar imagens do seu interesse. O que torna o trabalho mais rápido, leve e focado exclusivamente nos aspectos mais importantes do desenvolvimento das plantas. Tem se assim, novas perspectivas para o enfrentamento de novos desafios que virão dentro do monitoramento de áreas agrícolas, remotamente, para o auxílio do acompanhamento de diversos aspectos do desenvolvimento das culturas.

As ondas do espectro eletromagnético e a sua interação com a vegetação

A radiação eletromagnética, em função do comprimento e da frequência de suas ondas, pode ser classificada em diferentes tipos. Dentro do espectro eletromagnético temos ondas extremamente curtas, com alto potencial energético, como por exemplo os raios gama, os raios x e os raios ultravioleta, que possuem comprimento de onda menores que 400 nanômetros (nm), praticamente não tendo aplicações em estudos da vegetação. Segundo Formaggio e Sanches (2017), são três as regiões espectrais de maior interesse para o sensoriamento remoto, que são aquelas que abrangem comprimentos de ondas maiores. A primeira, localiza-se na faixa do espectro óptico, de 400 a 2500 nm, a segunda, conhecida como termal, situa-se entre 8000 e 14000 nm e a última, a dos microondas (radar), estão baseadas em radiações com comprimento de ondas de 1mm a 1m. Meneses et al. (2019) enfatizaram que a Terra, e não apenas o Sol, também é uma fonte de radiação eletromagnética, sendo capaz de emitir a radiação infravermelha de ondas longas, sendo esta aquela denominada termal. Explicaram também, que a faixa denominada óptica se limita à região do visível ao infravermelho de ondas curtas, isto é, entre 450 e 2500 nm, porque sua principal propriedade é poder ser refletida pelas superfícies dos objetos, de acordo com as leis ópticas da reflexão, dispersão e refração. Essa região do espectro é intensamente detectada pelos sensores de grande parte dos satélites. Ela está subdividida em visível (de 450 a 760 nm), infravermelho próximo (NIR, de 760 a 910 nm) e infravermelho de ondas curtas (SWIR), de 1190 a 1340 nm e de 1550 a 2500 nm. Com relação especificamente à faixa do visível, que é aquela mais facilmente visualizada pelo olho humano, Meneses e Almeida (2012) descreveram as subdivisões dos seus comprimentos de ondas, que iniciam-se em 380 nm, pela cor violeta. Conforme o aumento do comprimento de ondas e as modificações nos tons de cores, chega-se ao azul (de 455 a 482 nm), ao verde (de 498 a 530 nm), ao amarelo (de 576 a 580 nm) e continua evoluindo para o laranja (de 587 a 597 nm), indo até o vermelho (de 617 a 760 nm).

A detecção de informações remotas

De acordo com Ponzoni et al. (2012), na obtenção de dados remotos da radiação eletromagnética proveniente do Sol (conhecida como irradiância), um objeto alvo na superfície terrestre recebe uma porção direta e outra porção difusa. Tal objeto alvo, envia esse fluxo de radiações para um sensor, localizado num determinado satélite, com uma determinada intensidade de fluxo na trajetória. O sensor recebe também, uma porção da radiação que é espalhada pela atmosfera e, ainda, possíveis contribuições de objetos vizinhos. Dessa forma o sensor recebe a radiância específica do objeto alvo. Com essas informações é possível gerar imagens na forma de matriz de números digitais. Ainda para Ponzoni et al. (2012), como a radiância é um parâmetro radiométrico, dependente da intensidade da radiação radiada pela fonte, que pode inclusive variar de um dia para outro, ela passa a não ser o parâmetro mais apropriado para avaliações das propriedades espectrais dos objetos. Torna-se conveniente a transformação da radiância em reflectância. A reflectância de um objeto expressa uma quantidade relativa de radiação eletromagnética refletida, segundo características próprias dos diferentes alvos e é dada em porcentagem. Como explicam Formaggio e Sanches (2017), nos sensores ópticos, a grandeza principal é a reflectância da energia solar, representada pela razão entre o fluxo de radiação que incide numa superfície e o fluxo de radiação que é refletido por ela. Por isso, um dos princípios básicos do sensoriamento remoto é extrair informações dos sensores remotos baseando-se no comportamento da reflectância de cada alvo, em distintas regiões do espectro eletromagnético.

Composições de imagens de satélite

As imagens originadas a partir dos sensores a bordo dos diferentes satélites são produzidas em preto e branco, em tons de cinza, correspondentes à quantidade de energia eletromagnética detectada em diferentes alvos. Um satélite pode levar consigo vários sensores, que detectam dados nas diferentes faixas do espectro eletromagnético, sendo cada uma delas conhecida como banda. As possíveis variações de largura das bandas e de seu posicionamento ao longo do espectro eletromagnético estão relacionadas com o que se chama de resolução espectral (Formaggio; Sanches, 2017), sendo que sensores com um elevado número de bandas possuem alta resolução espectral. Sensores multiespectrais captam bandas largas, com aproximadamente 50 nm ou mais (Formaggio; Sanches, 2017). Essa é a característica de satélites como por exemplo Landsat, Cbers, Sentinel, entre outros. Existem também, sensores hiperespectrais, como o Aviris, Hyperion, DESIS, entre muitos outros, que produzem bandas estreitas, com capacidade de detecção dos alvos de maneira mais detalhada do que aqueles obtidos nas bandas multiespectrais. Segundo Galvão (2019), as bandas hiperespectrais possuem uma largura menor que 15 nm, sendo que em alguns a largura fica em torno de 10 nm. Alguns sensores possuem bandas mais estreitas ainda, como por exemplo o sensor alemão DESIS, que foi lançado em 2018, possui 235 bandas hiperespectrais, com uma largura variável entre 4 a 10 nm. Atua na faixa do espectro eletromagnético compreendida entre 400 a 1000 nm (do visível ao infravermelho próximo (NIR)), fazendo monitoramento da água, terra e da atmosfera, possuindo uma vida útil esperada de cinco anos. Suas imagens podem ser adquiridas comercialmente (Shrestha et al., 2021).

Dados de sensores hiperespectrais possuem um futuro promissor dentro da agricultura, para detalhamentos da vegetação, com grande potencial de aplicação em estudos de detecção de doenças e pragas, estresses em plantas, identificação de variedades, estimativas de produtividade, estimativas de quantidade de palha nos campos, entre outros. Porém, seus grandes volumes de dados requerem estrutura e metodologia especializada para análises, calibração e processamento. Além disso os seus dados têm uma disponibilidade menor e muitas vezes são comercializados, limitando a sua utilização aos usuários. Um satélite como o Landsat, por exemplo, em uma versão mais recente, o Landsat 8, leva a bordo os sensores OLI e TIRS, gerando dados para 11 bandas, que são do tipo multiespectrais, como em todas as suas versões anteriores. O satélite Sentinel, por sua vez, leva consigo o sensor MSI, com 13 bandas multiespectrais, cobrindo a parte do espectro eletromagnético desde o visível, passando pelo infravermelho próximo (NIR) até o infravermelho de ondas curtas (SWIR) (Drusch et al., 2012).

Conforme destacado anteriormente, as imagens obtidas em cada banda pelos sensores eletrônicos são originalmente produzidas em preto e branco. A quantidade de energia refletida pelos alvos terrestres gera diferentes tons de cinza, entre o branco (quando refletem toda a energia) e o preto (quando absorvem toda a energia). Isso quer dizer que, quando os valores de reflectância de um alvo são elevados, seus níveis de cinza originam imagens mais claras.

Composições coloridas verdadeiras

É possível visualizar as bandas individualmente em seus diferentes tons de cinza. No entanto é comum a junção de três bandas para a composição de uma imagem. Como o olho humano não distingue tão bem diferentes tons de cinza e distingue melhor as cores, uma composição colorida é uma forma vantajosa para a interpretação de imagens. Nessa composição são utilizadas três bandas em preto-e-branco, sendo que sobre cada banda é possível a colocação de um filtro colo-

rido, utilizando-se principalmente as cores primárias, azul, verde e vermelho (Formaggio; Sanches, 2017). Podemos resumir a formação de uma imagem colorida verdadeira como sendo a união das bandas originais da parte do espectro eletromagnético detectadas dentro da faixa do visível, ou seja, da banda do azul, entre 455 a 482 nm, do verde, de 498 a 530 nm e do vermelho (de 617 a 760 nm). Além disso, temos que associar a essas bandas um filtro colorido, que, no caso da composição colorida verdadeira, serão as mesmas cores acima citadas, respectivamente azul, verde e vermelho. Da mesma forma, no satélite Sentinel-2, isto é feito utilizando-se as Bandas 4 (vermelho), 3 (verde) e 2 (azul), com os filtros coloridos vermelho, verde e azul, respectivamente. Lembrando ainda, que essa composição colorida, no satélite Sentinel-2 tem uma resolução espacial de 10 m. Ao final temos uma composição cujas cores são verdadeiras ou naturais, destacando-se também uma infinidade de alvos com cores intermediárias e suas interações. Segundo Florenzano (2011), a partir da mistura das três cores primárias, azul, verde e vermelho, num processo conhecido como aditivo, originam-se as cores secundárias magenta, amarela e ciano (verde-azulado). Cada uma destas três cores resulta da subtração de uma das cores da luz branca. A mistura do verde com o vermelho origina o amarelo. O vermelho com o azul resulta em magenta e a mistura do verde com o azul resulta o ciano. A combinação das três cores primárias em partes iguais origina o branco.

Pelos detalhes relatados acima, as imagens coloridas verdadeiras apresentam, em função de diferenças de reflectância dos alvos, uma infinidade de tons de cores, com destaque para as cores primárias e as intermediárias. Apesar da utilidade da composição colorida existe uma importante limitação, principalmente para a visualização de campos vegetados e alvos agrícolas. Isto porque a reflectância dos alvos, dentro da faixa de espectro eletromagnético do visível é limitada, sendo que a vegetação apresenta reflectância mais nítida em faixas de comprimentos de ondas maiores que aqueles do visível. Ponzoni et al. (2012) afirmaram que na região do visível os valores de reflectância são relativamente baixos, por causa da ação dos pigmentos fotossintetizantes, que absorvem a radiação eletromagnética incidente. Quanto maior for a densidade da cobertura vegetal, menor será a reflectância no visível, em função da maior oferta de pigmentos fotossintetizantes. A reflectância maior ocorre no infravermelho próximo (NIR), por causa do espalhamento múltiplo da Radiação Eletromagnética (REM) nas diferentes camadas das folhas. Dentro da faixa do infravermelho porém, naquela de ondas mais longas, como por exemplo o infravermelho de ondas curtas (SWIR), tem-se uma nova queda dos valores de reflectância em razão da presença de água no interior das folhas (Sano et al., 2019).

Composições coloridas em falsa cor

Para contornar as limitações das composições coloridas verdadeiras, que focam apenas a faixa do visível, ou seja aquela localizada entre 455 e 760 nm, é possível fazer composições abrangendo outras partes do espectro eletromagnético, com ondas de comprimento maior, utilizando-se, por exemplo, bandas do infravermelho, com abrangência de até 2500 nm. Essas composições, abrangendo bandas do visível e do infravermelho, quando associadas às diferentes cores para cada banda geram imagens coloridas, porém suas cores não são verdadeiras. São classificadas como composições em falsa cor. Há várias possibilidades de combinações de bandas e cores, originando diferentes imagens coloridas. Uma delas, bastante utilizada em estudos de vegetação é a junção de duas bandas do visível com uma banda do infravermelho próximo (NIR). Há diferenças entre sensores e satélites na exata faixa do espectro eletromagnético detectada pelos sensores. As primeiras bandas normalmente referem-se ao visível, as bandas intermediárias abrangem o infravermelho, havendo, como no Landsat, duas bandas na faixa do termal. Várias composições coloridas, tanto em cores verdadeiras quanto em falsa cor, principalmente sobre o uso de imagens

do satélite Landsat, estão bem detalhadas em Formaggio e Sanches (2017) e Florenzano (2011). O satélite Sentinel-2, por exemplo, possui bandas até o infravermelho de ondas curtas. Utilizando-se bandas do satélite Sentinel-2, uma composição bastante útil em estudos de vegetação é aquela que destaca o infravermelho próximo (NIR), onde a vegetação saudável tem alta reflectância. Essa composição é feita, conforme o colocado acima, com duas bandas do visível e uma do infravermelho, da seguinte ordem: A banda 8 (infravermelho próximo, em 842 nm) é associada à cor vermelha; a banda 4 (da faixa do vermelho, com 665 nm) é associada à cor verde e a banda 3 (da faixa do verde, com 560 nm) é associada à cor azul. A composição resultante é do tipo colorida em falsa cor, com resolução espacial de 10 m. Nela, toda a vegetação, incluindo florestas e áreas cultivadas, aparece em vermelho. Há uma diversidade maior nos tons de cores dos solos não cobertos por alguma vegetação bem definida. Isso porque em função de diferenças de manejo, existem solos total ou parcialmente mecanizados, portanto expostos, solos com maior ou menor cobertura com ervas daninhas ou ainda solos com um mínimo ou ausência de preparo, ou seja, com a presença de palhada em maior ou menor quantidade, oriundas de áreas de semeadura direta. A cor predominante desses solos é o ciano, com grande variabilidade de tons claros e escuros, entre o verde e o azul. Os rios e lagos, por sua vez, mostram cores escuras, devido à baixa reflectância da água.

Ainda considerando o satélite Sentinel-2, outra possível composição e bastante útil é a junção das três partes do espectro eletromagnético envolvendo o visível, o infravermelho próximo (NIR) e o infravermelho de ondas curtas (SWIR), o que aumenta as probabilidades de identificação de alvos em imagens de satélite. É obtida na seguinte ordem: a banda 12 (infravermelho de ondas curtas, em 2190 nm), com resolução espacial de 20 m é associada à cor vermelha; a banda 8A (infravermelho próximo, da faixa de 865 nm), também com resolução espacial de 20 m é associada à cor verde e a banda 4 (parte do visível na faixa do vermelho, com 665 nm), com resolução espacial de 10 m é associada à cor azul. A composição resultante é do tipo colorida em falsa cor, onde toda a vegetação, incluindo florestas e áreas cultivadas, aparece em verde. Da mesma forma que na composição anterior, também há uma diversidade maior nos tons de cores dos solos não cobertos por uma vegetação bem definida e diferenças de tipos de manejo dos solos. Só que neste caso, áreas com bastante palhada tendem a ser rosadas e aquelas de solos mais expostos, de cor arroxeadas. Os rios e lagos, também, como na composição anterior, mostram cores escuras, devido à baixa reflectância da água.

Explicou-se até aqui, de modo simplificado, alguns passos importantes que podem ser utilizados em interpretação de imagens de satélite e podem ser de grande valia no monitoramento temporal de alvos terrestres, principalmente de áreas agrícolas. Neste sentido é crucial o acompanhamento da dinâmica do desenvolvimento das plantas desde o momento da colocação das suas sementes no solo até o seu desenvolvimento pleno e a posterior evolução para a colheita. Quando a vegetação está em desenvolvimento pleno e saudável, produzindo uma cobertura uniforme sobre o terreno, a sua identificação, enquanto uma cultura agrícola, nas imagens de satélite pode ser relativamente simples, mesmo que com dúvidas importantes sobre o tipo de cultura presente. Dúvidas maiores ocorrem quando não temos uma cobertura vegetal uniforme sobre um alvo. Torna-se um ponto chave para o acompanhamento da evolução dos alvos o acompanhamento dos solos das áreas. Nas épocas de entressafra, principalmente nos períodos que antecedem a semeadura de diversas culturas agrícolas, as imagens de satélite mostram solos com uma significativa variabilidade de tons de cores, mais ou menos escuros, em função das diferentes formas de ocupação e uso pelos agricultores. Existem solos que são utilizados de diferentes formas, com os mais diversos objetivos, seja o preparo do solo para a semeadura, ou a descompactação dos solos, as aplicações de corretivos, entre outros tipos de atividade. Existem também aqueles solos que, em função de semeadura

direta das culturas e, em função do desenvolvimento da cultura anterior, possuem uma quantidade maior ou menor de palha. Neles, muitas vezes a quantidade de palha é grande e sem infestação de ervas daninhas. Porém, muitas dessas áreas, apesar da semeadura direta, a quantidade de palha não é tão grande, ou porque a área ficou em pousio durante muito tempo ou porque, por vários motivos, a quantidade de palha produzida não foi grande, havendo presença de ervas daninhas em meio à palhada da cultura anterior. Por todos esses detalhes, em função da energia solar recebida por estes solos, ocorre uma grande diversidade na reflectância dos alvos, produzindo imagens com muitos alvos mais ou menos escuros.

Índices de vegetação – o uso do NDVI (*normalized difference vegetation index*)

Com relação à grande variabilidade de coberturas vegetais ou ausência delas nos diferentes alvos terrestres, para a diminuição de dúvidas e auxiliar na interpretação das imagens de satélites, o uso de índices de vegetação é muito útil. Meneses et al. (2019) descreveram que os índices de vegetação são obtidos por técnicas de processamento e são importantes em análises de comportamento espectral da reflectância de dosséis vegetados, sendo gerados para realçar contrastes. São obtidos dividindo-se os valores de bandas espectrais com alto e baixo valor de reflectância, respectivamente. As faixas do vermelho (617 a 760 nm), com baixos valores de reflectância devido à absorção da REM pela clorofila e do infravermelho próximo (NIR; 760 a 910 nm), com altos valores de reflectância devido às estruturas internas das folhas verdes, são comumente utilizadas. Um método muito utilizado para visualizar índices de vegetação, inclusive nos dias atuais, foi proposto por Rouse et al. (1974), sendo denominado *normalized difference vegetation index* (NDVI), que significa índice de vegetação por diferença normalizada. Segundo os autores, o procedimento de normalização foi utilizado e caracterizado pela transformação de dados de radiância registrados nas bandas 5 e 7, do satélite ERTS-1 MSS, para eliminar diferenças sazonais do ângulo do Sol e minimizar o efeito da atenuação atmosférica. Após os processamentos para a obtenção da reflectância, o NDVI é, então, dado pela fórmula: $NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$. Os valores de NDVI variam de -1 a +1, sendo que os valores próximos de 1 correspondem a alvos densamente vegetados, enquanto que valores negativos indicam ausência de vegetação.

Dinâmica espectral de alvos agrícolas

É possível a utilização de imagens de satélite sequenciais para o monitoramento das mudanças espectrais que ocorrem ao longo do tempo de desenvolvimento de diversas culturas. Para as culturas anuais, desde o momento da entressafra, quando muitos solos estão ainda sem cobertura vegetal, passando pela semeadura até o momento da colheita, ocorrem diferenças significativas na biologia das plantas, com mudanças nos níveis de clorofila e água. As diferentes idades das plantas, geram diferentes níveis de absorção, difusão e reflexão de energia, que captados pelos sensores dos satélites, originam uma sequência de imagens, que quando interpretadas nos dão uma ideia da dinâmica espectral e temporal dos alvos. Segundo Formaggio e Sanches (2017), grandes talhões agrícolas podem ser monitorados com o uso de sensores de resolução espacial grosseira, como por exemplo a de 250m, enquanto que para áreas menores, tal resolução deve ser mais fina, ou seja, de 30m ou menos. Lembrando que a resolução espacial determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem (Meneses; Almeida, 2012). Por isso, as imagens com resolução menor são mais nítidas e mais próximas. As culturas perenes são mais facilmente acompanhadas por satélites, uma vez que persistem no campo o ano todo, sendo possível a obtenção de imagens livres de nuvens durante boa parte do ano. O que pode não ocorrer com várias culturas anuais, que quando cultivadas no verão, muitas vezes não podem ser monitoradas

devido à grande quantidade de nuvens que aparecem nas imagens. Formaggio e Sanches (2017) mostraram a dinâmica do comportamento espectro-temporal de alvos agrícolas, de diversas culturas, incluindo culturas perenes e anuais, e nestas, desde a semeadura até a colheita, utilizando imagens do satélite Landsat 8 (sensor OLI), principalmente na composição em falsa cor, RGB 564 (NIR, SWIR, Red). A complementação do trabalho foi realizada pelo acompanhamento de campo. Uma das conclusões dos autores foi a de que existe uma intensa dinâmica nas áreas agrícolas causadas pelas mudanças fenológicas das plantas, principalmente nos sistemas que adotam rotação de culturas. Concluíram ainda, que existe necessidade de imagens com resolução espacial de 30 m, porém com uma melhor resolução temporal (frequência de revisita do satélite) do que os 16 dias do OLI-Landsat 8.

Considerando o relatado acima, conceitos e definições, o objetivo deste trabalho foi o de mostrar a dinâmica do comportamento espectral de alvos, por meio de interpretação de imagens de satélite e acompanhamento de campo em 7 áreas agrícolas, de uma sub-região do município de Londrina, norte do Paraná. As análises e interpretações de imagens ocorreram já a partir do verão de 2020 e 2021, incluindo a cultura da soja, indo até o outono-inverno, pela observação do desenvolvimento das principais culturas cultivadas nesse período, com ênfase na geada ocorrida em 29 de junho de 2021, que trouxe diferentes impactos para as culturas do trigo e do milho cultivado em segunda safra.

Material e Métodos

Foram acompanhadas, presencialmente, 7 áreas agrícolas, com solos predominantemente argilosos, desde fevereiro de 2021, em pleno verão, quando as áreas apresentavam cultivo de soja ou estavam em preparação para a semeadura das culturas de outono-inverno. Tais áreas foram acompanhadas pelas imagens do satélite Sentinel-2, durante os períodos subsequentes, incluindo o preparo dos solos, o desenvolvimento das culturas e as colheitas. Com o passar do tempo, no outono-inverno de 2021 ocorreram significativas quedas de temperatura na região sul e sudeste do Brasil. Em consequência, configurou-se a formação de geadas, que prejudicaram vários tipos de culturas e pastagens. No Paraná, em algumas datas, a queda de temperatura foi intensa, notadamente na madrugada do dia 29 para 30 de junho, tornando-se uma geada severa, que trouxe prejuízos para várias culturas, entre elas o milho de segunda safra. O efeito da geada, basicamente sobre a cultura do milho segunda safra, também foi acompanhado por este trabalho.

O monitoramento terminou após a colheita de todas as áreas envolvidas, aproximadamente em meados de setembro de 2021. As imagens do satélite Sentinel-2 foram obtidas na plataforma Land Viewer (Land Viewer, 2021), especificamente no seu módulo que permite a obtenção de até 10 cenas gratuitas por dia. Dessa plataforma, foram utilizadas pequenas partes de imagens, ou seja, recortes de cenas já previamente processadas pela plataforma, principalmente de imagens correspondentes ao visível, ao infravermelho e imagens de NDVI. Isso permitiu que essas imagens fossem analisadas e interpretadas basicamente segundo os conhecimentos de sensoriamento remoto e de conhecimentos agrônômicos envolvendo as culturas em questão. Pelo uso da plataforma Land Viewer, também pelo módulo de obtenção de cenas gratuitas, foi possível a realização de composições específicas, como por exemplo, a obtenção de partes de bandas originais do satélite Sentinel-2, em preto e branco, para o estudo do estresse térmico sobre as plantas, no caso, o efeito da geada. Com uma resolução temporal de 5 dias, o satélite Sentinel-2 permitiu que fossem acompanhadas as áreas em 30 datas, das quais 15 foram utilizadas no trabalho. O índice de vegetação NDVI serviu de auxiliar na interpretação das imagens, basicamente para confirmar a presença de

vegetação ou mostrar indícios de vegetação nos momentos em que não existiam culturas no campo. Para a complementação do trabalho, foi realizado o acompanhamento de campo, nas datas o mais próximo possível correspondentes às imagens obtidas do satélite. As visitas serviram para checagem dos possíveis danos causados pela geada, notadamente em 29 de junho, os tipos de manejos dos solos, dos estádios de desenvolvimento das plantas e também para a captura de fotos.

Resultados

As áreas estudadas foram identificadas a partir do período outono-inverno, com um código para facilitar o seu acompanhamento, indicado em cada figura a seguir. Foram elas: T1 (área de trigo, latitude 23°23'32,13"S, longitude 51° 4'28,31"O, altitude de 425 m); T2 (área de trigo, latitude 23°21'54,53"S, longitude 51° 4'14,03"O, altitude de 440 m); M1 (área de milho, latitude 23°23'41,56"S, longitude 51° 3'55,84"O, altitude 427 m); M2a (área de milho, latitude 23°21'59,68"S, longitude 51° 3'57,91"O, altitude 411 m); M2b (área de milho, latitude 23°22'14,80"S, longitude 51° 3'55,02"O, altitude 401 m); M3 (área de milho, latitude 23°22'46,27"S, longitude 51° 2'59,73"O, altitude 450 m) e, por último, M4 (área de milho, latitude 23°23'16,31"S, longitude 51° 1'30,88"O, altitude 425 m).

Uma regra geral para o entendimento das figuras do NDVI, deste trabalho, é que os solos descobertos e sem vegetação geralmente mostram NDVI na faixa 0,1-0,2. As plantas sempre terão valores entre 0,2 e 1, sendo que quando a vegetação é densa e saudável ele é superior a 0,5.

A primeira data de identificação das culturas foi 21 de fevereiro de 2021. Nessa data, nas áreas T1, T2 e M3, encontrava-se a cultura da soja, em pleno desenvolvimento. Nas áreas M1, M2a, M2b e M4, não haviam ainda culturas estabelecidas. As áreas identificadas com a letra F eram constituídas por florestas. A Figura 1 representa a composição do visível, em cor verdadeira (RGB 4,3,2) onde se vê as áreas agrícolas, no caso a soja, em T1, T2 e M3 e a vegetação mais densa das florestas na cor verde escuro, enquanto que solos preparados ou expostos, sem vegetação ou com vegetação em estádios iniciais de desenvolvimento, apresentam cores rosadas ou próximas disto e tons de verde mais ou menos claros. A Figura 2, na sequência é o que se vê no infravermelho próximo (NIR; RGB 8,4,3), onde as áreas agrícolas e florestas aparecem em vermelho e solos expostos, ou com alguma vegetação ainda em formação, apresentam tons de rosa até arroxeados ou tons entre azul e verde, mais ou menos claros (ciano). Por último, a Figura 3, indica a quantidade de verde da vegetação. O NDVI das áreas de soja, nesse momento é alto (estando próximo de 1, pela legenda), uma vez que a cultura estava em pleno desenvolvimento nas áreas T1, T2 e M3. A área M1 encontrava-se com palha e sem vegetação, enquanto nas demais (M2a, M2b e M4) o NDVI mostra alguma vegetação, provavelmente pouca palha e infestação de ervas daninhas.



Figura 1. Recorte de uma imagem Sentinel-2 em cor verdadeira, RGB 4,3,2, de áreas agrícolas na região de Londrina, PR, em 21 de fevereiro de 2021.

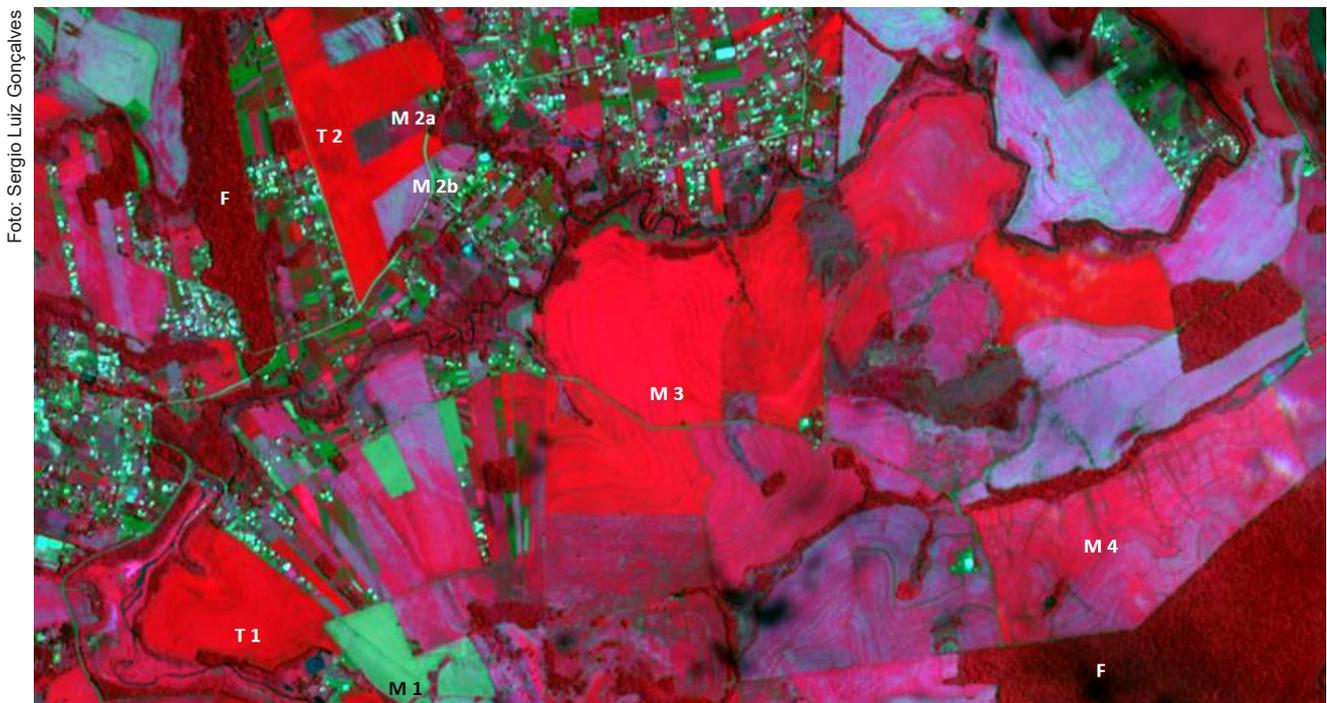


Figura 2. Recorte de uma imagem Sentinel-2 em falsa cor, RGB 8,4,3 (NIR), de áreas agrícolas na região de Londrina, PR, em 21 de fevereiro de 2021.

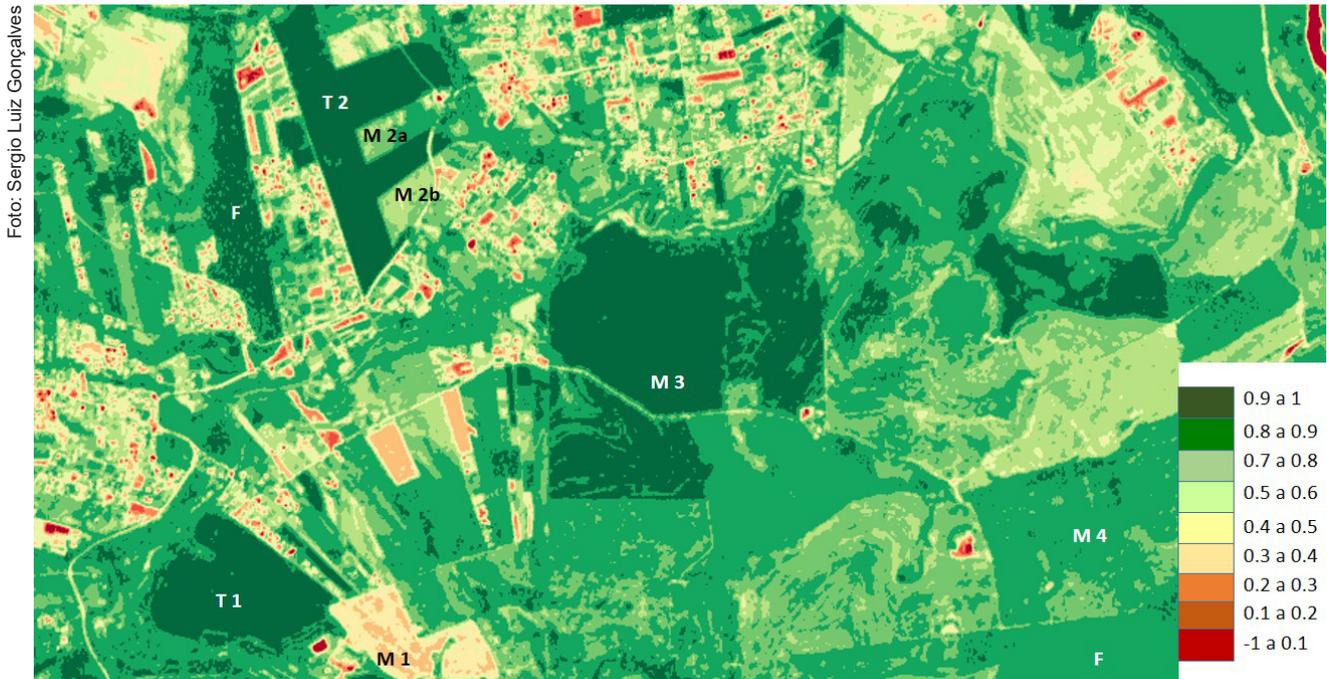


Figura 3. Recorte de uma imagem Sentinel-2, com o índice de vegetação NDVI, de áreas agrícolas na região de Londrina-PR, em 21 de fevereiro de 2021.

A segunda data de monitoramento deste trabalho foi 13 de março de 2021. Na Figura 4, oriunda do visível é possível observar que, nesse momento a área de soja T1 havia sido colhida, a M3 estava em vias de ser colhida enquanto que a T2, encontrava-se com o desenvolvimento um pouco mais atrasado, ambas em verde. As áreas M1, M2a, M2b e M4, encontravam ainda sem vegetação, com diferenças de manejo, seja por grandes quantidades de palha, aplicações de corretivos ou diferentes preparos de solo. Na Figura 5, onde se vê a imagem do infravermelho próximo (NIR) é possível perceber as áreas com vegetação saudável em vermelho, que eram as áreas T2 e a M3, com soja, se aproximando da colheita, além das florestas (F). Diferenças de manejo, palhada, preparos diferentes de solos, podem ser observados e confirmados nas demais áreas. A Figura 6, do NDVI, mostra as áreas em verde, onde ele é positivo em contraste com as áreas em tons de laranja, indicativo de ausência de vegetação.



Figura 4. Recorte de uma imagem Sentinel-2, em cor verdadeira, RGB 4,3,2, em áreas agrícolas de Londrina, PR, em 13 de março de 2021.



Figura 5. Recorte de uma imagem Sentinel-2 em falsa cor, RGB 8,4,3 (NIR), de áreas agrícolas na região de Londrina, PR, em 13 de março de 2021.



Figura 6. Recorte de uma imagem Sentinel-2, do índice de vegetação NDVI, de região agrícola de Londrina, PR, em 13 de março de 2021.

A terceira data de obtenção das imagens de satélite foi 23 de março de 2021. Nesse momento toda a soja já havia sido colhida e outras culturas como trigo e milho safrinha ainda não haviam sido semeadas, com exceção da área M1. O resultado é que, conforme a Figura 7, muitos solos da região estavam sem vegetação, preparados ou não, aguardando o momento da semeadura da cultura seguinte, que poderia ser trigo ou milho. Na Figura 7, composição do visível, somente as áreas de floresta, com vegetação mais densa, mostram-se na cor verde escuro, enquanto que solos preparados ou expostos, com aplicações de corretivos, sem vegetação ou com vegetação em estádios iniciais de desenvolvimento, apresentam-se esbranquiçados ou com cores rosadas ou próximas disto e tons de marrom claro até avermelhados. A exceção, foi a área M1, já em início de desenvolvimento do milho, recém semeado. É possível ver ainda, na área M2a, que houve revolvimento do solo, que aparece em vermelho (marrom) escuro. A área T2 também mostra um início de desenvolvimento de verde, porém, caracterizado por infestação de ervas daninhas. A Figura 8 mostra as áreas na faixa do infravermelho próximo (NIR), onde as florestas estabelecidas e matas ciliares aparecem em vermelho. As demais áreas, ainda sem vegetação, aparecem apenas em diferentes tons de verde. Os solos expostos ou com alguma cobertura vegetal, incluindo ervas daninhas, podem apresentar variados tons entre azul e verde bem claros (ciano), incluindo as áreas de soja colhidas. Na área M1, a cor apresentada já não é mais característica de solo sem vegetação ou de solo exposto. A área M2a, com o preparo do solo, aparece em verde mais escuro. A figura seguinte é a 9, indicando o índice de vegetação, que ilustra o que foi afirmado acima, da existência de várias áreas com solos sem vegetação ou expostos, com exceção das florestas (F) indicando baixos índices NDVI, inclusive nas áreas de soja recém colhidas. Somente a área M1 já mostra o início de NDVI positivo.



Figura 7. Recorte de imagem Sentinel-2, em cor verdadeira, RGB 4,3,2, de áreas agrícolas de Londrina, PR, em 23 de março de 2021.

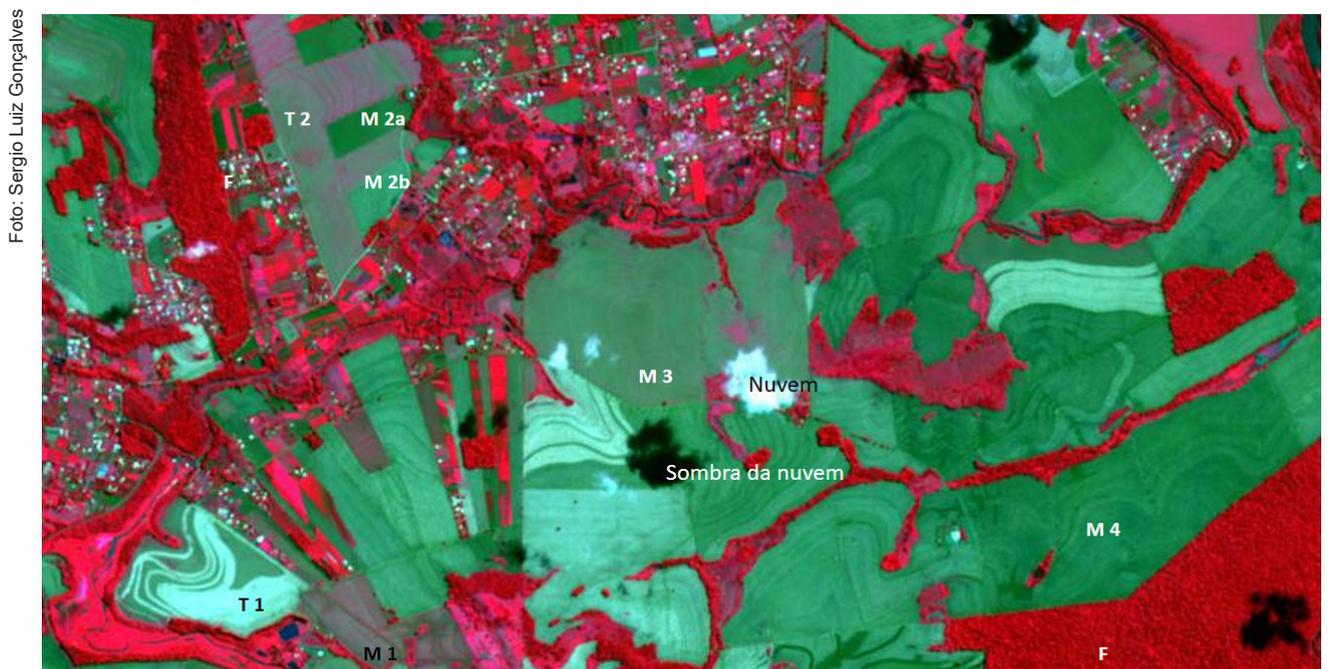


Figura 8. Recorte de imagem Sentinel-2 em falsa cor, RGB 8,4,3 (NIR), em região agrícola de Londrina, PR, em 23 de março de 2021.



Figura 9. Recorte de imagem Sentinel-2, do índice de vegetação NDVI, em áreas agrícolas de Londrina, PR, em 23 de março de 2021.

A quarta data de acompanhamento do trabalho foi 02 de abril de 2021. Nessa data, todas as áreas encontravam-se na mesma condição da data anterior, 23 de março, ou seja, as áreas estavam em preparativos para a semeadura da cultura seguinte. A Figura 10, composição do visível, mostra as variações de manejo dos solos que estavam ocorrendo naquele momento. Isso pode ser confirmado pela observação do infravermelho próximo (Figura 11) e pelos índices de vegetação, NDVI (Figura 12). A exceção ao que foi escrito acima e tal como ocorreu na data anterior é que, na área M1, a cultura do milho, já no campo, apresentou padrões diferentes das outras áreas, mostrando evolução dos níveis de verde. No visível já aparece em verde, no infravermelho próximo (NIR) começa a mostrar cores intermediárias entre o verde e o vermelho, indicando aumento no seu desenvolvimento vegetativo. Isso pôde ser confirmado pelo já significativo índice de vegetação, NDVI (Figura 12).



Figura 10. Recorte de imagem Sentinel-2, em cor verdadeira, RGB 4,3,2, de áreas agrícolas na região de Londrina, PR, em 2 de abril de 2021.



Figura 11. Recorte de imagem Sentinel-2 em falsa cor, RGB 8,4,3 (NIR), de áreas agrícolas em Londrina, PR, em 2 de abril de 2021.

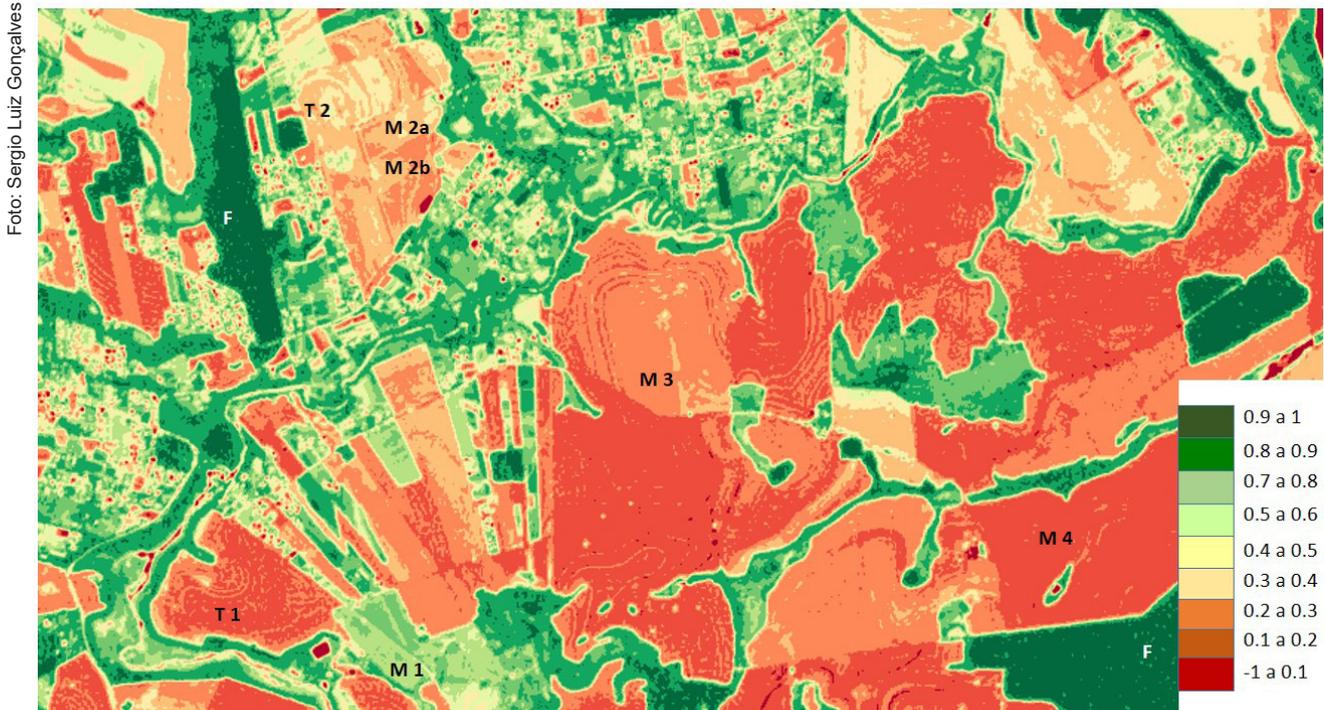


Figura 12. Recorte de imagem Sentinel-2, do índice de vegetação NDVI, de áreas agrícolas de Londrina, PR, em 2 de abril de 2021.

A data seguinte de observação e acompanhamento deste trabalho foi 27 de abril de 2021. Nessa data, na composição do visível (Figura 13), dentre as áreas estudadas, aquela que apresentava o verde mais intenso era a de milho, M1. As áreas M2a e M2b, já aparecem verdes, tendo sido semeadas com milho, no início de abril. A área M4, indica uma mudança de cor, deixando a tonalidade de cor característica de solo sem vegetação ou exposto, indicando uma possível semeadura de milho na segunda quinzena de abril. As áreas T1, T2 e M3, ainda continuavam mostrando ausência de culturas. Na Figura 14 (do infravermelho próximo) é possível verificar o que foi afirmado acima, mostrando as áreas M1, M2a e M2b em vermelho, tal como as florestas (F). A área M4, por sua vez, estava se encaminhando para isso, enquanto que as áreas T1, T2 e M3 apresentavam solos em diferentes tons de verde, indicativo de solos sem vegetação. A ausência de vegetação destas áreas foi confirmada pelo NDVI característico de ausência de vegetação (Figura 15). Por sua vez, as áreas M1, M2a e M2b já mostravam um NDVI indicativo de vegetação verde e saudável. A área M4, por outro lado, tinha um NDVI ainda baixo, porém em evolução.



Figura 13. Recorte de imagem Sentinel-2, em cor verdadeira, RGB 4,3,2, de áreas agrícolas na região de Londrina, PR, em 27 de abril de 2021.



Figura 14. Recorte de imagem Sentinel-2, em falsa cor, RGB 8,4,3 (NIR), de áreas agrícolas na região de Londrina, PR, em 27 de abril de 2021.



Figura 15. Recorte de imagem Sentinel-2, do índice de vegetação NDVI, de áreas agrícolas de Londrina, PR, em 27 de abril de 2021.

A sexta data avaliada por este trabalho foi 17 de maio de 2021. Nessa data, apesar de a imagem do satélite Sentinel-2 apresentar apenas 3% de nuvens, justamente sobre as áreas estudadas a presença de nuvens foi importante, diminuindo a visibilidade de parte das áreas agrícolas. Por isso a composição do visível não foi utilizada para essa data. A Figura 16 mostra o infravermelho próximo, onde é possível perceber um desenvolvimento normal das áreas de milho (M1, M2a, M2b e M4), em vermelho. As áreas T1, T2 e M3, ainda continuavam sem cobertura com culturas, aparecendo em tons marrons e verdes, de ausência de vegetação. Na Figura 17, da faixa do infravermelho de ondas curtas (SWIR), incluindo também o infravermelho próximo (NIR) e o vermelho (visível), todas as culturas e florestas aparecem em verde. Como é o caso das áreas de milho M1, M2a, M2b e M4 e as florestas (F). Nas áreas T1, T2 e M3, a ausência de vegetação nessa faixa do espectro eletromagnético, mostra cores em diferentes tons de roxo. Pela Figura 18, dos índices de vegetação NDVI, é confirmada a ausência de vegetação nas áreas T1, T2 e M3, os significativos índices de verde nas áreas de milho M1, M2a, M2b e M4 e florestas (F). A presença de nuvens prejudicou a visualização da área T2, nas duas composições coloridas em falsa cor, do infravermelho (NIR e SWIR).

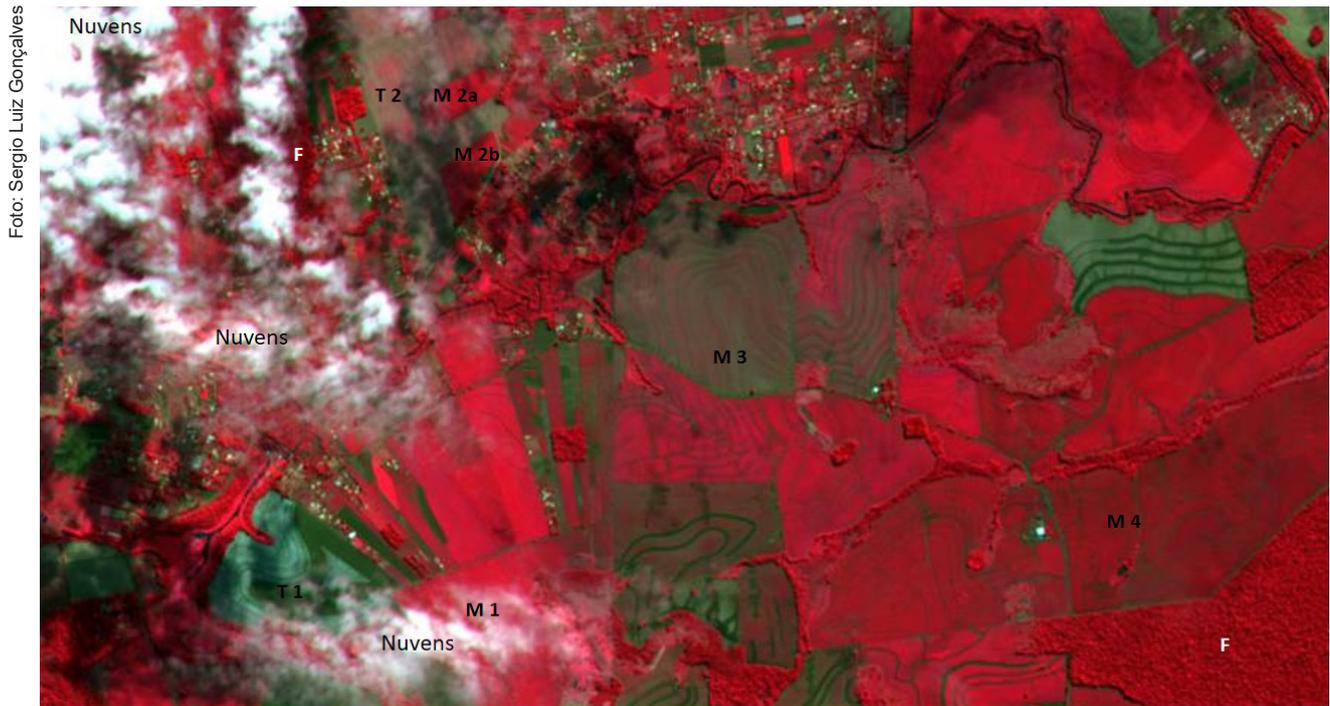


Figura 16. Recorte de imagem Sentinel-2, em falsa cor, RGB 8,4,3 (NIR), de áreas agrícolas de Londrina, PR, em 17 de maio de 2021.

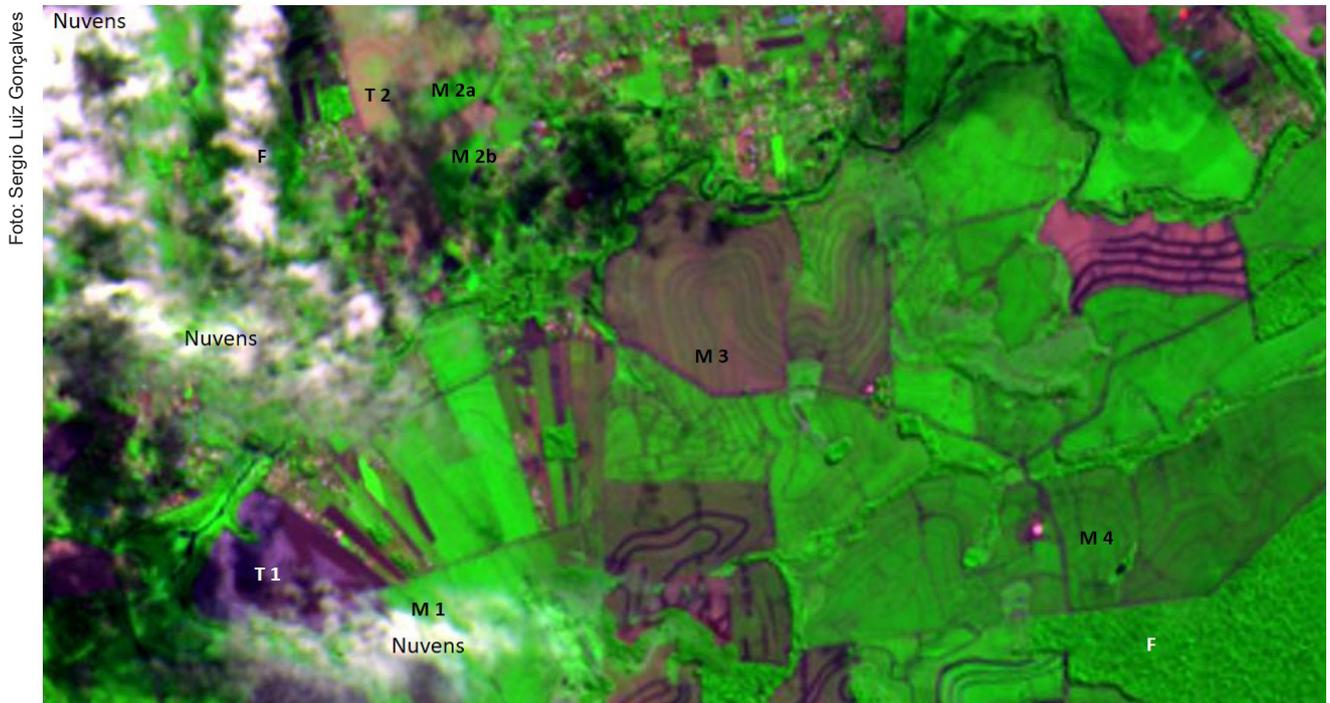


Figura 17. Recorte de imagem Sentinel-2, em falsa cor, RGB 12,8A, 4 (SWIR, NIR, R), em áreas agrícolas de Londrina, PR, em 17 de maio de 2021.



Figura 18. Recorte de imagem Sentinel-2, do índice de vegetação NDVI, de áreas agrícolas na região de Londrina, PR, em 17 de maio de 2021.

A data seguinte a ser avaliada foi 26 de junho de 2021. Do final de maio a meados de junho, o clima da região foi caracterizado por dias chuvosos. Todas as imagens do período de 22 de maio a 21 de junho mostraram a presença de nuvens entre 51 a 100%. Por isso, foi possível uma visualização normal apenas em 26 de junho. A Figura 19 é a composição do visível, que apesar de mostrar uma imagem escura, nela é possível perceber a evolução do ocorrido nas áreas. Nesse momento, as áreas de milho M1, M2a, M2b e M4 encontravam-se em desenvolvimento normal, mostrando um verde intenso. A área T1, agora encontrava-se em verde, semeada que fora com a cultura do trigo. A área T2, também em verde, mostrava a cultura do trigo também com um bom desenvolvimento. A área M3, por sua vez mostrava um verde intenso, porém com a cultura do milho, tendo sido semeada após a data de 17 de maio, provavelmente entre o final de maio e o início de junho. Pela Figura 20, do infravermelho próximo (NIR) é possível confirmar o desenvolvimento normal de todas as áreas, que mostravam, juntamente com as florestas, um vermelho característico de vegetação saudável. A Figura 21 (NDVI) confirma os bons índices de vegetação de todas as áreas acima citadas. A figura seguinte (Figura 22) é um recorte, em níveis de cinza, da Banda 12 do satélite Sentinel-2, na faixa do infravermelho de ondas curtas (SWIR), em 2190 nm. Nessa imagem é possível perceber que a refletância dos alvos agrícolas, trigo e milho, eram semelhantes e baixas, com tons escuros, mostrando vegetação saudável, em desenvolvimento normal.



Figura 19. Recorte de imagem Sentinel-2, em cor verdadeira, RGB 4,3,2, de áreas agrícolas da região de Londrina, PR, em 26 de junho de 2021.

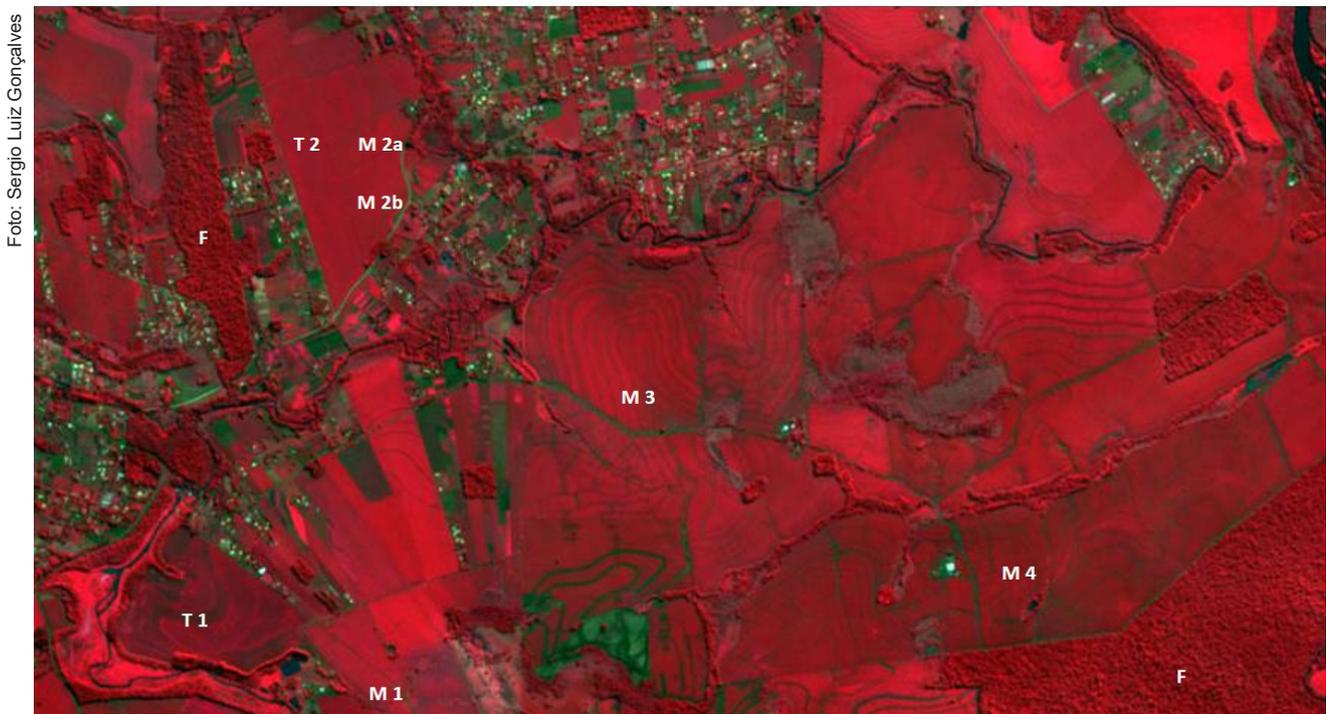


Figura 20. Recorte de imagem Sentinel-2 em falsa cor, RGB 8,4,3, de áreas agrícolas de Londrina, PR, em 26 de junho de 2021.

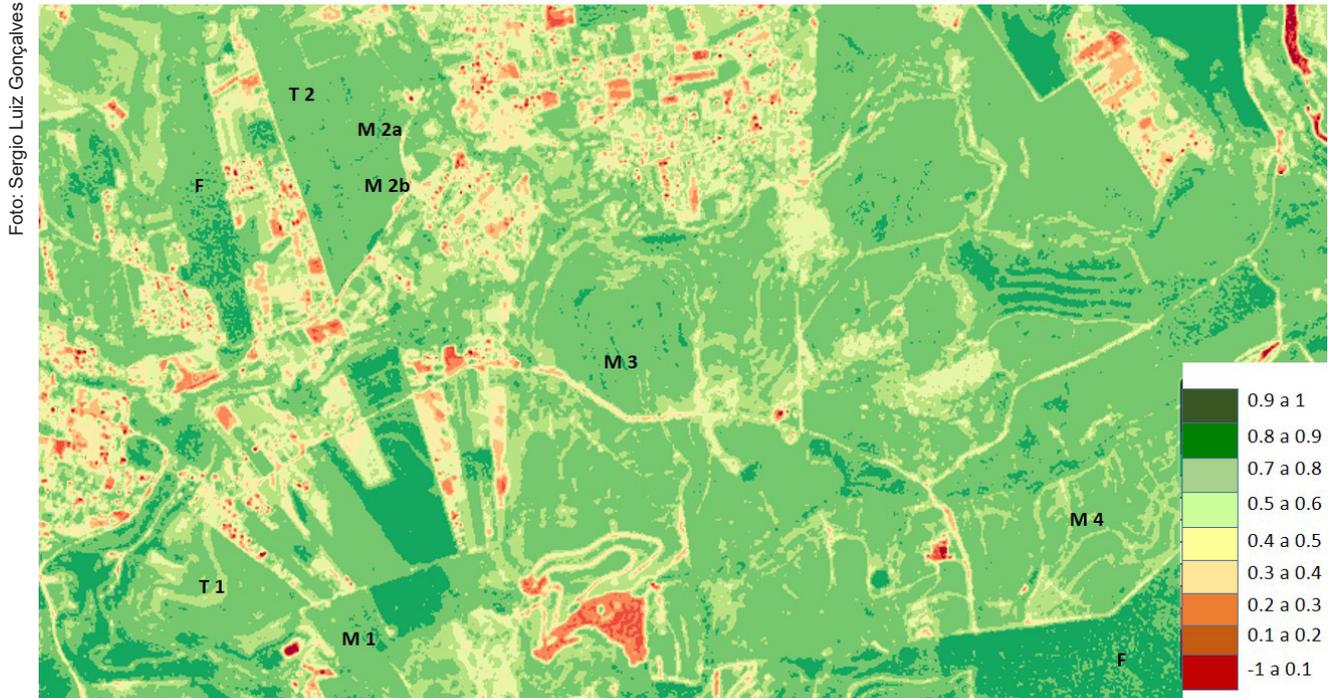


Figura 21. Recorte de imagem Sentinel-2, do índice de vegetação NDVI, de áreas agrícolas de Londrina, PR, em 26 de junho de 2021.

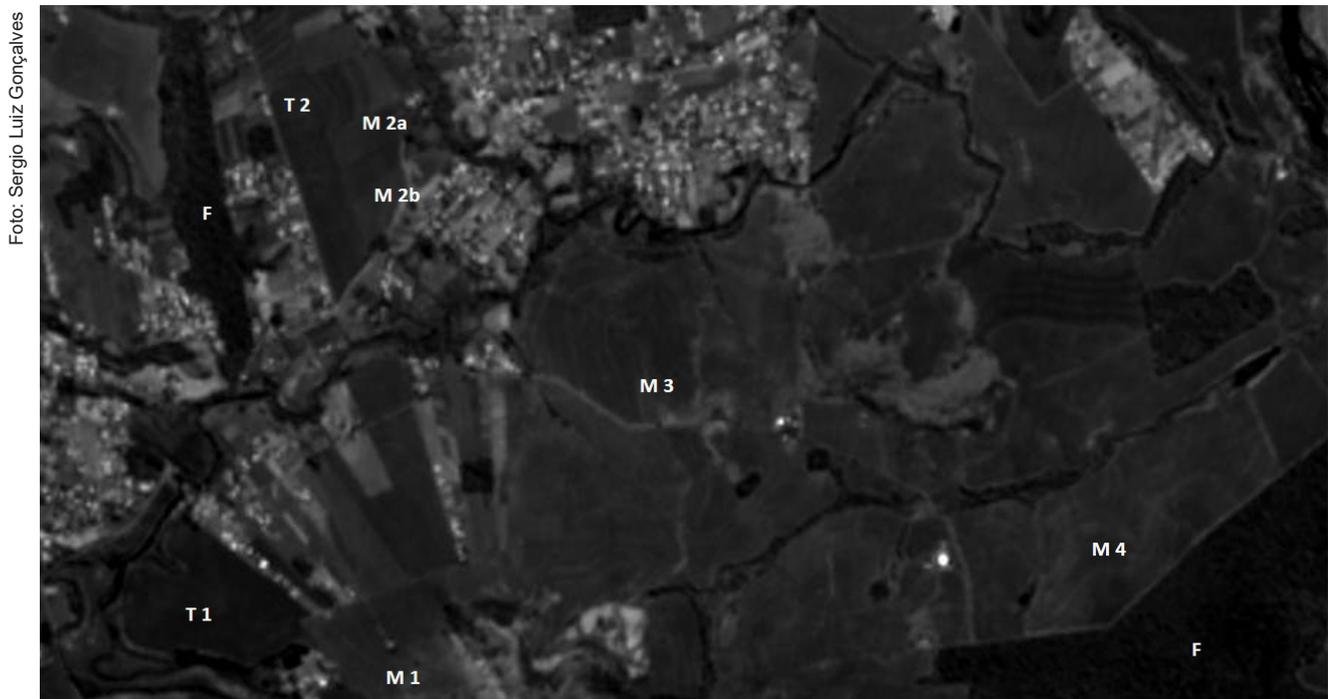


Figura 22. Recorte de imagem Sentinel-2, em preto e branco, do infravermelho de ondas curtas (B12; 2190 nm), de região de Londrina, PR, em 26 de junho de 2021, mostrando áreas agrícolas e florestas.

Com a evolução do tempo aconteceu a entrada de uma frente fria na região, que culminou com uma geada que pode ser considerada muito forte em alguns locais, principalmente nas baixadas. A região em estudo localiza-se próxima do Rio Tibagi, com altitudes, de modo geral, entre 400 e 500 m., um pouco inferiores àquelas de outras partes do município de Londrina. O resfriamento ocorreu aproximadamente entre 25 a 30 de junho, sendo que no dia 29 as temperaturas mínimas, registradas em Londrina, ficaram na faixa de 1,8 a 2,6°C e possivelmente tenham sido mais baixas ainda nas áreas estudadas, com altitudes na faixa de 450 m ou menos. As imagens disponíveis do satélite Sentinel-2 foram as de 26 de junho, já mostradas nas figuras 19, 20, 21 e 22 e posteriormente, de 01, 06 e 11 de julho, que serão mostradas na sequência. Além disso, as áreas foram acompanhadas no campo, em 12 de julho de 2021, para o registro fotográfico dos efeitos da geada sobre as áreas cultivadas. As figuras seguintes mostram as áreas em 01 de julho de 2021, na sequência de composição colorida (Figura 23) e a composição do infravermelho (NIR; Figura 24). Como era de se prever, as áreas de milho (M1, M2a, M2b, M3 e M4) mostraram um escurecimento significativo na composição colorida, notadamente na área M3, aquela semeada mais tardiamente, causada pela intensa queda de temperatura e a consequente destruição das folhas das plantas. No infravermelho próximo (NIR; Figura 24), as áreas de milho começam a perder a intensidade da cor vermelha, no entanto os impactos da geada ainda não ficam nítidos, visto que a imagem foi obtida quase que imediatamente após a mesma (1 de julho). No entanto, eles ficariam mais visíveis já na imagem de 6 de julho. O mesmos impactos não aconteceram na cultura do trigo, que estava ainda em estádios iniciais quando as baixas temperaturas ocorreram, porém não prejudicaram a cultura.



Figura 23. Recorte de imagem Sentinel-2, em cor verdadeira, RGB 4,3,2, de uma região agrícola de Londrina, PR, em 01 de julho de 2021, mostrando os impactos de baixas temperaturas sobre a cultura do milho safrinha (áreas M1, M2a, M2b, M3 e M4).

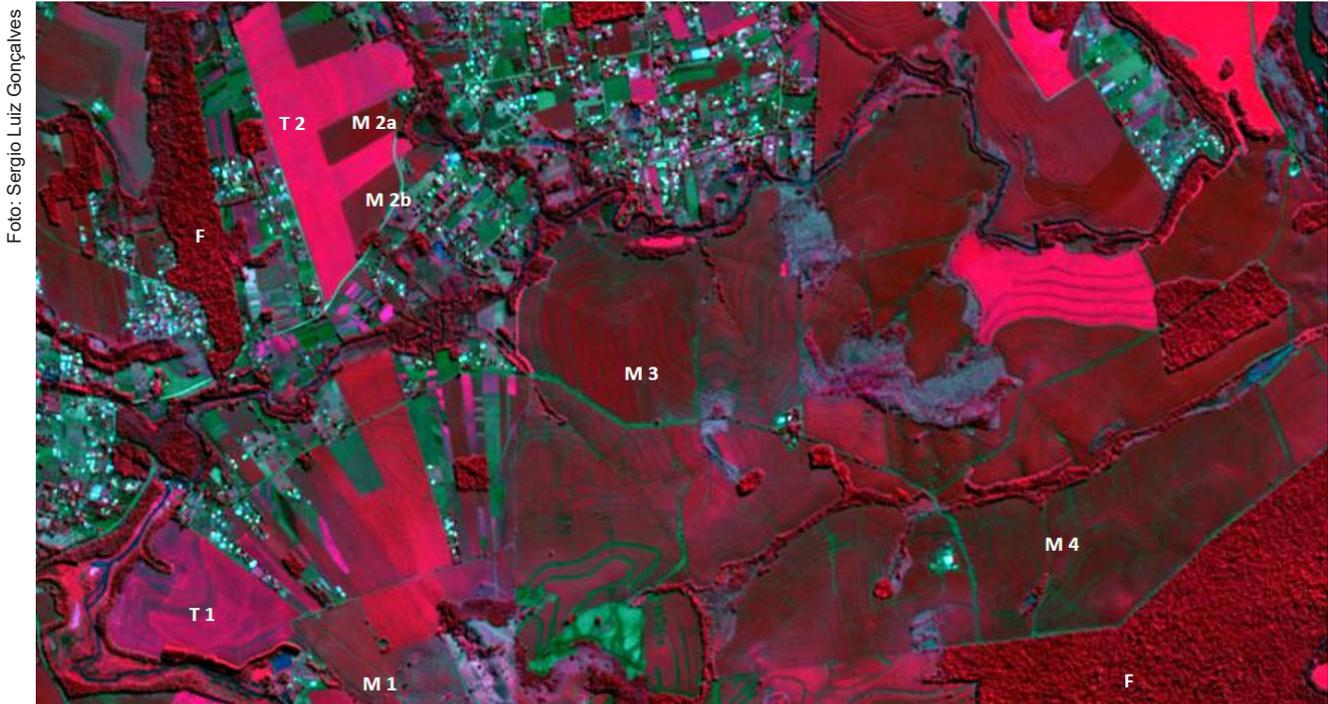


Figura 24. Recorte de imagem Sentinel-2, em falsa cor, RGB 8,4,3 (NIR), de uma região agrícola de Londrina, PR, em 01 de julho de 2021.

As figuras, na sequência, mostram as áreas em 06 de julho de 2021, primeiramente a de composição colorida (Figura 25), depois a do infravermelho próximo (NIR; Figura 26), do NDVI (Figura 27) e, por último, a imagem em preto e branco, da Banda 12, do infravermelho de ondas curtas (SWIR; Figura 28). Nesse momento as áreas de milho (M1, M2a, M2b, M3 e M4) mostram que perderam a sua tonalidade normal, contrastando significativamente com o verde natural do trigo e das florestas (T1, T2 e F), enquanto que o NDVI passou a mostrar os efeitos da geadas sobre as áreas de milho. Por último foi adicionada a imagem do NDVI de 11 de julho de 2021 (Figura 29), deixando nítida a evolução do efeito da geada sobre o nível de verde das plantas de milho.

Em 06 de julho de 2021, a área denominada Milho 1, apresentava uma cor mais clara e esbranquiçada que as outras áreas de milho, sendo que a diferença na tonalidade de cor é nítida na imagem colorida (Figura 25). Além disso, o seu NDVI (Figura 27) era o mais baixo entre todas as áreas de milho. Tal área de milho foi a primeira a ser semeada na região (Figura 7, de 23 de março). No entanto, no momento da geada, as espigas já estavam bastante adiantadas, apresentando grãos fariináceos, como mostra Figura 30, indicando que o potencial de perdas de produção não foi significativo. Ainda na Figura 30, há uma visão da divisa entre as áreas de trigo e milho, identificadas como T2 e M2a, em 13 de julho de 2021. Esse milho foi identificado já na imagem de 27 de abril (Figura 13), indicando a semeadura em abril, sendo que no momento da geada os grãos já estavam formados e o potencial de perdas foi pequeno. Além disso, na área identificada como M3 (Figura 25), semeada mais tarde, a geada ocorreu num momento em que a cultura ainda é muito sensível às baixas temperaturas, sendo que os grãos ainda não estavam definitivamente formados ou prontos para a colheita, apresentando, portanto, potencial de perdas. Essa área aparece nas imagens de satélite apenas em 26 de junho (Figura 19), indicando que a semeadura ocorreu tardiamente, após 17 de maio. O seu desenvolvimento era bom, mostrando potencial de alta produtividade. Porém, em função do desenvolvimento de grãos ainda estar incompleto, principalmente nas baixadas as perdas de milho foram consideráveis.

Ainda analisando a data de 06 de julho, na Figura 26, do infravermelho próximo, ficou clara a interferência das baixas temperaturas sobre as áreas de milho (M1, M2a, M2b, M3 e M4), que perderam a tonalidade vermelha de uma cultura normal e ganharam tons de verde claro (ciano), característicos de solo exposto ou sem vegetação. As áreas de trigo e as florestas continuaram com a tonalidade vermelha, indicando vegetação saudável. Isto pode ser constatado pelo NDVI correspondente (Figura 27), que mostra índices positivos apenas nas áreas de trigo e nas florestas. A Figura 28 é a imagem da banda 12, do satélite Sentinel-2, correspondente à data de 06 de julho. Tal banda mostra a faixa do espectro eletromagnético em 2190 nm, do infravermelho de ondas curtas. Aumentos significativos de reflectância nesta faixa da REM, podem indicar estresses sobre as plantas. As baixas temperaturas, causando destruição e desidratação de folhas, provocaram redução dos níveis de água das mesmas, diminuindo níveis de absorção de energia e conseqüentemente aumentando os seus níveis de reflectância. Isso resultou em menores níveis de cinza na imagem, gerando tons mais claros. Neste caso foi possível fazer a comparação da reflectância das áreas de trigo e as florestas (T1, T2 e F), cujas plantas continuaram a ter um desenvolvimento normal, com reflectância menor e tons de cinza mais escuros, com as áreas de milho (M1, M2a, M2b, M3 e M4), em tons de cinza mais claros. A Figura 29, do NDVI, confirma a redução significativa dos índices de vegetação na áreas de milho, alguns dias depois, já em 11 de julho de 2021.



Foto: Sergio Luiz Gonçalves

Figura 25. Recorte de imagem Sentinel-2, em cor verdadeira, RGB 4,3,2, em 06 de julho de 2021, uma semana após a geada de 29 de junho, em uma região agrícola de Londrina, PR.



Figura 26. Recorte de imagem Sentinel-2, em falsa cor, RGB 8,4,3 (NIR), de área atingida por geada, em uma região agrícola de Londrina, PR, em 06 de julho de 2021.

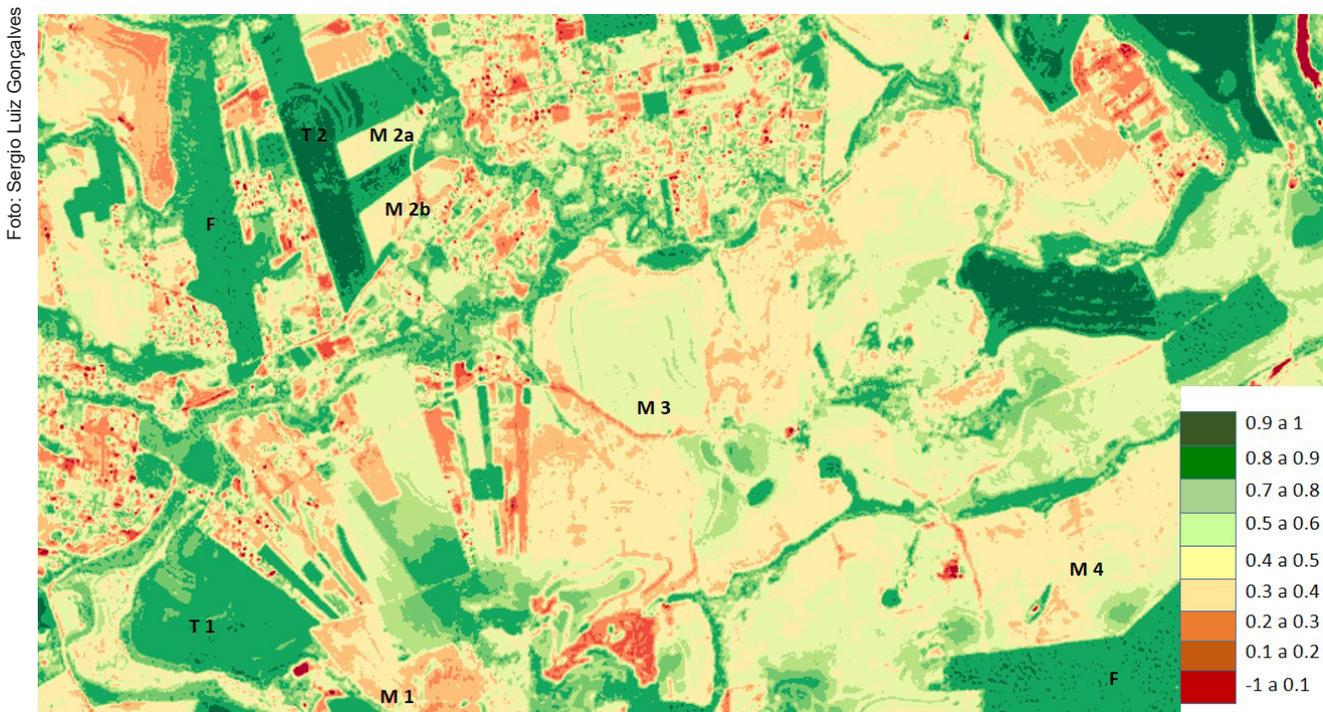


Figura 27. Recorte de imagem Sentinel-2, do índice de vegetação NDVI, em áreas agrícolas de Londrina, PR, em 06 de julho de 2021.

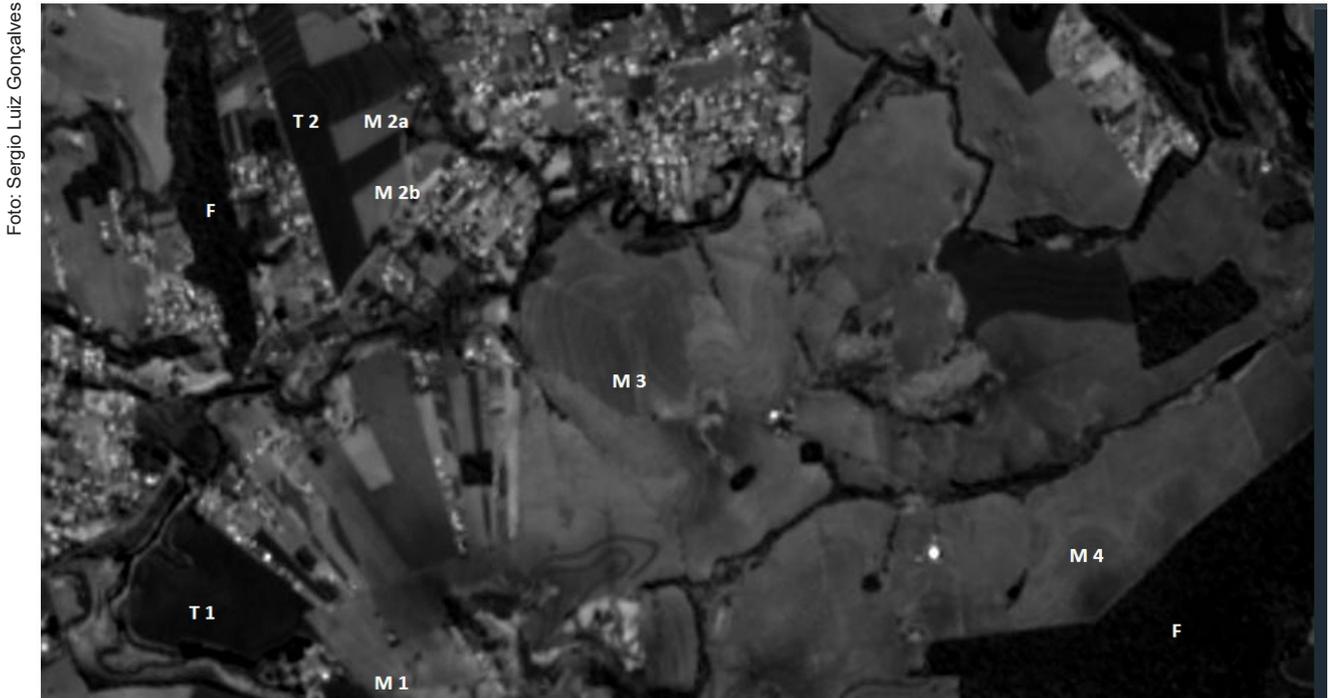


Figura 28. Recorte de imagem Sentinel-2, em preto e branco, do infravermelho de ondas curtas (banda 12; 2190 nm), em áreas agrícolas de Londrina, PR, mostrando impactos da geada (tons de cinza mais claros) de 29 de junho sobre o milho segunda safra (áreas M1, M2a, M2b, M3 e M4) em contraste com áreas de vegetação saudável (trigo, em T1 e T2) e florestas (F), em 06 de julho de 2021.



Figura 29. Recorte de imagem Sentinel-2, do índice de vegetação NDVI, após a geada de 29 de junho, em áreas agrícolas de Londrina, PR, em 11 de julho de 2021.



Figura 30. Áreas de trigo e milho, em 13 de julho de 2021, mostrando que o trigo (T2), no momento da geadas, ainda estava em estádios iniciais de desenvolvimento. O milho (em M1 e M2), por sua vez, em início de maturação, teve uma diminuição forçada de seus níveis de verde, com injúrias causadas pela geadas ocorrida em 29 de junho de 2021. Porém, suas espigas já estavam em estádio adiantado de desenvolvimento. Na área M3 as perdas foram significativas, visto que as espigas ainda estavam em início de formação de grãos. Áreas cultivadas em região agrícola de Londrina-PR, safra 2021.

Com o passar do tempo, na data de 28 de julho, quando as áreas de trigo estavam em início de seu período reprodutivo, foi realizada uma vistoria de campo para a captura de fotos. Um exemplo pode ser observado na Figura 31. A área de trigo T1 continuava se desenvolvendo satisfatoriamente. As áreas de milho M1 e M4, ambas semeadas mais cedo, um mês após a ocorrência da geadas de 29 de junho encontravam-se ainda no campo, aguardando o momento da colheita. As suas espigas encontravam-se em grãos farináceos, aparentemente sem perdas significativas. A área M3, por sua vez, foi bastante prejudicada, tendo uma significativa interrupção no desenvolvimento das plantas causada pela geadas, que interrompeu definitivamente o desenvolvimento de grãos, frustrando a estimativa inicial de produção.

Foto: Sergio Luiz Gonçalves



Figura 31. Áreas de trigo e milho, mostrando o trigo já em início de período reprodutivo (T1). O milho, nas áreas M1 e M4, em 28 de julho estavam em estágio avançado de maturação e aguardando o momento da colheita. A área M3, no entanto, estava com muitas espigas em processo de paralisação do seu desenvolvimento, pela interrupção do desenvolvimento das plantas, que foram prejudicadas pela geada de 29 de junho.

A data seguinte apresentada neste relato foi 10 de agosto de 2021. Nas Figuras 32, 33 e 34, podem ser vistos a composição colorida, a composição do infravermelho e o NDVI de todas as áreas. Exclusivamente pela Figura 32, a seguir, observa-se na composição colorida, dentro das áreas estudadas, que apesar de um pouco escura pelas condições do tempo no dia 10 de agosto, as áreas verdes continuavam como nas imagens do pós-geada. Eram caracterizadas apenas pelas florestas e pela cultura do trigo. As áreas de milho, M1, M2a, M3 e M4, encontravam-se ainda no campo, porém sua vegetação estava sem vida, caracterizada por ausência de clorofila nas folhas das plantas, que se encontravam secas nesse momento. Isto é confirmado na Figura 33, que é a composição do infravermelho (NIR), onde a vegetação saudável encontra-se na cor vermelha, notadamente o trigo e as florestas. As áreas de milho, por sua vez mostram a coloração verde claro. A Figura 34 vem a confirmar aquilo que foi afirmado acima, onde os índices de vegetação (NDVI) de plantas saudáveis são vistos nas áreas de trigo e nas florestas, enquanto que nas áreas de milho indicam índices de vegetação negativos.

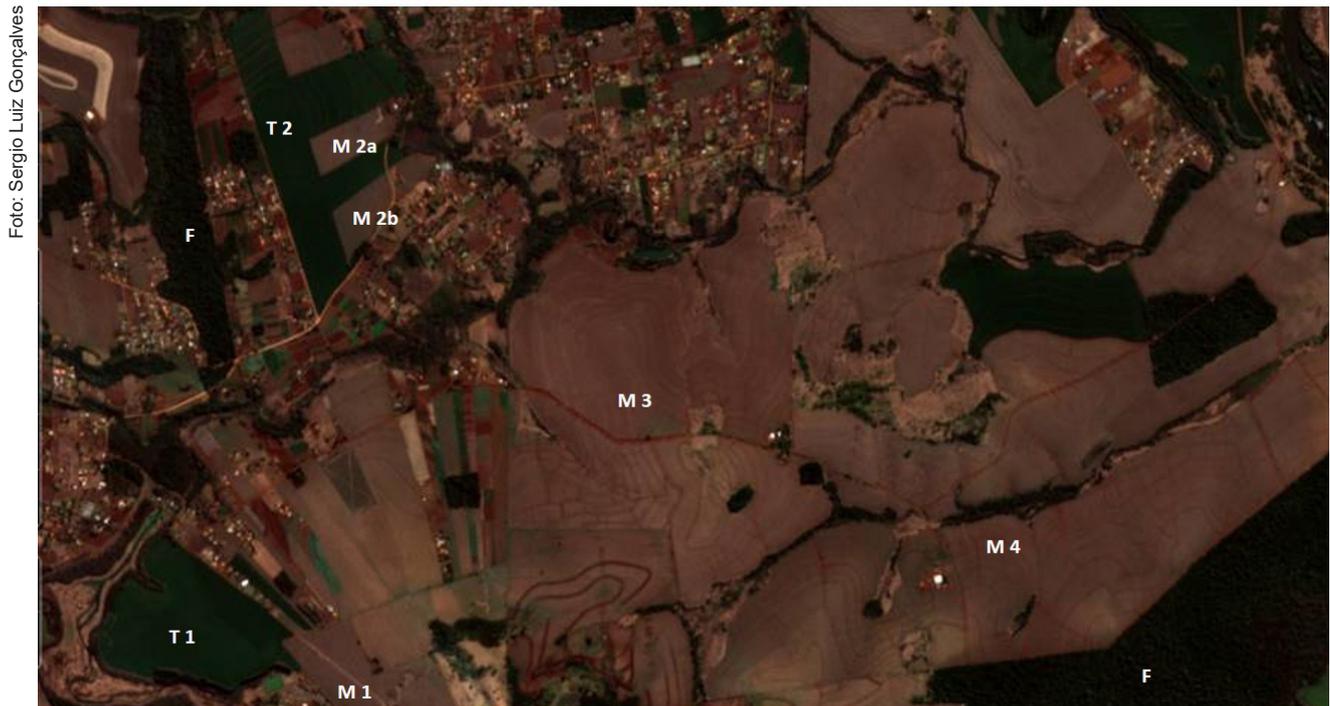


Figura 32. Recorte de imagem Sentinel-2, em cor verdadeira, RGB 4,3,2, de áreas agrícolas de Londrina, PR, em 10 de agosto de 2021.



Figura 33. Recorte de imagem Sentinel-2, em falsa cor, RGB 8,4,3 (NIR), de áreas agrícolas de Londrina, PR, em 10 de agosto de 2021.

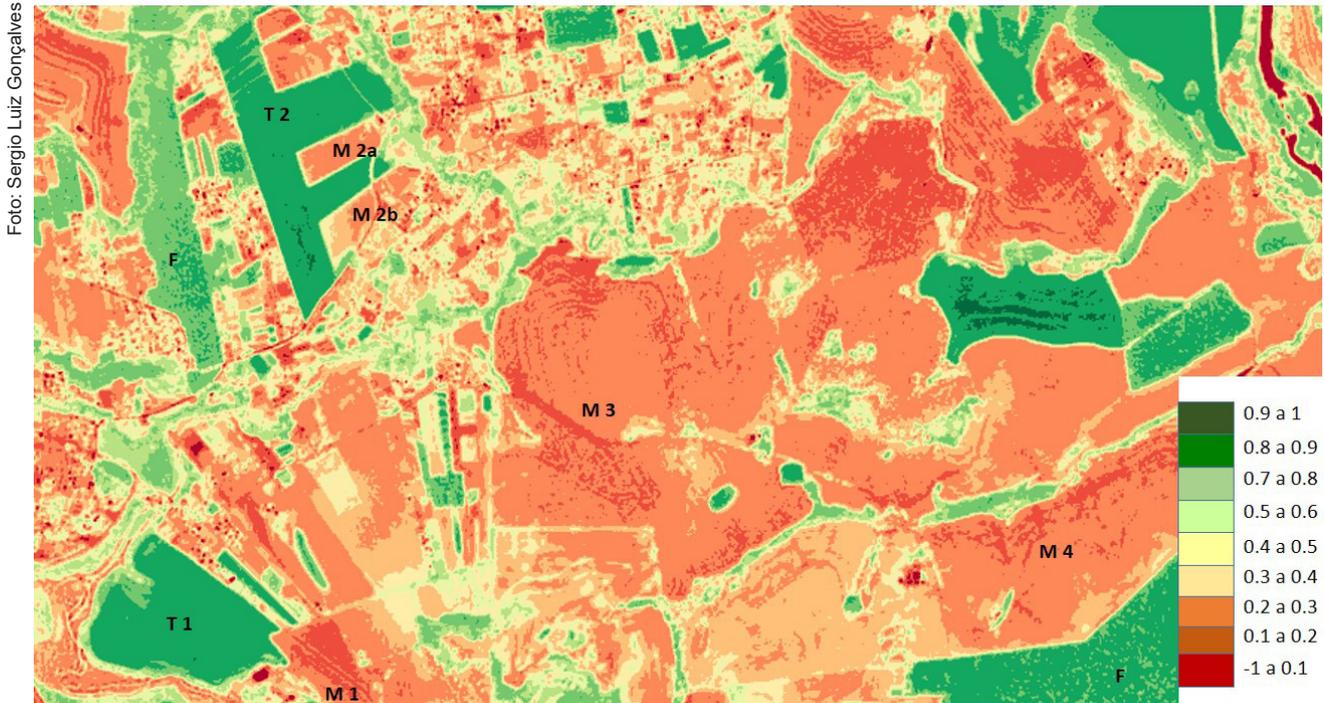


Figura 34. Recorte de imagem Sentinel-2, do índice de vegetação NDVI, em áreas agrícolas de Londrina, PR, em 10 de agosto de 2021.

Para continuar o monitoramento e a verificação da dinâmica espectral do alvos, as áreas foram vistoriadas novamente, em nível de campo, em 19 de agosto de 2021. As fotografias a seguir mostram o desenvolvimento das culturas naquele momento. As áreas de trigo, conforme a Figura 35 (à esquerda e à direita), encontravam-se em meio à formação dos grãos. Aparentemente as quedas de temperatura que atingiram a região não haviam deixado sinais de prejuízos. No entanto, o monitoramento das áreas de trigo foi realizado durante todo o seu ciclo, pelo acompanhamento de campo e pelas imagens de satélite, para a verificação de possíveis prejuízos causados às plantas e possíveis quedas de rendimento, principalmente nas baixadas. Com relação ao milho, as áreas monitoradas encontravam-se em parte colhidas e em parte ainda por colher. A primeira área, M1, já havia sido colhida entre 10 e 19 de agosto. As fotos seguintes (Figura 36) foram capturadas em 19 de agosto, onde pode-se ver a grande quantidade de palha e a ausência de revolvimento do solo na área M1. A outra área de milho, M2a, também havia sido colhida, porém o seu solo fora revolvido, como pode ser visto na mesma figura. Esses dois tipos de manejo do solo ficaram evidenciados nas imagens de satélite de 20 de agosto, que será mostrada na sequência. A área de milho semeada tardiamente (M3) confirmava em 19 de agosto, os efeitos danosos da geada de 29 de junho de 2021 (Figura 37). Na área denominada M4, a colheita não havia sido realizada ainda, porém os danos causados pela geada foram reduzidos.



Figura 35. Área de trigo em 19 de agosto de 2021, em estágio de desenvolvimento de grãos.



Figura 36. Áreas de milho já colhidas, em 19 de agosto de 2021, apenas com palhada (M1) e com revolvimento do solo (M2a).

Foto: Sergio Luiz Gonçalves



Figura 37. Área de milho (M3), em 19 de agosto de 2021, mostrando os danos causados pela geada de 29 de junho enquanto a área M4, semeada mais cedo, apresentou menor nível de dano.

A seguir, vamos mostrar imagens de 20 de agosto de 2021, destacando as mudanças espectrais em função das áreas de milho recém colhidas até esse momento, conforme o que pôde ser observado na Figura 36. Lembrando que o milho da área M1 e o da M2a, já estavam colhidos em 19 de agosto. O milho M2b só foi colhido após 20 e antes de 31 de agosto. A Figura 38, a seguir, é a imagem do satélite Sentinel de 20 de agosto, mostrando, no lado esquerdo, a composição colorida, onde a área M1 aparece em tons esbranquiçados em virtude da palhada da cultura, que sendo formada por material vegetativo já seco, apresentava significativa reflectância, com nítida tendência ao branco. No seu lado direito, por sua vez é a mesma imagem, só que vista da banda do infravermelho próximo (NIR), onde as palhadas também mostram tons esbranquiçados, porém voltados para tons claros de azul e verde (ciano). A Figura 39, na sequência, mostra detalhes das duas áreas de milho denominadas M2. Na M2a, conforme a Figura 36 já havia sido colhida em 19 de agosto e o seu solo havia sido revolvido com implementos agrícolas. Isso trouxe uma diferença espectral com relação à área M2b, que ainda não havia sido colhida, tanto na imagem colorida (à esquerda) quanto na do infravermelho próximo (à direita). A Figura 40 mostra um detalhe da composição do infravermelho próximo (NIR), de parte das áreas de milho M3 e M4, em tons esverdeados, que apesar de estarem prontas para a colheita, nesse momento ainda não haviam sido colhidas.



Figura 38. Recortes de imagem Sentinel-2, à esquerda em cor verdadeira (RGB 4,3,2) e, à direita, do infravermelho próximo (NIR, RGB 8,4,3), de 20 de agosto de 2021, mostrando a área de milho M1, já colhida, em tons claros, próximos de branco e verde azulado (ciano), respectivamente.



Figura 39. Composição colorida (à esquerda) e do infravermelho próximo (NIR) à direita, de 20 de agosto de 2021, mostrando diferentes tons de cores entre a área de milho M2a, já colhida e a M2b, ainda não colhida.

Foto: Sergio Luiz Gonçalves

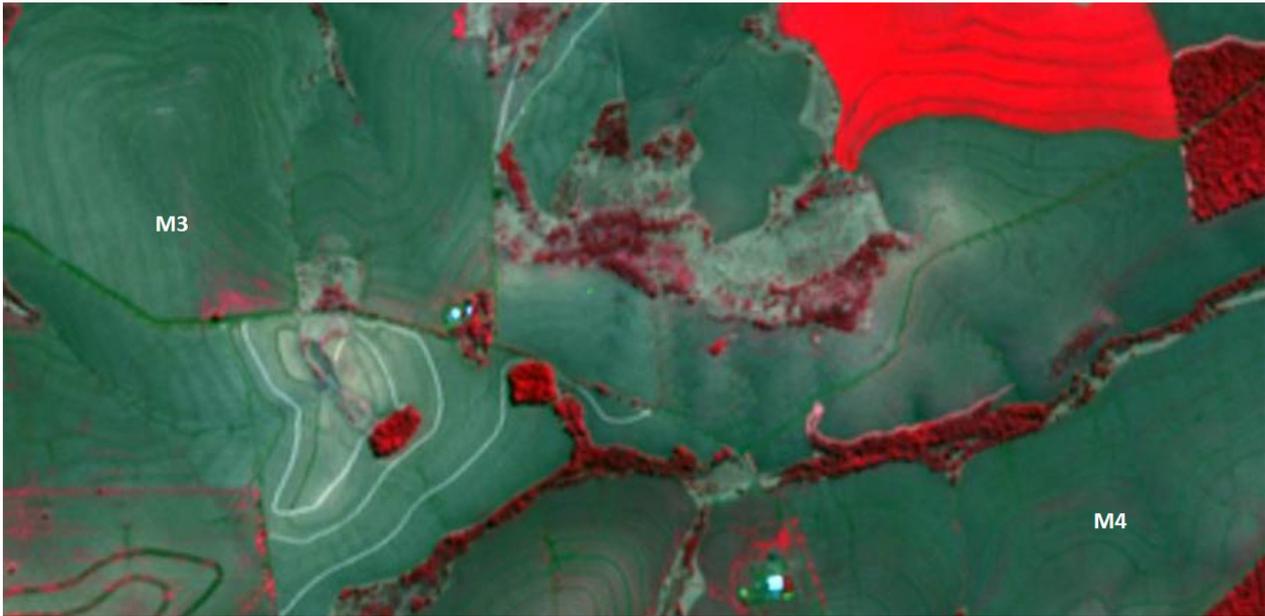


Figura 40. Recorte de imagem Sentinel-2 em falsa cor RGB 8,4,3 (NIR), em 20 de agosto de 2021, de parte das áreas de milho M3 e M4, prontas para a colheita.

Com a evolução do tempo, foram obtidas novas imagens das áreas, agora em 30 de agosto de 2021 e a complementação com a captura de novas fotos em 31 de agosto de 2021. A Figura 41 é a composição colorida do visível, mostrando todas as áreas em 30 de agosto de 2021. As áreas de milho, encontravam em momento de colheita. A segunda parte da área de milho M2 (M2b), nesse momento havia sido colhida. Com relação às áreas colhidas de milho é possível perceber diferenças significativas na imagem, entre as três formas de manejo pós-colheita. A área colhida M2a, com o revolvimento do solo, mostra-se diferente da segunda área, M2b, onde após a colheita não houve revolvimento do solo, ficando a mesma, suja com restos culturais do milho e ervas daninhas (Figura 41 e parte da 42). A área de milho M1, colhida antes das demais apresentava ainda tons perto de branco em função da grande quantidade de palha deixada no campo após a colheita. As áreas de milho M3 e M4 ainda não haviam sido colhidas até o dia 30. Isto somente ocorreria a partir do dia 31. As áreas mostradas na Figura 43 começaram a ser colhidas a partir de 31 de agosto, operações ainda não visualizadas na imagem Sentinel-2 de 30 de agosto. As áreas de trigo (T1 e T2), por sua vez, encontravam-se na metade da formação dos grãos, sendo que, nelas, entre 20 e 30 de agosto começou a diminuir a intensidade da cor verde. Parte da Figura 42 mostra a área de trigo T1 em 31 de agosto de 2021.



Figura 41. Recorte de imagem Sentinel-2, em cor verdadeira, RGB 4,3,2, em áreas agrícolas de Londrina, PR, em de 30 de agosto de 2021, mostrando áreas de milho colhidas e áreas de trigo e milho, não colhidas.

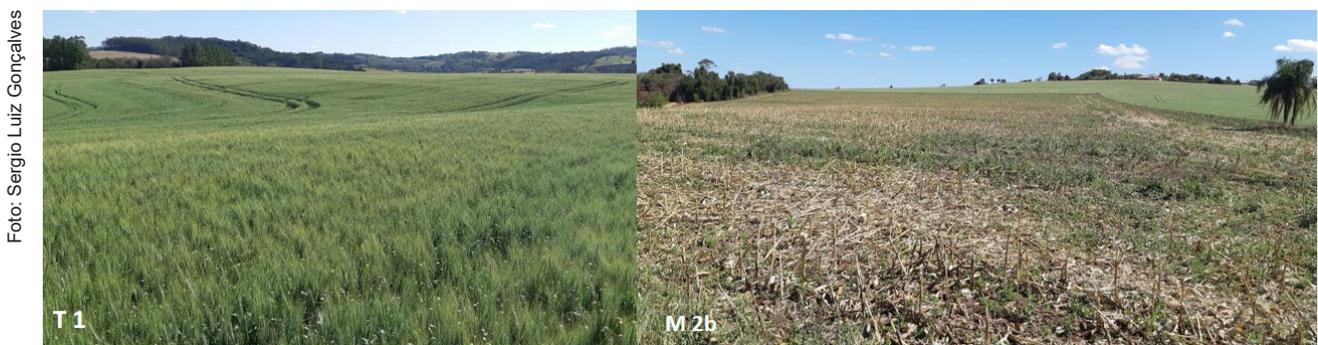


Figura 42. Área de trigo (T1), em estágio reprodutivo, com desenvolvimento parcial de grãos e área de milho (M2b), após a colheita, onde se observa o solo coberto por palha e ervas daninhas, sem o revolvimento do solo. Fotos de 31 de agosto de 2021.



Figura 43. Áreas de milho, M3 e M4, em processo de início de colheita. Fotos de 31 de agosto de 2021.

As Figuras 44 e 45, da composição do visível e do infravermelho próximo (NIR), respectivamente, dá um panorama geral das áreas em 4 de setembro de 2021. A imagem Sentinel-2, nesse dia, continha 18% de nuvens, porém permitiu a visualização das cenas. Nas áreas de trigo (T1 e T2) a intensidade do verde continuou caindo, o que pode ser visto na composição colorida do visível. Isso pode ser confirmado na imagem do infravermelho próximo, com a diminuição na intensidade do vermelho. Ainda nas Figuras 44 e 45 é possível destacar as áreas colhidas de milho. A reflectância observada em cada área tem conexão com tipo de preparo dado aos solos após as colheitas. Na área M2a, onde houve o revolvimento do solo, na área M3, onde a quantidade de palha visível não foi alta e na parte não colhida da M4, as reflectâncias foram menores, pelos tons mais escuros das imagens. As áreas onde não houve qualquer revolvimento do solo, como a M1, a M2b e a parte colhida da M4, mostraram uma reflectância maior, com tonalidades mais claras na cor.



Figura 44. Recortes de imagem Sentinel-2, em composição colorida (RGB 4,3,2), de 4 de setembro de 2021, mostrando áreas de milho colhidas, com variação nos tons de cores, em função do manejo dado no pós-colheita e parte de área de milho e áreas de trigo não colhidas.



Figura 45. Composição do infravermelho próximo (NIR; RGB 8,4,3), de 4 de setembro de 2021, mostrando áreas de milho colhidas, com variação nos tons de cores, em função do manejo dados no pós-colheita. Há ainda, parte de área de milho e áreas de trigo não colhidas.

Com a evolução do tempo foram vistoriadas as áreas de trigo em 12 de setembro para a observância de vestígios de prejuízos por geada. Isto poderia ser observado nas baixadas, com espigas esbranquiçadas e com ausência de grãos. Porém, isto não foi possível constatar, visto que os grãos estavam com um desenvolvimento normal, praticamente formados, ainda em fase de endurecimento, enquanto que as plantas estavam no início do final de ciclo, com mudança de cor para tons dourados. As fotos a seguir (Figura 46) trazem detalhes das áreas T1 e T2, do preparo do manejo do solo ocorrido em cada uma delas. À direita, detalhes da ausência de palha, indicando preparo de solo antes da semeadura do trigo na área T1. Na área de trigo T2, a presença de palha de soja indica a semeadura direta do trigo.



Figura 46. Áreas de trigo (T1 e T2), em 12 de setembro de 2021, no momento em que os grãos já estavam formados e em maturação. À direita, detalhes de manejo, mostrando ausência de palhada e início de preparo de solo para a semeadura do trigo na área T 1 e semeadura direta do trigo na área T 2.

Com as observações de campo e o decorrer do tempo chegou o período de colheita, sem que as lavouras de trigo tenham apresentado sinais de quedas de rendimentos significativos, em função das baixas temperaturas verificadas, principalmente em 29 de junho de 2021. A foto a seguir (Figura 47) mostra o início da colheita na área T1, em 18 de setembro de 2021.



Figura 47. Área de trigo (T1), em início de colheita.

A última data do acompanhamento feito neste trabalho foi 24 de setembro. A Figura 48 é a imagem do infravermelho próximo (NIR) de 24 de setembro de 2021, momento em que todas as áreas acompanhadas neste trabalho estavam colhidas. Essa faixa do espectro eletromagnético mostra os melhores contrastes em áreas vegetadas e apresenta os maiores níveis de reflectância. Dentro desta imagem é possível comparar, pelas diferentes reflectâncias dos alvos, a situação dos solos num momento de entressafra, período que antecede a safra de verão. As áreas de trigo (T1 e T2), apresentam-se em tons mais claros, em função da significativa reflectância da palha. A cor da palhada do trigo, nesta imagem mostra tons levemente dourados. As áreas de milho (M2b e parte da M4) sem o revolvimento do solo, apresentam uma reflectância um pouco menor em comparação com a do trigo, enquanto que aquelas onde houve algum tipo de preparo do solo no pós-colheita (M2a e parte da M4), as cores são mais escuras em função da reflectância menor. A área de milho M3, apesar de não ter recebido o revolvimento do solo, em função dos efeitos da geada, que impediram o desenvolvimento das plantas, mostrou ao final, pouca quantidade de palha, sendo que na imagem há uma participação do componente solo na reflectância observada, ficando também com tons escuros.



Figura 48. Recorte de imagem Sentinel-2, em falsa cor (NIR; RGB 8,4,3), de 24 de setembro de 2021, após a colheita de todas as áreas acompanhadas, onde se vê diferenças significativas de reflectância, com variados tons de cores no pós-colheita, de diferentes culturas e diferentes manejos dos solos.

Discussão

Ao final deste trabalho de interpretação de imagens de satélite, uma das constatações importantes a respeito do uso de sensoriamento remoto é que uma importante limitação que ocorre não está necessariamente ligada ao satélite ou aos sensores que o acompanham. A presença de nuvens em muitas imagens é um fator complicador, reduzindo o número daquelas que poderiam ser usadas num trabalho desta natureza. O monitoramento de culturas anuais, principalmente aquelas cultivadas no verão, pode ser prejudicado em momentos decisivos. Isso torna fundamental a resolução temporal dos satélites. Quanto menor for o tempo de revisita de um satélite, menor é a probabilidade de interferências das nuvens. O satélite Sentinel-2, na verdade formado por dois satélites independentes, foram planejados para que se tenha imagens num local, de cinco em cinco dias. Essa resolução temporal é bastante vantajosa quando se compara com o tempo de revisita de 16 dias dos satélites Landsat. Entre 21 de fevereiro e 24 de setembro, o tempo de duração deste trabalho, foram geradas imagens Sentinel-2 em 30 datas, das quais, 15 foram utilizadas, sendo que 10, apesar de não apresentarem nuvens, foram descartadas por não serem consideradas fundamentais. Isso mostra que o número de imagens utilizáveis foi alto. No entanto, mesmo assim, o acaso da presença de nuvens teve influência na qualidade do trabalho. A cultura do trigo foi acompanhada de maneira satisfatória até o início de desenvolvimento de grãos. Passou a ter mudanças espectrais nas imagens a partir de meados a final de agosto, momento em que começaram a mudar a tonalidade de cor para tons dourados. Porém, apenas a imagem de 4 de setembro, com 18% de nuvens, pôde ser utilizada para o acompanhamento final da maturação e da colheita da cultura. As imagens de 9, 14 e 19 de setembro apresentaram muitas nuvens, tendo sido possível usar apenas a de 24 de setembro, já após a colheita, para a visualização da palhada da cultura.

Apesar da possibilidade das nuvens, estudos como este exemplificam a grande utilidade de um satélite com as características do Sentinel-2 para acompanhamento e monitoramento de vegetação e alvos agrícolas. Um ponto a ser destacado é a resolução espacial do sensor. Nas bandas mais utilizadas neste trabalho (Drusch et al., 2012), as do visível (bandas 2, 3 e 4, entre 490 a 665 nm) e a do infravermelho próximo (NIR, banda 8, em 842 nm), a resolução espacial é de 10m. Tal resolução espacial é um avanço em comparação com a de outros satélites, incluindo o Landsat. Neste trabalho, as comparações foram feitas dentro de cada imagem, sendo possível distinguir, com clareza, tanto no visível quanto no infravermelho próximo, as diferenças entre culturas, florestas, matas ciliares, corpos hídricos e solos. O índice de vegetação NDVI, também obtido a partir das bandas espectrais dessa faixa do espectro eletromagnético, ou seja, do vermelho e do infravermelho próximo, foi muito útil na complementação das interpretações de imagens. Outra faixa importante do espectro eletromagnético utilizada neste trabalho foi aquela que incluiu a faixa do infravermelho de ondas curtas, em composição falsa cor. Esta foi obtida basicamente com a banda 12 (2190 nm, com resolução espacial de 20m), juntamente com a banda 8A (865 nm, do infravermelho próximo, também com resolução espacial de 20m) e a banda 4 (do vermelho, a 665 nm, com resolução espacial de 10m). Essa composição, apesar de usar duas bandas do infravermelho, enfatiza o infravermelho de ondas curtas, também com grande potencial de identificação de culturas (neste caso a vegetação aparece em verde) e estresses, onde a água líquida presente nas folhas exerce o controle do padrão de reflectância (Sano et al., 2019). Particularmente útil foi a utilização da banda 12, apenas, para a visualização de seus tons de cinza, no estudo da geada de 29 de junho de 2021. Em comparação, as reflectâncias das florestas, trigo e milho segunda safra, do dia 26 de junho de 2021 (Figura 28) mostram semelhanças, com tons de cinza mais escuros, por se tratar de vegetação saudável, rica em água em suas folhas. No entanto, na data de 6 de julho, após a geada, apenas o milho segunda safra teve um clareamento significativo da imagem em preto e branco, indicando

elevação de reflectância, causada pela ausência de água nas folhas, já desidratadas e impedidas de absorver energia. Isso mostra um potencial significativo do uso dessa faixa da REM para estudos de estresses, neste caso, o estresse por baixas temperaturas. Na Tabela 1 está a evolução do NDVI das áreas de trigo e milho, mostrando a sua diminuição nas áreas de milho, após a geada de 29 de junho de 2021.

Tabela 1. Evolução do índice de vegetação (NDVI) nas áreas estudadas, desde a semeadura estimada até a colheita.

Área	Cultura	Semeadura estimada	NDVI				
			27/05/2021	29/06/2021	06/07/2021	26/07/2021	19/09/2021
T1	Trigo	início jun	0,14	0,67	0,75	0,79	0,19
T2	Trigo	final mai	0,33	0,73	0,79	0,81	0,18
M1	Milho	meados mar	0,70	0,68	0,39	0,18	0,21
M2a	Milho	1ª quinz abr	0,68	0,71	0,42	0,24	0,16
M2b	Milho	1ª quinz abr	0,68	0,70	0,41	0,27	0,23
M3	Milho	1ª quinz mai	0,46	0,70	0,47	0,22	0,16
M4	Milho	2ª quinz abr	0,66	0,68	0,43	0,23	0,17

Fonte: Land Viewer (2021).

Outro ponto a ser destacado foram as diferenças dos solos, notadamente no que diz respeito ao que ocorre na superfície deles. Na região estudada predominam solos argilosos. Os diferentes manejos adotados pelo agricultor, possibilitaram diferentes interpretações nas imagens de satélite. Foi possível a diferenciação entre áreas de plantio direto e plantio convencional, solos com algum preparo ou expostos, com aplicações de corretivos e aqueles com muita ou pouca palha. Além disso, as análises das composições coloridas, com o auxílio do NDVI, permitiram uma aproximação razoável das datas de semeadura em cada área. Ainda conforme a Tabela 1, é possível acompanhar o momento provável da semeadura, dos períodos intermediários e da colheita. Esse tipo de conhecimento poderá ser bastante útil em perícias de crédito rural e seguro agrícola, podendo ser de grande valor em laudos de peritos para programas de governo e de seguradoras particulares.

Pelo acompanhamento feito e pelas épocas de semeadura realizadas pelos agricultores, foi possível definir que a severa geada que ocorreu em 29 de junho de 2021, atingiu as lavouras de trigo em estádios iniciais, ainda em estabelecimento no campo. Por isso, as lavouras de trigo tiveram um desenvolvimento normal, não havendo sinais de prejuízos detectados, tanto no campo quanto pelas próprias imagens do satélite. O milho, por sua vez, por ser extremamente sensível a baixas temperaturas, teve as suas perdas identificadas tanto no campo, quanto pelas imagens do satélite, com sinais claros sendo visualizados nas imagens coloridas (na composição colorida verdadeira e na composição falsa cor) e pelas imagens em níveis de cinza, da banda 12 do Sentinel-2. No entanto, os prejuízos causados ao milho foram dependentes das épocas de semeadura. Uma área, a M3, teve a sua semeadura muito tardia, aproximadamente de meados ao final de maio, tendo suas plantas atingidas pela geada num momento decisivo de formação de espigas. A consequência foi uma significativa perda e não formação de grãos, com redução de pelo menos 50% da produção esperada inicialmente (estimativa visual e presencial). Todas as demais áreas, semeadas de meados de março até a segunda quinzena de abril, tiveram as suas plantas atingidas pela geada ainda verdes. Porém, com as espigas já formadas, em momento de grãos farináceos e praticamente próximas da colheita. Tiveram, portanto, uma queda de rendimento mínima, sem causar prejuízos econômicos.

Como foi detalhado acima, este trabalho enfatizou e priorizou os aspectos relacionados às culturas envolvidas e o seu relacionamento com o clima. A parte de solos, embora várias vezes comentada,

não foi prioridade no produto final, não tendo sido detalhada a natureza intrínseca e estrutural dos mesmos. Isso porque existe nos solos uma grande variabilidade de interações entre seus componentes, que originam aspectos particulares quando o tema é interpretação de imagens de satélite. Madeira Netto e Baptista (2000) detalharam as propriedades de reflectância espectral dos solos, em função de seus diferentes componentes minerais e das relações existentes entre eles, da umidade do solo, dos teores de matéria orgânica e do tamanho das partículas características dos mesmos. Isso tudo pode trazer diferenças significativas de reflectância dentro de uma imagem de satélite. No entanto, podemos afirmar que nas comparações feitas dentro das mesmas imagens, ficaram claras as diferenças de manejo entre plantio direto e plantio convencional, as diferenças da mecanização ou da ausência dela e das diferentes quantidades de palha, tanto em comparação entre diferentes áreas de uma mesma cultura ou em comparação da cultura do milho com a do trigo.

Conclusão

Pode-se dizer que este trabalho abordou uma pequena parte das possibilidades de uso do satélite Sentinel-2. Pela sua resolução espacial e temporal, ele possibilita uma infinidade de estudos envolvendo vegetação e áreas agrícolas, sendo inimaginável o leque de possibilidades dentro do campo agrônomo e da biologia, envolvendo outras áreas do conhecimento, além de estudos climáticos e de estresses abióticos, como o monitoramento de pragas e doenças, fertilidade e manejo dos solos, previsões de safra, monitoramento de perdas, entre outros.

Referências

- DRUSCH, M.; DEL BELLO, U.; CARLIER, S.; COLIN, O.; FERNANDEZ, V.; GASCON, F.; HOERSCH, B.; ISOLA, C.; LABERINTI, P.; MARTIMORT, P.; MEYGRET, A.; SPOTO, F.; SY, O.; MARCHESE, F.; BARGELLINI, P. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. **Remote Sensing of Environment**, v. 120, p. 25-36, 2012.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 128 p.
- FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 284 p.
- GALVÃO, L. S. Do sensoriamento remoto multiespectral para o hiperespectral: o comportamento espectral dos materiais visto do espaço. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de; BAPTISTA, G. M. de M. (ed.). **Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. p. 249-265.
- LAND VIEWER. **Earth Observing System** [2021]. Disponível em: <https://eos.com/landviewer/>. Acessos em: 21 fev. 2021 a 24 set. 2021.
- MADEIRA NETTO, J. da S.; BAPTISTA, G. M. de M. **Reflectância espectral de solos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2000. 55 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 25).
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de (org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, DF: UnB-CNPq, 2012. 266 p.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de; BAPTISTA, G. M. de M. (ed.). **Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. 334 p.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 176 p.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington, DC. **Proceedings...** Washington, DC: NASA, 1974. v. 1, p. 309-317.
- SANO, E. E.; PONZONI, F. J.; MENESES, P. R.; BAPTISTA, G. M. de M.; TONIOL, A.; GALVÃO, L. S.; ROCHA, W. J. S. F. Reflectância da vegetação. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de; BAPTISTA, G. M. de M. (ed.). **Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019. p. 189-223.
- SHRESTHA, M.; SAMPATH, A.; CHANDRA, S.N.R.; CHISTOPHERSON, J.B.; SHAW, J.; ANDERSON, C. System characterization report on the German Aerospace Center (DLR) Earth Sensing Imaging Spectrometer (DESI). In: CHANDRA, S. N. R. (org.). **System characterization of Earth observation sensors**. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey U.S., 2021. chap. A, p. 1-9. (Geological Survey Open-File Report, 2021–1030). DOI: 10.3133/ofr20211030A.

Embrapa

Soja

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL