Revista Brasileira de Geomática
ISSN: 2317-4285

https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo

Geotecnologias de acesso livre aplicáveis à agricultura familiar de precisão

Luiz Carlos Pittol Martini
luiz.martini@ufsc.br
orcid.org/0000-0002-7358-3759
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

Monique Souza Teixeira
monique.teixeira@uniasselvi.com.br
orcid.org/0000-0001-8370-967X
Centro Universitário Leonardo da Vinci (UNIASSELVI), Indaial, Santa Catarina, Brasil.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma visão geral das principais geotecnologias de acesso livre projetadas para facilitar a adoção da agricultura de precisão por agricultores familiares. Reconhecendo as restrições econômicas enfrentadas pelos pequenos proprietários rurais, a opção de envolver serviços privados onerosos para fornecimento de tecnologia apropriada constitui um obstáculo à adoção generalizada da agricultura de precisão em várias regiões do Brasil. Para abordar essa questão, o trabalho apresenta algumas tecnologias com acesso gratuito que podem ser utilizadas por extensionistas rurais, técnicos de cooperativas ou até mesmo por agricultores equipados com computadores ou smartphones. O principal objetivo deste estudo é demonstrar que o conceito de agricultura de precisão se estende além das lavouras ou da pecuária em grande escala, abrangendo unidades agrícolas com tamanhos e regimes operacionais variados. Para atingir esse objetivo, o trabalho destaca alguns recursos como, por exemplo, a aquisição de imagens dos satélites Landsat, Sentinel e Cber4A, de banco de dados geomorfométricos do Brasil (Topodata e Copernicus), de dados meteorológicos (CPTEC, INMET, Agroconnect) e apresenta aplicações que mostram o potencial para promoção da agricultura de precisão em diversas escalas de produção.

PALAVRAS-CHAVE: Geodados. Topografia. Geoprocessamento. Gestão agrícola.

INTRODUÇÃO

O saldo da balança agrícola do Brasil aumentou quase dez vezes entre 1990 e 2017, alcançando o valor de US$ 81,7 bilhões no final desse período (EMBRAPA, 2018). Embora esse crescimento tenha ocorrido em grande parte devido à expansão das áreas ocupadas com culturas de exportação, houve ganhos de produtividade decorrentes da introdução de novas tecnologias em diversos processos agrícolas. Dentre essas tecnologias, a agricultura de precisão (AP) vem ocupando uma posição de destaque devido às suas aplicações já consolidadas em vários tipos de cultivos produzidos em larga escala (VIAN *et al*., 2022). Em contraste, o uso da AP em pequenas unidades de produção agrícola ainda é incipiente em quase todo o mundo, apesar de aproximadamente 90% das propriedades rurais em termos globais enquadrarem-se nessa modalidade de produção agrícola (UNDP, 2021). No entanto, o crescimento da AP por pequenos agricultores poderá ampliar a segurança alimentar no futuro, visto que esses produtores respondem por grande parte dos alimentos consumidos no mundo.

Na sua origem, ao longo da década de 1980, a AP era mais conhecida como manejo localizado de cultivos, agricultura espacialmente manejada, agricultura por satélite e agricultura auxiliada por computador. Em comum, todas essas denominações buscavam descrever um sistema de gestão agrícola capaz de promover práticas de manejo em cada parcela cultivada de acordo com as características locais do solo e topografia (ROBERT, 1994). A Política Nacional de Incentivo à Agricultura e Pecuária de Precisão (BRASIL, 2023), inspirada na definição de 2021 da The International Society of Precision Agriculture (ISPA, 2021), usou os seguintes termos para definir essa abordagem:

> Considera-se agricultura e pecuária de precisão o conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas em um sistema de gerenciamento agropecuário baseado na variabilidade espacial ou individual e temporal que objetiva a elevação da eficiência na aplicação de recursos e insumos de produção, de forma a diminuir o desperdício e aumentar a produtividade e a competitividade, garantir a sustentabilidade ambiental, social e econômica.

O tipo de análise requerido na AP demanda geodados, que são descritores que combinam algum atributo do meio físico ou biológico com sua localização no espaço terrestre, tipicamente usando coordenadas geográficas (APOLLO *et al*., 2023). No contexto agrícola, esses elementos podem fazer referência à topografia do terreno, propriedades do solo, coberturas vegetais, corpos hídricos, distribuição de arruamentos e estradas, edificações e áreas de preservação permanente. Todos esses tipos de geodados caracterizam-se pela distribuição no espaço e pela variação na sua composição ou estado ao longo do tempo.

Dessa forma, a AP também pode ser entendida como um sistema de apoio ao manejo das terras agrícolas que se baseia na coleta e análise de geodados para otimizar a produtividade, reduzir os desperdícios de insumos e aumentar a eficiência de uso dos fatores de produção. Em essência, a tecnologia propõe avaliar os principais fatores que atuam no processo de produção a partir de dados observacionais com alta resolução espacial e temporal, isto é, subdividindo o terreno em unidades heterogêneas tão pequenas quanto possível ou desejável, e realizando coletas frequentes de dados culturais, como a fenologia e estado nutricional das plantas. Como resultado, abre-se um conjunto de possibilidades que permitem

aplicações localizadas de insumos ou aplicações em taxas variáveis, bem como programar ou projetar intervenções de manejo antes da implantação das lavouras ou criações, durante o ciclo produtivo e no pós-safra.

Para atingir suas metas, a AP demanda capacidade computacional dimensionada para processar um grande volume de geodados, pois às múltiplas camadas de dados do meio físico levantados se somam a sucessivas camadas que resultam da dinâmica das mudanças no tipo ou estado da cobertura das terras. Em contrapartida, a coleta e o armazenamento de grande volume desse tipo de dado requerem tecnologias de processamento apropriadas. Neste ponto, entram em curso as chamadas geotecnologias, termo que pode expressar tanto as tecnologias voltadas à aquisição como aquelas projetadas para tratar, processar e analisar geodados por meio de elementos computacionais (CARVALHO; PINA, 2000).

Além desta introdução, o artigo foi dividido em quatro seções. A primeira e a segunda seção são complementares entre si e apresentam os principais sistemas de aquisição de geodados com distribuição livre e os principais sistemas ou aplicativos com acesso livre voltados ao processamento e análise desses dados. Na terceira seção, apresentam-se aplicações potenciais das geotecnologias de acesso livre e o emprego dessa tecnologia na agricultura de pequena escala. Na seção final, discutem-se as limitações e desafios futuros para a AP em pequenas áreas.

GEODADOS COM DISTRIBUIÇÃO LIVRE

SENSORIAMENTO REMOTO

Atualmente, existem diversos satélites com usos potenciais na AP, embora os sistemas de livre acesso apresentem limitações quanto à resolução espacial e temporal das imagens disponíveis. Tais limitações são os principais entraves para utilização do sensoriamento remoto (SR) no monitoramento em pequenas propriedades rurais, principalmente quando situadas em relevos mais acidentados, formadas por lavouras fragmentadas em pequenos talhões e quando cultivadas em épocas mais chuvosas, condição que reduz a oferta de imagens úteis devido à presença de nuvens. Apesar de as resoluções espaciais dos sistemas livres ainda serem inferiores ao ideal para pequenas áreas, a cobertura temporal atual é maior do que no passado recente, devido ao aumento do número de satélites em órbita.

O potencial de uso SR orbital na AP está associado à combinação das características ou resoluções espacial, espectral e temporal das imagens de satélite. A resolução espacial indica o tamanho da menor feição do terreno que pode ser detectada pelo satélite e impacta principalmente na análise visual de certa imagem.

A Tabela 1 apresenta as características gerais e usos potenciais de quatro sistemas de aquisição de imagens orbitais com acesso livre e oferta regular. Também mostra algumas fontes para obtenção de modelos digitais de superfície, que permitem caracterizar o relevo do terreno com diversos níveis de precisão.

Tabela 1 - Características gerais e usos potenciais de sistemas de aquisição de imagens orbitais e modelos digitais de superfície com acesso livre.

Grupos de dados	Sistema ou produto	Características gerais	Aplicações potenciais
Sensoriamento remoto	Satélites Sentinel-2 A/B – sensor MSI	– Conjunto de 13 bandas espectrais nas faixas do visível e infravermelho; – Resolução espacial entre 10-60 metros, de acordo com a banda; – Tempo de revista de 5 dias (considerando os 2 satélites).	– Uso de índices de vegetação para monitoramento fenológico.
	Satélites Landsat-8/9 – sensores OLI e TIRS	– Conjunto de 9 bandas espectrais nas faixas do visível e infravermelho (OLI) e 2 bandas no infravermelho termal (TIRS); – Resolução espacial de 15 metros em uma banda pancromática e demais bandas com 30 metros (OLI) e 100 metros (TIRS); – Tempo de revisita de 8 dias (considerando os 2 satélites).	– Uso de índices de vegetação para monitoramento fenológico; – Monitoramento do estado hídrico das lavouras.
	Satélite Cbers4A* – sensores WPM e MUX	– Conjunto de 5 bandas espectrais (WPM) e 4 bandas (MUX) nas faixas do visível e infravermelho próximo; – Resolução espacial de 2 metros em uma banda pancromática e demais bandas com 8 metros (WPM) e 16,5 metros (MUX); – Tempo de revisita de 31 dias.	– Uso de índices de vegetação para monitoramento fenológico; – Uso da banda pancromática de 2-metros para delimitação de cultivos com maior precisão
	Google Earth	– Imagens coloridas no espectro do visível com resolução espacial que pode ser inferior a 1 metro; – Atualização variável das imagens.	– Delimitação das unidades de produção e identificação de áreas de preservação permanente, corpos hídricos e outras feições geográficas.
Modelos digitais de superfície (MDS) e modelo digital do terreno (MDT)	Topodata (SRTM)	– MDS para o Brasil baseado em dados da missão SRTM e convertidos para uma malha de 1” latitude x 1” longitude	– A resolução espacial e as acurácias verticais não são adequadas para uso em pequenas propriedades
	Copernicus DEM	– Dados baseados na missão TanDEM-X e	– A resolução espacial e as acurácias

* O Cbers4A também transporta o sensor WFI, que não está listado devido sua baixa resolução espacial (55 metros).

Fonte: Autoria própria (2024).

Embora resoluções mais finas sejam ideais para percepção de detalhes, a faixa levantada em cada passagem do satélite torna-se cada vez mais estreita à medida que se obtém melhores resoluções espaciais. Faixas estreitas implicam maior tempo de revisita para cada satélite considerado individualmente. A combinação de alta resolução espacial com curto tempo de revisita pode ser atendida pelo aumento do número de satélites da mesma família alocados em órbitas diferentes (PACHECO et al., 2014).

A constelação de satélites comerciais da PlanetScope CubeSat constitui-se como o exemplo mais extremo da combinação ótima de resolução espaço-temporal (ROY *et al*., 2021), mas as opções não-comerciais listadas na Tabela 1 permitem tempos de revisita com 5 dias nos satélites gêmeos Sentinel-2 A/B, 8 dias nos Landsat 8/9 e 31 dias no Cbers4A (este satélite também possui embarcado o sensor WFI, com tempo de revisita de 5 dias, mas sua resolução espacial de 55 metros não é adequada para AP). Em termos práticos, o Sentinel-2 permite a melhor combinação das resoluções espaço-temporal entre os três satélites, mas os Landsat 8/9 e o Cbers4A aumentam a oferta de imagens e atuam como fonte de dados auxiliares. O produto HLS – Harmonized Landsat Sentinel-2 (CLAVERIE, 2018) compatibiliza as imagens obtidas pelos satélites Landsat-8/9 com as imagens do satélite Sentinel-2 e amplia a disponibilidade temporal de imagens para monitoramento agrícola.

Além das resoluções espacial e temporal, as bandas espectrais fornecidas pelos satélites possibilitam a obtenção de índices de vegetação, um tipo de processamento digital de imagens utilizado para analisar o desenvolvimento fenológico dos cultivos e para identificação de anomalias ao longo da safra. O comportamento da vegetação fotossinteticamente ativa é realçado pelo uso combinado de bandas espectrais, em especial do vermelho e do infravermelho próximo. Dessa forma, as aplicações em AP geralmente requerem a presença dessas bandas no conjunto de dados obtidos por satélite ou por drones. Em virtude do uso potencial para monitoramento da vegetação, mesmo versões mais antigas de satélites como o Landsat forneciam as bandas do vermelho e do infravermelho próximo. O Sentinel-2 ampliou o número de bandas úteis para monitoramento da vegetação e, dessa forma, versões adaptadas de índices de vegetação começaram a ser testadas empiricamente (SU *et al*., 2020).

A resolução espacial das imagens livres ainda é um fator limitante para uso efetivo na AP de pequenas áreas. As imagens Sentinel-2 compatíveis para obtenção de índices de vegetação são fornecidas com resolução espacial de 10 ou 20 metros, o que implica áreas mínimas de detecção entre 100 e 400 m² (0,01-0,04 ha). A situação é um pouco melhor com o uso do Cbers4A (8 ou 16,5 metros) e pior com Landsat-8/9 (30 metros). Uma consequência direta da resolução espacial insatisfatória é a generalização dos resultados, uma vez que o sensor captura uma resposta média dentro dos limites espaciais de detecção. Dessa forma, a identificação de parâmetros agronômicos ao longo do ciclo de cultivo apenas pode ser realizada em áreas que ocupam certo conjunto mínimo de “unidades de resolução” compatíveis com o sensor utilizado.

A Tabela 1 também apresenta duas fontes de imagens de alta resolução com acesso livre que podem ser utilizadas na AP. A primeira é a banda pancromática do Cbers4A-WPM com 2 metros de resolução espacial. Em SR, o termo pancromático indica uma banda espectral que engloba a região do visível e parte do infravermelho próximo. O uso isolado da banda pancromática do Cbers4A permite delimitar com boa precisão uma variedade de pequenas áreas cultivadas e pode ser útil para

mapeamento preliminar das propriedades agrícolas. Além disso, a banda pancromática pode ser processada por meio da fusão de imagens ou *pan-sharpening*, o qual combina o detalhamento espacial dessa banda com a maior resolução espectral de outras bandas para gerar composições coloridas em cores naturais ou falsa-cor. A segunda opção apresentada na Tabela 1 são as imagens utilizadas pelo Google Earth (GOOGLE EARTH, 2023), que podem apresentar resolução espacial inferior 1 metro e nível de detalhamento muito alto. As desvantagens são atualização irregular, eventual cobertura de certa área de interesse por imagens com datas diferentes, apresentar apenas imagens em composição colorida da região do visível e não ser possível extrair as imagens georreferenciadas diretamente da plataforma. Por outro lado, o Google Earth possibilita a inclusão de camadas externas de dados ou as imagens armazenadas na nuvem como camadas de apoio em um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

As imagens Landsat, Sentinel e Cber4A podem ser obtidas em fontes administradas por agências governamentais. Imagens Landsat podem ser obtidas no provedor EarthExplorer, do serviço geológico norte-americano (EARTHEXPLORER WEBSITE, 2023); as imagens Sentinel-2 no provedor Copernicus Open Access Hub, da agência espacial europeia (COPERNICUS WEBSITE, 2023); e imagens Cbers4A podem ser obtidas no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE WEBSITE, 2023).

TOPOGRAFIA

A topografia condiciona os usos das terras e constitui outro grupo de geodados capaz de gerar informações para a AP ~~e~~, onde algumas propriedades topográficas podem atuar como delimitadoras para monitoramento de áreas de interesse. Tais áreas são denominadas como zonas de manejo (BRUBECK-HERNANDEZ *et al*., 2019) e indicam porções do terreno cultivado que apresentam características similares capazes de afetar certos parâmetros agronômicos. As áreas cultivadas costumam apresentar locais de exportação e locais de acumulação de nutrientes no solo, formados pela influência da declividade do terreno, bem como podem apresentar zonas com maior deficiência ou excesso de água no solo. Zonas de manejo delimitadas com base nessas características podem ser usadas para explicar as variações de produtividade e endereçar ações futuras.

Os dados topográficos geralmente empregados na AP são fornecidos por modelos digitais de superfície (MDS) obtidos com diferentes resoluções espaciais e acurácias verticais. Alguns MDS globais estão disponíveis para acesso livre e podem ser usados para delimitação geral das zonas de manejo em qualquer local de interesse. Na Tabela 2 são listados dois desses MDS globais, o tradicional SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), disponível em Topodata (2023), e o Copernicus DEM GLO-30, fornecida pela agência espacial europeia (COPERNICUS DEM, 2023). Apesar de diversas correções e atualizações realizadas ao longo dos anos, MDS originados a partir de dados SRTM vem sendo substituídos por MDS obtidos de outros levantamentos. Entre as alternativas disponíveis, o Copernicus DEM GLO-30 tem sido considerado a melhor opção para certos estudos mais exigentes em qualidade de dados (GONZÁLEZ-MORADAS et al., 2023).

O Copernicus DEM GLO-30 é um MDS que representa a superfície terrestre, incluindo edificações, infraestrutura e vegetação. O modelo foi gerado em uma

grade com resolução de 1 segundo de grau (1”) de latitude e resolução de longitude variável de acordo com a latitude. Em termos gerais, para latitudes médias, o tamanho do pixel desse MDS é de aproximadamente 30 metros. Tanto o Copernicus DEM GLO-30 como os demais MDS disponíveis globalmente com acesso livre têm uso limitado na AP, uma vez que a acurácia necessária para delimitação das zonas de manejo requer mapas topográficos em grande escala, que apenas podem ser gerados por levantamentos altimétricos de precisão.

Alternativamente, pode-se utilizar na AP dados topográficos obtidos por levantamentos aéreos regionais. Para o Estado de Santa Catarina está disponível um modelo digital do terreno (MDT) com 1 metro de resolução espacial e 1 metro de precisão altimétrica (SIGSC, 2023). Além da maior precisão altimétrica, um MDT representa a superfície do terreno descoberto, isto é, corrige os efeitos das edificações, vegetação e outras estruturas presentes em um MDS. Ainda que a precisão de 1 metro pode ser insuficiente em alguns casos, dados altimétricos como os fornecidos em SIGSC (2023) são muito superiores aos fornecidos por MDS globais como SRTM ou Copernicus DEM.

AGROMETEOROLOGIA

Na AP, observações de variáveis agrometeorológicas apoiam a tomada de decisão sobre processos ou operações agrícolas específicas. Exemplos são a escolha do momento adequado para realização de práticas culturais, como preparo do solo, semeadura e aplicações de defensivos, bem como manejo da irrigação e proteção para eventos meteorológicos extremos, como geada, granizo e ondas de calor. Apesar de as estações meteorológicas das redes públicas ou privadas serem mal distribuídas no espaço e registrarem número insuficientes de variáveis de interesse local, ainda assim elas podem fornecer informações úteis para a AP em pequenas áreas, como o monitoramento de temperaturas (ar, solo e relva), balanço hídrico do solo e fornecimento de alertas meteorológicos.

No Brasil, diversos serviços com acesso livre a dados meteorológicos e agrometeorológicos são mantidos por organizações públicas, como o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE, 2023), o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023), o Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO, 2023) e o Agroconnect (CIRAM/EPAGRI, 2023). Os dois primeiros possuem abrangência nacional e são mais voltados para estudos climáticos ou previsão de tempo em escala sinótica. Em comparação, o serviço Agritempo apresenta mais aplicações na AP porque monitora variáveis com interesse direto na agropecuária (água no solo), faz previsão para realização de práticas agrícolas (manejo fitossanitário) e fornece índices agroclimáticos regionalizados (índice de seca). O Agroconnect é um portal voltado para monitoramento e geração de índices agrometeorológicos para o Estado de Santa Catarina, portanto, as informações são mais detalhadas e adaptadas para as características fisiográficas catarinenses. Outras unidades federativas do Brasil possuem organismos similares ao Agroconnect, como Paraná (IDR-PARANÁ, 2023) e São Paulo (CIIAGRO, 2023).

SOLOS

A efetividade da abordagem AP requer a caracterização e o monitoramento de variáveis do solo ao longo do tempo. No modelo de AP baseado no monitoramento da colheita, que requer dados de produtividade espacialmente distribuídos no pós-safra, a fertilidade do solo constitui informação-chave para aplicações em taxas variáveis, tanto na adubação de correção em áreas com menor produtividade, como para adubação de manutenção nas porções com produtividade mais elevada. Já na modalidade de AP que visa realizar intervenções ao longo do ciclo de cultivo, o mapeamento da fertilidade do solo na área cultivada pode apoiar a adubação de cobertura em taxas variáveis. De forma análoga, a distribuição espacial da capacidade de retenção de água é outra propriedade física do solo fundamental para o balanço hídrico na zona radicular, seja para monitoramento da umidade no solo na agricultura de sequeiro ou para manejo da irrigação.

A AP é exigente em dados de solo para otimização do uso de fertilizantes, manejo cultural e irrigação, mas devido à grande variabilidade espacial das propriedades do solo, dados disponíveis em escala de mapeamento adequada à pequena propriedade são escassos ou inexistentes. A fertilidade do solo pode ser avaliada diretamente por meio de análises laboratoriais em amostras coletadas ao longo da área cultivada. Mas, devido ao custo envolvido, o número de amostras tende a ser insuficiente para mapeamento adequado da fertilidade. Nesse aspecto, o mapeamento prévio da distribuição espacial da produtividade na área cultivada pode servir de apoio para posterior amostragem das áreas mais críticas (BERNARDI *et al*., 2015). Existem limitações para obtenção de mapas com a distribuição das produtividades na agricultura familiar devido às restrições técnicas e econômicas para monitoramento da colheita via posicionamento geográfico por satélite em pequenas áreas. Como alternativa, a recuperação de imagens de satélite da área cultivada ao longo do ciclo anterior pode indicar zonas de estresse nutricional ou hídrico e permitir inferência sobre a distribuição espacial da produtividade.

Devido à pequena escala cartográfica, alguns levantamentos de solos disponíveis podem ser utilizados com restrições como informação secundária ou auxiliar na AP em pequenas propriedades. A principal fonte de dados de solos atualizados para o Brasil está disponível na Plataforma PronaSolos, um programa interinstitucional brasileiro que reúne ministérios, universidades, órgãos de pesquisa e instituições privadas (PRONASOLOS, 2023). Como destaque, o portal de geodados dessa plataforma reúne classificação dos solos do Brasil em escala 1:250.000, mas a meta futura do programa é mapear todo o território brasileiro em escalas entre 1:25.000 e 1:100.000.

PROTEÇÃO AMBIENTAL

Um dos fortes apelos da AP é a redução do uso de insumos agrícolas e, como consequência, menores danos ou riscos de danos ambientais em comparação com a agricultura convencional. Além disso, o uso de técnicas associadas à AP pode promover maior conformidade às normas ambientais vigentes na agricultura de pequena área, como identificação e mapeamento das áreas de risco, das Áreas de Preservação Permanente (APP) e de Reservas Legais. Contudo, a extensão do território nacional, a legislação intricada e a presença de critérios subjetivos em alguns dispositivos legais impõem dificuldades tanto para delimitação das áreas de

proteção ambiental, como para definição da agricultura consolidada na maioria das pequenas propriedades rurais brasileiras. Nesse aspecto, o Cadastro Ambiental Rural (CAR, 2023) foi instituído como instrumento de ordenação geral para definição das terras com uso agrícola consolidado, de uso restrito, de APP, de Reserva Legal, de remanescentes de florestas e demais formas de vegetação nativa no interior de um imóvel rural. O CAR é um registro público eletrônico obrigatório que deve ser mantido atualizado pelo proprietário ou possuidor rural, ou seu representante legal.

A competência para gestão do Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) é estadual e distrital e alguns estados federados já possuem bancos de dados digitais contendo os limites dos imóveis rurais e suas respectivas áreas de proteção ambiental, de uso restrito e com uso agrícola consolidado, entre outras informações pertinentes. Um exemplo desse tipo de banco de dados com acesso público é fornecido pelo Estado de São Paulo (DATAGEO, 2023), no qual o usuário pode acessar diversas camadas de informações que permitem identificar as zonas de risco e as restrições ambientais em cada imóvel rural. Contudo, outros estados brasileiros encontram-se em estágio inicial ou intermediário referente à compilação de dados e organização do CAR.

SISTEMAS OU APLICATIVOS COM ACESSO LIVRE PARA PROCESSAMENTO E ANÁLISES DE GEODADOS

A AP caracteriza-se pelo intensivo uso de geodados primários, coletados diretamente na área cultivada, e geodados secundários obtidos de fontes como sensoriamento remoto (SR) e previsão meteorológica. Existem cinco passos típicos necessários para converter esses conjuntos de dados em informação destinada a apoiar a tomada de decisão pelo usuário final (UNDP, 2021). Essa sequência de passos também é conhecida como cadeia de valoração de dados: (1) aquisição, (2) transferência e armazenamento, (3) recuperação e transformação, (4) análise e (5) decisão operacional.

A aquisição envolve a coleta de geodados por satélites, drones e sensores *in situ* (proximais), já a transferência e armazenamento consiste na conexão da aquisição com repositórios para armazenar e gerenciar dados. Em geral, os repositórios são mantidos por agências públicas, como aquelas que administram os satélites e estações meteorológicas. Por outro lado, transferir e armazenar variáveis obtidas por sensores proximais requerem conexão com bancos de dados estruturados especificamente para essa finalidade. A telefonia móvel e a internet das coisas (IoT) são as tecnologias atuais mais acessíveis para que os agricultores de pequenas áreas possam transferir e armazenar os geodados obtidos diretamente em suas áreas de cultivo ou instalações zootécnicas. A recuperação e transformação compreende a curadoria e organização dos geodados brutos em formatos adequados para processamento e análise. O termo recuperação refere-se a dispositivos ou interfaces amigáveis para exibição ou consulta das categorias de dados adequadas à interpretação. Atividades como criação de conteúdo, seleção, classificação, transformação, validação e preservação estão incluídas em um tipo de gerenciamento ativo chamado de curadoria de dados (CURRY, 2016). Por sua vez, a transformação de dados é uma etapa intermediária chave principalmente para produtos de SR, levantamentos por drones e na meteorologia. A consistência e qualidade dos dados brutos é gerenciada nesta etapa.

Para fins deste trabalho, os passos de análise e decisão operacional devem receber destaque especial. A seção a seguir aborda com maiores detalhes esses passos, mas deve-se alertar que a AP se caracteriza como um campo de conhecimento em desenvolvimento e existe um fluxo regular de novos aplicativos, complementos e atualizações de softwares.

ANÁLISE DE GEODADOS PARA DECISÃO OPERACIONAL

A análise de geodados constitui a etapa que antecede e subsidia a tomada de decisão operacional. O caminho até a decisão tem mão dupla, pois embora dependa da resolução espaço-temporal, da qualidade e do nível de processamento dos dados de entrada, o resultado final também está condicionado aos métodos e ferramentas analíticas utilizados na conversão dos dados em informação útil. A Tabela 2 apresenta uma lista resumida com algumas ferramentas de acesso livre que suportam análises de geodados utilizados na AP, bem como alguns aplicativos que podem ser utilizados para consulta, aquisição, transmissão e análise de variáveis com interesse agrícola. Entenda-se aqui acesso livre como aquelas opções em que o usuário está dispensado de pagar licenças pelo uso ou pelos serviços gerados, pelo menos em um nível básico.

O QGIS é um sistema de informação geográfica (SIG) com licença gratuita e código aberto (QGIS Development Team, 2023) que permite trabalhar com camadas de dados em formato *raster*, como imagens de SR, e com dados em formato vetorial contendo pontos, linhas ou polígonos. Para certa área de interesse, podem ser adicionadas tantas camadas de geodados disponíveis que forem julgadas necessárias pelo analista, com destaque para imagens de SR (satélite ou drone), modelos digitais de elevação, levantamentos de solos, áreas de preservação ambiental e outras variáveis. O QGIS pode ser usado para gerar mapas de produtividades com dados obtidos no monitoramento da colheita, pois dispõe de ferramentas geoestatísticas para interpolação dos dados pontuais georreferenciados de produção obtidos durante a operação da colhedora.

Os mapas de fertilidade também são criados por interpolação de parâmetros de indicadores da fertilidade do solo, os quais são obtidos por meio de análises laboratoriais realizadas em amostras coletadas em uma área de interesse. O QGIS também possui ferramentas de geoprocessamento que podem ser utilizadas para delimitação das zonas de manejo.

Zonas de manejo são unidades do terreno com características similares derivadas pela combinação entre camadas de dados topográficos (altitude, declividade, orientação das vertentes etc.), atributos do solo (profundidade, pedregosidade, textura, fertilidade etc.) e características do cultivo (espécie/variedade, perene/anual, tipo de cultivo, densidade etc.).

O QGIS também pode ser usado para monitoramento fenológico de cultivos, seja executando módulos incorporados de outros SIGs, como o módulo “i.vi” do GRASS (GRASS Development Team, 2023), desenvolvido para cálculo de diversos índices de vegetação, ou utilizando complementos específicos, como o VDIP – Vegetation and Drougth Indices Parameter computation Plugin (NAWANDAR, 2023).

Tabela 2 - Seleção de ferramentas computacionais com acesso livre para gerenciamento, processamento e análise de geodados aplicáveis à agricultura de precisão.

Nome	Tipo	Informações gerais	Aplicações potenciais
QGIS	SIG	Sistema de informação geográfica aberto e gratuito, com atualizações regulares	– Visualização, edição, processamento e análise de geodados
VDIP	Complemento QGIS	Vegetation and Drougth Indices Parameter computation Plugin (VDIP): estima índices de vegetação e de seca para analisar terras agrícolas, condições do solo, sanidade das plantas etc.	– Cálculo de índices de vegetação e de seca
SCP	Complemento QGIS	Semi-Automatic Classification Plugin (SCP): fornece diversas ferramentas para descarga, pré-processamento, pós-processamento e análise de imagens livres.	– Pré-processamento de imagens Landsat-8/9 e Sentinel-2A/B – Descarga de porções de imagens para certa área de interesse
PAT	Complemento QGIS	Precision Agriculture Tools (PAT): coleção de ferramentas para processamento de geodados voltados à agricultura de precisão	– Processamento de imagens de satélite; – Interpolação de dados pontuais; – Geração de zonas de manejo
Smart-Map	Complemento QGIS	Desenvolvido para interpolação espacial e geração de zonas de manejo	– Interpolação de dados pontuais por krigagem; – Geração de zonas de manejo
GEE	Plataforma	Google Earth Engine (GEE): plataforma baseada na nuvem para processamento e análise de geodados	– Explorar, acessar e analisar grande volume de geodados
VICAL	Aplicativo GEE	Vegetation Indices Calculator (VICAL): calcula diversos índices de vegetação a partir de imagens Landsat e Sentinel-2	– Processar simultaneamente índices de vegetação para muitas áreas de interesse
GEOSYS	Complemento QGIS	Complemento para pesquisa e análise de imagens na nuvem ou armazenadas no próprio sistema	– Interface amigável para obter imagens de satélite para polígonos de interesse
OneSoil	Aplicativo	Aplicativo para computador e telefone móvel voltado ao monitoramento agrícola	– Delimitação de campos de cultivo ou talhões; – Monitoramento fenológico – Inserção dados medidos *in situ*
SWAMP	Plataforma	Smart Water Management Platform (SWAMP): projeto experimental para irrigação de precisão	– Manejo e automação da irrigação

Fonte: Autoria própria (2024).

Além disso, existem complementos para QGIS que simplificam aquelas tarefas de pesquisa, tratamento e processamento das imagens de SR orbital necessárias à obtenção de índices de vegetação, com destaque para o Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) (CONGEDO, 2021). Embora o SCP seja voltado para classificação temática, ele dispõe de ferramentas para trabalhar imagens de algumas famílias de satélites, como o Landsat e Sentinel. Em especial, o SCP possui um módulo amigável para descarregar e pré-processar apenas recortes de imagens selecionados pelo usuário para suas áreas de interesse, condição que reduz o tempo de processamento e a necessidade de potência computacional instalada.

Especificamente desenhado para AP na Austrália, o PAT – Precision Agriculture Tools (RATCLIFF *et al*., 2019) é um complemento para QGIS que inclui ferramentas para analisar imagens de SR, criar polígonos a partir de dados do monitoramento da colheita de grãos, agrupar e combinar camadas de geodados e delimitar zonas de manejo na área cultivada. O PAT utiliza o programa Vesper (MINASNY *et al*., 2005) para interpolação de dados pontuais e mapeamento de variáveis espacialmente distribuídas. Com aplicações e funções similares ao PAT e Vesper, o complemento Smart-Map foi desenvolvido por pesquisadores brasileiros (PEREIRA *et al*., 2022) e permite importar dados do QGIS, realizar interpolações espaciais e gerar zonas de manejo.

O Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma computacional baseada na nuvem que utiliza a infraestrutura do Google para análises espaciais (GORELICK, 2017). O GEE possibilita acessar e analisar dados de catálogos públicos e privados usando uma biblioteca de operadores controlada a partir de uma interface de programação baseada na internet, conhecida como API (*Application Programming Interface*). Embora exija treinamento especializado, esse ambiente permite acessar, explorar e analisar grande volume de dados a partir de um computador pessoal, desde que ligado a uma conexão de internet com velocidade adequada. Como outras aplicações do Google, há um complemento que integra o API do GEE com o QGIS. Alguns aplicativos usam o GEE como plataforma básica, como o VICAL, desenvolvido para calcular diversos índices de vegetação a partir de imagens de satélites Landsat e Sentinel-2 (JIMÉNEZ-JIMÉNEZ *et al*., 2022).

Similar ao GEE em algumas funcionalidades, o complemento Geosys para QGIS (GEOSYS, 2023) dispõe de uma API para pesquisa de imagens ou produtos derivados de SR disponíveis na nuvem ou imagens/produtos pessoais armazenadas no sistema do usuário. Entre os produtos derivados, o complemento pode fornecer diversos índices de vegetação calculados a partir de imagens de satélites como Sentinel-2A/B e Landsat-8/9, além de dados auxiliares de altitude e solos. Portanto, o Geosys também pode ser utilizado para monitoramento fenológico dos cultivos e para apoiar a delimitação de zonas de manejo em áreas de interesse.

O OneSoil é um dos aplicativos móveis mais amigáveis disponíveis no momento para usos em AP voltados à agricultura familiar. Embora desenvolvido por uma empresa privada com fins lucrativos, ele é distribuído de forma gratuita (ONESOIL WEBSITE, 2023) e contêm diversas funcionalidades. Entre elas, o usuário pode definir seus talhões por meio de uma interface para desenho de polígonos, sobrepor o histórico do índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), registrar tipo de cultivo e datas de semeadura, estabelecer cronograma de práticas culturais, incluir dados de campo medidos por sensores proximais e introduzir variáveis de clima, entre outras opções. Como desvantagens, o aplicativo é limitado quanto aos tipos ou variedades de culturas que podem ser monitoradas e

os dados de NDVI são obtidos por imagens públicas, que podem apresentar resolução espacial insuficiente para pequenas áreas.

Nessa linha, o SWAMP Project (SWAMP, 2023) foi concebido para desenvolver uma plataforma para irrigação de precisão baseada em IoT, análise de dados de campo e uso de dispositivos autônomos. O objetivo central é otimizar a irrigação por meio de tecnologia para aplicação precisa da água nos cultivos. Estudos-piloto estão sendo executados em alguns locais para teste das funcionalidades do sistema (KAMIENSKI *et al*., 2019). A plataforma ainda não está disponível para o público geral devido ao seu estágio experimental.

Para encerrar, o OpenRemote é uma plataforma de código aberto (OpenRemote WEBSITE, 2023) criada para conexão e execução de sistemas integrados na IoT. O OpenRemote permite conectar, monitorar e controlar operações de campo e variáveis de solo ou ambientais a partir de sensores embarcados no maquinário agrícola ou instalados no solo, plantas ou edificações. Como requer formação especializada, a plataforma é destinada aos desenvolvedores de aplicativos ou fabricantes de sensores voltados à AP.

APLICAÇÕES POTENCIAIS DAS GEOTECNOLOGIAS DE ACESSO LIVRE NA AGRICULTURA FAMILIAR

MONITORAMENTO AGROMETEROLÓGICO

Dois casos específicos servem para ilustrar o que se entende atualmente como monitoramento agrometeorológico de precisão. A proteção ativa contra geadas usando irrigação por aspersão ou nebulização na copa das plantas pode ser usado como exemplo inicial, pois é um dos métodos recomendados para pequenos pomares pelo serviço de pesquisa e extensão rural de Santa Catarina (EPAGRI, 2021). Um aspecto chave neste método é a possibilidade de o usuário automatizar o acionamento dos aspersores/nebulizadores em função da temperatura crítica medida no cultivo ou em suas proximidades. O controle mais efetivo da duração da irrigação pode proporcionar maior eficiência hídrica e energética, minimização de alagamentos do solo e redução de problemas fitossanitários, bem como diminuição dos custos financeiros para operação do sistema.

Enquanto esse exemplo de proteção às geadas se caracteriza como sensoriamento proximal, o cômputo das horas ou unidades de frio acumuladas no inverno monitoradas por serviços como o Agroconnect (CIRAM/EPAGRI, 2023) baseiam-se em dados de temperatura obtidos em estações distribuídas em rede estadual. Embora serviços como o Agroconnect atendam demandas usando dados externos à propriedade, iniciativas para desenvolvimento de estações meteorológicas automáticas de baixo custo e alta eficiência (GEBLER *et al*., 2022) podem viabilizar o cômputo das horas ou unidades de frio em nível de propriedade agrícola quando houver variações topográficas significativas entre os diversos lotes cultivados na mesma propriedade. Da mesma forma, estações meteorológicas automáticas com essas características podem permitir o monitoramento agrometeorológico de precisão em variados tipos de aplicações na pequena propriedade.

MONITORAMENTO SOLO

O desenvolvimento de sensores para medição de variáveis de solo e sua interligação em redes de monitoramento constitui-se em uma área ativa na AP em qualquer escala de produção. Trabalhos realizados por Molin e Tavares (2019) e Queiroz *et al*. (2020) mostram que o emprego de sensores proximais ainda é incipiente em sistemas agrícolas de grande porte e as aplicações ainda estão em fase de pesquisa e desenvolvimento. O custo e a confiabilidade dos sensores impõem barreiras para uso efetivo na agricultura familiar.

Existem aplicativos para telefones móveis que auxiliam na identificação de estresses nutricionais em plantas a partir de fotografias tomadas pelo usuário. Alguns desses aplicativos empregam algoritmos baseados em inteligência artificial para reconhecimento dos padrões foliares de deficiências minerais em diversos cultivos. Uma lista de variados aplicativos voltados à fertilidade do solo e nutrição de plantas pode ser consultada em Crop Nutrition Apps (2023).

Outra alternativa para monitoramento em pequenas propriedades baseia-se no uso de índices de vegetação obtidos a partir de imagens de satélites ou drones, como o NDVI (índice de vegetação por diferenças normalizadas). Aplicativos como o OneSoil (Tabela 2) permite usar o NDVI para avaliar a biomassa vegetal fotossinteticamente ativa em área de interesse, acompanhar evolução fenológica do cultivo e detectar estresses em cada lote cultivado. A partir do mapeamento de estresses ou anomalias pode-se subdividir a área cultivada em unidades de gestão diferenciada (SPERANZA *et al*., 2022) ou em zonas de manejo. Estudo realizado por Damian *et al*. (2020) sugeriu que o NDVI pode substituir ou complementar os dados de produtividade na delimitação de zonas de manejo para culturas anuais. Resultados similares foram obtidos por Esteves *et al*. (2022) em cultivo perene, que utilizaram o NDVI para delinear zonas de manejo em vinhedo.

MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO

Dispositivos para quantificar o fluxo de grãos nas colhedoras acoplados a alguma forma de posicionamento geográfico permitem obter a distribuição espacial da produção na área colhida. Neste caso, duas tecnologias combinadas são essenciais: eletrônica embarcada nas colheitadeiras, seja para coleta ou registro dos dados de colheita, e um Sistema Global de Navegação por Satélite, o GNSS. Mapas de produtividade gerados dessa forma são a base para aplicação em taxas variáveis, como de fertilizantes, e auxilia na delimitação das zonas de manejo. Por envolver investimentos relativamente altos, ambas constituem operações que requerem produções em grandes extensões territoriais que demandam equipamentos ou tecnologias com custo fixo elevado.

A maneira mais direta e simples de obter mapas de produtividade é contar com a participação do agricultor para registrar manualmente a produção obtida, na qual ele identifica os locais mais ou menos produtivos durante a realização da colheita e retém essa informação pelo menos até a safra seguinte. O problema não reside na obtenção do dado em si, mas no seu registro sistemático. Para essa finalidade, podem ser destacados os aplicativos para telefones móveis desenvolvidos para registrar a produção diretamente no campo. Esses aplicativos empregam uma interface apropriada para inserir a posição geográfica de forma automática e transformam os registros de campo em geodados típicos. Aplicativos como e OneSoil

podem ser usados, mas a adesão efetiva dos agricultores dependerá da interface amigável e adaptabilidade do aplicativo para variados cultivos ou contextos rurais.

A produção também pode ser monitorada com o emprego de índices de vegetação calculados a partir de imagens de satélite. As vantagens e limitações do NDVI para avaliar a produção vegetal foi revisada por Huang *et al*. (2021).

LIMITAÇÕES E DESAFIOS FUTUROS PARA AGRICULTURA DE PRECISÃO EM PEQUENAS ÁREAS

O maior desafio atual da AP reside na disponibilidade de equipamentos adequados e aplicativos móveis amigáveis para sua utilização em pequenas propriedades. Outro fator limitante é a capacitação do pessoal que atua na agricultura no uso e manutenção de sensores e controladores eletrônicos, que são componentes chaves para coleta de dados e automatização de tarefas.

A oferta de serviços de monitoramento por satélite ou drones em escala espacial adequada é uma forte restrição para efetiva expansão da AP em cultivos de pequena extensão. Levantamentos por drones são opções adequadas, mas tendem a ter custos elevados para uso em monitoramento regular. Nesse aspecto, o satélite brasileiro Cbers4A possui características de resolução espacial que o tornam único entre todos os satélites públicos globais e podem ser uma alternativa para uso em pequenas áreas. Contudo, este satélite atualmente tem revisitas a cada 31 dias e aplicações em monitoramento agrícola requerem passagens mais frequentes. Para atender este requisito, faz-se necessário destinar recursos públicos elevados para permitir o lançamento de versões similares ou mais avançadas desse satélite. Por outro lado, parcerias público-privadas poderão no futuro tornar mais acessíveis a grande oferta atual de serviços de monitoramento por satélite operados por empresas com fins lucrativos.

Finalmente, deve-se apontar a necessidade de o poder público alocar recursos financeiros e humanos para expandir a AP na pequena propriedade rural, haja vista o significado econômico e social dessa atividade para o país. Nesse aspecto, uma iniciativa favorável ocorreu por meio da Lei Nº 14.475, de 13 de dezembro de 2022, que instituiu a Política Nacional de Incentivo à Agricultura e Pecuária de Precisão (BRASIL, 2023). Mais especificamente, o Art. 4-VI da lei dispõe sobre a necessidade de “criar uma rede de pesquisa, desenvolvimento e inovação direcionada ao acesso dos pequenos e médios proprietários à agricultura e pecuária de precisão”. Para atender essa demanda crescente, espera-se que as instituições de ensino e pesquisa e os organismos de extensão rural estabeleçam protocolos de cooperação para criar mecanismos para trocas de dados, experiências e tecnologias adaptadas para uso na agricultura familiar.

Open source geotechnologies for precision agriculture in family farming

ABSTRACT

This paper provides an overview of the main open source geotechnologies designed to facilitate the adoption of precision agriculture by family farmers. Recognizing the economic constraints faced by smallholders, involving costly private services for the provision of suitable technology poses a barrier to the widespread adoption of precision agriculture in several regions of Brazil. To address this issue, this paper presents a range of freely accessible technologies that can be used by agricultural extension agents, rural cooperative technicians, and even farmers equipped with computers or smartphones. The primary aim of this study is to show that the concept of precision agriculture stretches beyond large-scale crop or livestock farming, including agricultural units of varying sizes and operational regimes. To achieve this objective, the paper highlights currently available resources, for example, the acquisition of images from Landsat, Sentinel and Cber4A satellites, Brazilian geomorphometric databases (Topodata and Copernicus), meteorological data (CPTEC, INMET, Agroconnect) and presents applications that showcase the potential for promoting precision agriculture across different scales of production.

KEYWORDS: Geodata. Topography. Geoprocessing. Agricultural management.

REFERÊNCIAS

AGRITEMPO. **Sistema de Monitoramento Agrometeorológico.** Embrapa Informática Agropecuária/CEPAGRI- Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>. Acesso em: 21 ago. 2023.

APOLLO, M.; JAKUBIAK, M.; NISTOR, S. et al. Geodata in science – a review of selected scientific fields. **Acta Sci. Pol.**, v. 22, n.2, p.17–40, 2023. http://dx.doi.org/10.15576/ASP.FC/2023.22.2.02.

BERNARDI, A.C. de C.; BETTIOL, G.M.; GREGO, C.R.; ANDRADE, R.G.; RABELLO, L.M.; INAMASU, R.Y. Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1-2, p. 211-227, 2015. http://dx.doi.org/10.35977/0104-1096.cct2015.v32.23314 .

BRASIL. **Lei nº 14.475**, de 13 de dezembro de 2022. Institui a Política Nacional de Incentivo à Agricultura e Pecuária de Precisão e dá outras providências. Disponível em: <https://www4.planalto.gov.br/legislacao>. Acesso em: 14 set. 2023.

BRUBECK-HERNANDEZ, F.; VLADIMIROVA, T.; POOLEY, M.; THOMPSON, R.; KNIGHT, B. Zone Management in Precision Agriculture Using Satellite Imagery. NASA/ESA **Conference on Adaptive Hardware and Systems** (AHS), Colchester, UK, 2019, p. 65-71. https://doi.org/10.1109/AHS.2019.00006 .

CAR. **Cadastro Ambiental Rural**. Sistema de Cadastro Ambiental Rural v3.0.0. Disponível em: <https://www.car.gov.br/#/>. Acesso em: 21 ago. 2023.

CARVALHO, M.S.; PINA, M.F.; Santos, S.M. Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à saúde. Brasília: Ed. OPAS-RIPSA; 2000.

CIIAGRO. **Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do Estado de São Paulo**. Portal Agrometeorológico e Hidrológico do Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.ciiagro.org.br/>. Acesso em: 21 ago. 2023.

CIRAM/EPAGRI. **Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina**. Agroconnect. Disponível em: <https://ciram.epagri.sc.gov.br/agroconnect/#>. Acesso em: 21 ago. 2023.

CLAVERIE, M.; JU, J.; MASEK, J. G.; DUNGAN, J. L.; VERMOTE, E. F.; ROGER, J.-C.; SKAKUN, S. V.; JUSTICE, C. The Harmonized Landsat and Sentinel-2 surface reflectance data set. **Remote Sensing of Environment**, v. 219, p.145-161, 2018. https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.09.002 .

CONGEDO, L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. **Journal of Open Source Software**, v. 6, n. 64, p.3172, 2021. https://doi.org/10.21105/joss.03172 .

COPERNICUS DEM. **Global and European Digital Elevation Model** (COP-DEM). Disponível em: <https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65>. Acesso em: 17 ago. 2023.

COPERNICUS WEBSITE. Disponível em: <https://scihub.copernicus.eu/>. Acesso em: 14 set. 2023.

CPTEC/INPE. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 21 ago. 2023.

CROP NUTRITION Apps. Ohioline: Ohio State University Extension. The Ohio State University. Disponível em: <https://ohioline.osu.edu/factsheet/fabe-55202>. Acesso em: 11 set. 2023.

CURRY, E. **The big data value chain: Definitions, concepts, and theoretical approaches.** *In*: CAVANILLAS, J.; CURRY, E.; WALSTER, W. New horizons for a data-driven economy. Cham: Springer, p. 29-37, 2016. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-21569-3_3 . Acesso em: 25 ago. 2023.

DAMIAN, J.M; PIAS, O.H. de C.; CHERUBIN, M.R.; FONSECA, A.Z. da; FORNARI, E.Z.; SANTI, A.L. Applying the NDVI from satellite images in delimiting management zones for annual crops. **Sci. Agric.**, v. 77, n. 1, p. e20180055, 2020. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0055 .

DATAGEO. Sistema Ambiental Paulista. Sistema de Cadastro Ambiental Rural. Disponível em: <https://datageo.ambiente.sp.gov.br/>. Acesso em: 21 ago. 2023.

EARTHEXPLORERr Website. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 14 set. 2023.

EMBRAPA. **Visão 2030:** o futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 14 set. 2023.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Frio intenso**: Epagri reforça práticas recomendadas para mitigar prejuízos nos cultivos. Mídia Epagri, 26 de julho de 2021. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2021/07/26/previsao-de-frio-intenso-conheca-as-praticas-recomendadas-pela-epagri-para-mitigar-prejuizos-nos-cultivos/>. Acesso em: 9 set. 2023.

ESTEVES, C.; FANGUEIRO, D.; BRAGA, R.P.; MARTINS, M.; BOTELHO, M.; RIBEIRO, H. Assessing the contribution of ECa and NDVI in the delineation of management zones in a vineyard. **Agronomy**, v. 12, n. 6, p.1331, 2022. https://doi.org/10.3390/agronomy12061331 .

GEBLER, L.; LEITE JUNIOR, M.J.; RUFATO, A. de R. Instrumentação com baixo custo e alta eficiência: o movimento 'faça você mesmo' na fruticultura de precisão. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 27.; Encontro Nacional sobre Fruticultura de Clima Temperado, 17., 2022, Florianópolis, SC. **Anais** [...] Florianópolis, SC: Epagri, 25 a 29 abril de 2022. p.358-361.

GEOSYS. Versão 1.3.0-2023. Geosys Holdings ULC, an Antarctica Capital portfolio company. Disponível em: <https://geosys.github.io/qgis-plugin/Readme.html>. Acesso em: 25 ago. 2023.

GONZÁLEZ-MORADAS, M. del R.; VIVEEN, W.; VIDAL-VILLALOBOS, R. A.; VILLEGAS-LANZA, J.C. A performance comparison of SRTM v. 3.0, AW3D30, ASTER GDEM3, Copernicus and TanDEM-X for tectonogeomorphic analysis in the South American Andes. **Catena**, v. 228, p.107160, 2023. https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107160 .

GOOGLE EARTH website. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 17 ago. 2023.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p.18-27, 2017. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031 .

GRASS Development Team. **Geographic Resources Analysis Support System** (GRASS) Software. Open Source Geospatial Foundation. Disponível em: <https://grass.osgeo.org>. Acesso em: 25 ago. 2023.

HUANG, S.; TANG, L.; HUPY, J.P.; WANG, Y.; SHAO, G. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. **Journal of Forestry Research**, v. 32, p.1–6, 2021. https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1 .

IDR-Paraná. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER. **Agrometeorologia e Clima**. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Agrometeorologia-e-Clima>. Acesso em: 21 ago. 2023.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 21 ago. 2023.

INPE Website. Disponível em: < http://www.dgi.inpe.br/>. Acesso em: 14 set. 2023.

ISPA. **The International Society of Precision Agriculture**. Precision Ag Definition, January 2021. Disponível em: <https://www.ispag.org/about/definition>. Acesso em: 6 abr. 2023.

JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, S.I.; MARCIAL-PABLO, M.d.J.; OJEDA-BUSTAMANTE, W.; SIFUENTES-IBARRA, E.; INZUNZA-IBARRA, M.A.; SÁNCHEZ-COHEN, I. VICAL: Global Calculator to Estimate Vegetation Indices for Agricultural Areas with Landsat and Sentinel-2 Data. **Agronomy**, v. 12, p.1518, 2022. https://doi.org/10.3390/agronomy12071518 .

KAMIENSKI, C.; SOININEN, J-P.; TAUMBERGER, M.; DANTAS, R.; TOSCANO, A.; CINOTTI, T.S.; MAIA, R.F.; TORRE NETO, A. Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture. **Sensors**, v. 19, n. 2, p.276, 2019. https://doi.org/10.3390/s19020276.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. **VESPER version 1.6 rev.3**. Australian Centre for Precision Agriculture, McMillan Building A05, The University of Sydney, NSW 2006. 2005. Disponível em: <https://precision-agriculture.sydney.edu.au/resources/software/download-vesper/>. Acesso em: 25 ago. 2023.

MOLIN, J.P.; TAVARES, T.R. Sensor systems for mapping soil fertility attributes: challenges, advances, and perspectives in brazilian tropical soils. **Engenharia Agrícola**, v. 39, p.126-147, 2019. http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39nep126-147/2019 .

NAWANDAR, N.K. **VDIP–Vegetation and Drougth Indices Parameter computation Plugin.** Disponível em: <https://github.com/nehakn/VDIP/blob/main/README.md>. Acesso em: 25 ago. 2023.

ONESOIL Website. Disponível em: <https://onesoil.ai/>. Acesso em: 25 ago. 2023.

OPENREMOTE Website. Disponível em: <https://www.openremote.io/>. Acesso em: 25 ago. 2023.

PACHECO, A, P.; GONCALVES, R. M.; LIMA, E. R. V.; QUINTANS, A. G. X. Sensoriamento remoto de alta resolução espacial na caracterização de assentamentos informais. **Rev. geogr. Norte Gd**., n. 57, p.143-159, 2014. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022014000100010

PEREIRA, G.W.; VALENTE, D.S.M.; QUEIROZ, D.M.d.; COELHO, A.L.d.F.; COSTA, M.M.; GRIFT, T. An Open-Source QGIS Plugin for Digital Mapping Using Machine Learning Techniques and Ordinary Kriging. **Agronomy**, v. 12, p;1350, 2022. https://doi.org/10.3390/agronomy12061350 .

PRONASOLOS. Programa Nacional de Solos do Brasil. **Geoportal do PronaSolos**. Disponível em: <https://geoportal.cprm.gov.br/pronasolos/>. Acesso em: 21 ago. 2023.

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <https://qgis.org/en/site/>. Acesso em: Acesso em: 25 ago. 2023.

QUEIROZ, D.M. de; COELHO, A.L. de F.; VALENTE, D.S.M.; SCHUELLER, J.K. Sensors applied to Digital Agriculture: A review. **Rev. Ciênc. Agron**., v. 51, p. e20207751, 2020. https://doi.org/10.5935/1806-6690.20200086 .

RATCLIFF, C.; GOBBETT, D.; BRAMLEY, R. PAT – Precision Agriculture Tolls. CSIRO. Software Collection, 2019. https://doi.org/10.25919/5d23f9fb58722 .

ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E. **Preface of Proceedings of Site-Especific Management for Agricultural Systems**. *In*: ROBERT, P.C.; RUST, R.H.; LARSON, W.E. (Eds.). Proceedings of Site-Especific Management for Agricultural Systems. 2nd. International Conference, Minneapolis, MN, USA, 1994. p.xiii-xiv.

ROY, D.P.; HUANG, H.; HOUBORG, R.; MARTINS, V. S. A global analysis of the temporal availability of PlanetScope high spatial resolution multi-spectral imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 206, p;112586, 2021. https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112586 .

SIGSC. **Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina**. Disponível em: <https://sigsc.sc.gov.br/>. Acesso em: 17 ago. 2023.

SPERANZA, E.A.; OLIM, G.E. de S.; INAMASU, R.Y.; VAZ, C.M.P.; JORGE, L.A. de C. Delineamento de zonas de manejo para o planejamento de Experimentação on-

farm na cultura do algodão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO – ConBAP 2022, Campinas. Anais [...] Campinas: 2022.

SU, W.-H. Crop plant signaling for real-time plant identification in smart farm: A systematic review and new concept in artificial intelligence for automated weed control. **Artificial Intelligence in Agriculture**, v. 4, p.262–271, 2020. https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.11.001.

SWAMP Website. **Smart Water Management Platform**. Disponível em: <http://swamp-project.org/>. Acesso em: 25 ago. 2023.

TOPODATA. **Banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em: 17 ago. 2023.

UNDP. United Nations Development Programme. **Precision agriculture for smallholder farmers. UNDP Global Centre for Technology**, Innovation and Sustainable Development: Singapore, 2021. 80p. Disponível em: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2022-01/UNDP-Precision-Agriculture-for-Smallholder-Farmers-V2.pdf. Acesso em: 15 ago. 2023.

VIAN, A.L.; BREDEMEIER, C.; PIRES, J.L.F.; CORASSA, G.M.; VANIN, J.P. **Aplicações da agricultura de precisão na cultura da soja.** *In*: Martin, T.N.; Pires, J.L.F.; Vey, R.T. (Eds.). Tecnologias aplicadas para o manejo rentável e eficiente da cultura da soja. Santa Maria: Editora GR, 2022. p.275-296.

Recebido: 21 jan. 2024
Aprovado: 06 dez. 2024
DOI: 10.3895/rbgeo.v12n2.18046
Como citar: MARTINI, L. C. P.; TEIXEIRA, M. S.. Geotecnologias de acesso livre aplicáveis à agricultura familiar de precisão. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 12, n. 2, p. 197-218, jul./dez. 2024. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>. Acesso em: XXX.
Correspondência:
Luiz Carlos Pittol Martini
Rodovia Admar Gonzaga, 1346, CEP 88034-000, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.