

ANÁLISE DA DINÂMICA DE PIVÔS DE IRRIGAÇÃO USANDO SÉRIE TEMPORAL LANDSAT

Adriana Moreira¹, Paulo Teixeira², Joelen Silva³, Kênia Santos⁴, Luciana Oliveira⁵,
Moisés Salgado⁶, Bernardo Rudorff⁷

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7}Agrosatélite Geotecnologia Aplicada, Rodovia SC-401, 8600 - Corporate Park, Bloco 7, sala 2
88050-000 | Santo Antônio de Lisboa, Florianópolis - SC, ¹adriana.moreira@agrosatelite.com.br; ²
paulo.teixeira@agrosatelite.com.br; ³joelen.silva@agrosatelite.com.br; ⁴kenia.santos@agrosatelite.com.br; ⁵
luciana.oliveira@agrosatelite.com.br; ⁶moises@agrosatelite.com.br; ⁷bernardo@agrosatelite.com.br

RESUMO

A irrigação é um fator chave para a segurança hídrica e para o aumento da produtividade agrícola, no entanto, a agricultura irrigada é um dos setores que mais demandam água doce. De forma a proporcionar informações da dinâmica agrícola, este estudo buscou analisar a dinâmica da agricultura irrigada à nível de pivô central, no estado de Minas Gerais. Os resultados demonstraram uma expansão do número de pivôs, com um aumento de mais de 2 vezes entre 2015 e 2021. Além desta expansão, também foi verificado uma intensificação dos cultivos agrícolas, onde em um mesmo pivô, em sua maioria (46% dos pivôs), acontecem duas safras no ano. A metodologia também proporcionou a identificação dos períodos de plantio e colheita das safras e da duração dos ciclos, proporcionando entender sobre a demanda hídrica para a agricultura irrigada nesta região.

Palavras-chave — *deep learning*, segmentação de instâncias, sensoriamento remoto, agricultura irrigada.

ABSTRACT

Irrigation is a key factor for hydro-security and agricultural yield improvement. However, it is also one of the most fresh water demanding sectors. To make irrigated agriculture information available, this study aimed to evaluate the irrigated agriculture dynamic at pivot center scale, at Minas Gerais state. Results showed an increase in the pivot numbers, more than doubling between 2015 and 2021. An intensification of the agricultural activity was observed, where more pivots presented with two crop cycles in a year (46%). The methodology also made it possible to identify planting and harvest cycles, as well as cycle length, improving the knowledge about water demand from irrigated agriculture in this region.

Key words — *deep learning*, instance segmentation, remote sensing, irrigation agriculture.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é uma componente essencial para a agricultura, viabilizando que se possa cultivar em períodos e em regiões, onde a precipitação por si só não fornece umidade suficiente para o desenvolvimento da cultura. Além disso, a irrigação também é essencial para o aumento e estabilidade da oferta de alimentos [1], principalmente para uma crescente população, com estimativa de atingir 9 bilhões de pessoas em 2050 [2].

Diante destes aspectos, que trazem a agricultura irrigada para um cenário de grande importância, nos últimos anos tem-se verificado um aumento considerável de incrementos de área de agricultura irrigada no Brasil, principalmente no bioma Cerrado, que apresenta condições de alta adaptabilidade topográfica para a prática de irrigação por pivô central [3]. Por exemplo, dados da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA) [1], mostram que em 2019 a área de irrigação por pivô central aumentou 50 vezes em relação à área em 1985, atingindo, em 2019, 1.556 Mha. Os dados da ANA também indicam, que desse total mapeado para o ano de 2019, a maior parte se localiza no estado de Minas Gerais, onde concentra cerca de 28,8% da área de pivôs centrais do Brasil, seguido do estado de Goiás (17,3%), São Paulo (14,6%), e Bahia (14%).

Apesar dos diversos benefícios proporcionados pela agricultura irrigada, principalmente mitigando os efeitos climáticos sazonais, promovendo a agricultura em regiões semiáridas e possibilitando uma maior segurança alimentar [1], a agricultura irrigada também promove uma maior pressão sobre os recursos hídricos, como na América Latina e Caribe, onde a agricultura demanda cerca de 72.1% da água doce disponível [4].

Considerando a importância da agricultura irrigada para a produção de alimentos, a sua crescente expansão em área e o seu potencial uso de água doce, torna-se crucial, o mapeamento sistemático dos sistemas de irrigação, além da sua contínua monitorização, com o intuito de proporcionar informações para a gestão de recursos hídricos.

O uso de dados de sensoriamento remoto e técnicas de redes neurais artificiais tem se tornado uma alternativa em potencial para se obter informações cruciais sobre a dinâmica da agricultura irrigada [5][6][7][8][9][10].

Muitos dos estudos que utilizaram técnicas de redes neurais artificiais para mapeamento de pivôs objetivaram identificar os pivôs nas imagens de satélite como uma

máscara de pivôs [7][8][9]. Estes estudos geraram informações cruciais para o entendimento da expansão da agricultura irrigada no Brasil, proporcionando mapeamentos sistemáticos para longos períodos, além de gerar informações importantes, principalmente na escala de bacia, da utilização de água doce disponível.

No entanto, para um efetivo monitoramento e gerenciamento dos recursos hídricos, além do entendimento da intensificação agrícola, análises à nível de pivô são necessárias. Para esse objetivo, estudos que visam a individualização de pivôs, com base em modelos de segmentação de instâncias [11], foram sendo propostos [5][8]. Estes estudos têm proporcionado avanços substanciais no desenvolvimento e otimização de modelos de *Deep Learning* aplicados à agricultura. No entanto, ainda existe espaço para aprimoramento destes modelos, e além disso, as análises das informações geradas a partir dos pivôs individualizados ainda são incipientes. Neste sentido, este estudo visa analisar a dinâmica da agricultura irrigada à nível de pivô central, no estado de Minas Gerais, buscando caracterizar a agricultura irrigada por pivô central nesta região, e visando entender como a dinâmica espaço-temporal de expansão e de intensificação vem ocorrendo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para que se possa atribuir informações sobre dinâmica dos cultivos agrícolas e de condições ambientais aos pivôs (i.e. número de vezes que o pivô foi cultivado, duração dos ciclos, precipitação média de cada ciclo), faz-se necessário, uma primeira etapa de individualização dos pivôs. Para essa etapa foram utilizadas imagens Landsat 8 (Coleção 1 Tier 1 TOA), para o período entre 2015 a 2021, uma máscara de mapeamento de pivôs da ANA (ano 2019) como dados de entrada e treino de uma rede neural artificial de segmentação de instâncias [11]. O resultado desta etapa são pivôs individualizados com identificador único (ID), ao longo do tempo.

A segunda etapa consistiu na atribuição de informações da dinâmica dos cultivos e de informações ambientais, a cada um dos pivôs individualizados. Assim, utilizando a geometria de cada pivô, foram extraídas as seguintes informações: *i*) número de ciclos de cultivo de cada pivô; *ii*) datas de início e fim de cada ciclo; *iii*) duração do ciclo de cultivo em dias de cada ciclo; e *iv*) precipitação média diária de cada ciclo. Também foi identificado se os pivôs se encontravam em uma área de cultivo perene e cana-de açúcar, pois para os pivôs de cultivos perenes não foram calculadas as métricas de dinâmica dos cultivos, devido a própria características destes tipos de cultivos. Além disso, foram identificados como não classificados os pivôs que não apresentaram coerência interna – múltiplos cultivos simultâneos –, já que não foi possível obter as mesmas informações obtidas para os demais pivôs.

Para esta etapa utilizou-se de mosaicos de imagens Landsat 8, para o período do ano safra. O ano safra foi definido para cada cena Landsat com base no pico vegetativo

do *Enhanced Vegetation Index 2* (EVI2) [12]. Desta forma, o período de composição dos mosaicos foi definido como 3 meses antes do pico vegetativo e 9 meses depois.

A etapa seguinte consistiu na suavização da curva de série temporal de EVI2, com base no método de *Whittaker* [13]. Posteriormente foram identificados os pontos de inflexão da curva, possibilitando a identificação de número de picos e vales ao longo desta série temporal, e consequentemente, obtendo o número de vezes que o pivô foi cultivado. Nesta etapa as informações foram extraídas a nível de *pixel*, e posteriormente agregadas a nível de pivô. A etapa seguinte consistiu na identificação das datas de início e término de cada ciclo, com base na data das imagens Landsat, seguindo metodologia que define o início do plantio em 20% e o término em 80% da curva da série temporal do índice de vegetação [14]. A partir desta identificação de início e término dos ciclos, obteve a duração dos ciclos, e também calculou-se, com base no produto *Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations* (CHIRPS) [15], o acumulado médio diário de precipitação para cada pivô e para cada ciclo.

A Figura 1 apresenta todas as etapas metodológicas utilizadas para a obtenção das informações agrícolas e ambientais para os pivôs individualizados.

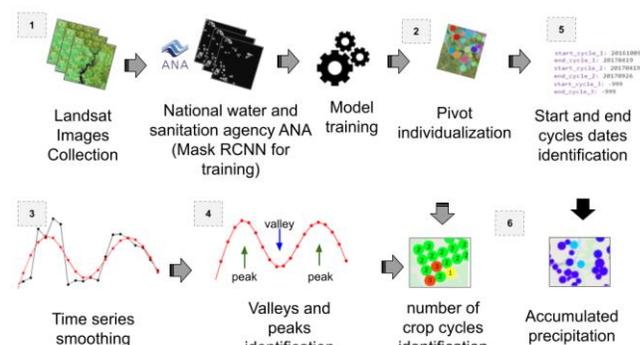


Figura 1: Fluxograma metodológico para atribuição de informações aos pivôs individualizados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução do número de pivôs ao longo do período de 2015-2021, bem como a evolução temporal do quantitativo de pivôs com 1, 2 e 3 ciclos é apresentada na Figura 2. De forma geral, os resultados deste estudo mostram que para o estado de Minas Gerais, o número de pivôs aumentou cerca de 2 vezes entre 2015 e 2021, passando de 5.084 pivôs, para 10.544. Estes resultados reforçam os achados da literatura que mostram uma expansão da agricultura irrigada no Brasil, principalmente no bioma Cerrado [1][16][17].

No entanto, os resultados deste estudo mostram não somente uma expansão da agricultura irrigada, mas também a sua intensificação. Por exemplo, 19% dos pivôs de irrigação tem apenas um ciclo de cultivo, enquanto 46% apresentam dois ciclos, e aproximadamente 1% foram cultivados três vezes ao longo dos anos analisados (2015-2021). Além disso, aproximadamente 24% da irrigação dos pivôs não foram

classificados em função da limitação da metodologia. Cerca de 6% destes pivôs foram identificados como pivôs perenes e 5% como cana-de-açúcar. Os resultados obtidos corroboram com dados do Atlas de Irrigação da ANA [1] que reiteram uma maior intensidade agrícola para a agricultura irrigada por pivôs, onde, para os 12 polos nacionais, cerca de 62% da área ocupada realiza safra dupla, e cerca de 16% realiza safra tripla.

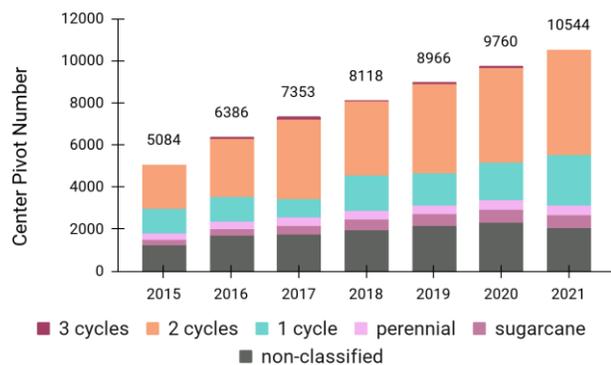


Figura 2: Número de pivôs centrais de irrigação com 1, 2 e 3 ciclos, pivôs perenes, de cana-de-açúcar e não-classificados no estado de Minas Gerais.

Além disso, através dos resultados, foram identificadas algumas informações gerais sobre a dinâmica das culturas da região. Foi possível identificar os meses de ciclo inicial e final, a quantidade de dias de cada ciclo e o quantitativo de precipitação que ocorreu neste período. A Figura 3 apresenta uma síntese temporal (2015-2021) destas informações para os pivôs identificados com culturas temporárias (i.e. pivôs com 1, 2 ou 3 ciclos), no estado de Minas Gerais.

Os resultados deste estudo indicam que tanto o início como o fim de cada ciclo, assim como a sua duração e precipitação média diária variam de acordo com a quantidade de vezes que os pivôs foram cultivados no ano. Por exemplo, em pivôs de safra única a duração de ciclo é mais longa, cerca de aproximadamente 155 dias, com início do cultivo normalmente em dezembro e colheita ocorrendo por volta de julho. Quando se trata de pivôs de dupla safra, a duração do ciclo é de cerca de 115 dias para o primeiro ciclo e cerca de 107 dias para o segundo. No primeiro ciclo dos pivôs de dupla safra o plantio ocorre por volta de novembro e a colheita por volta de março, enquanto que no segundo ciclo o plantio começa normalmente em abril e a colheita em agosto. Já os pivôs que fazem tripla safra, os ciclos são mais curtos, cerca de 80 a 89 dias. Nestes pivôs, o período de cultivo do primeiro ciclo começa mais cedo, por volta de outubro e a colheita ocorre em janeiro. O segundo ciclo começa normalmente em fevereiro e a colheita em maio, enquanto que o terceiro ciclo se estende de julho a setembro.

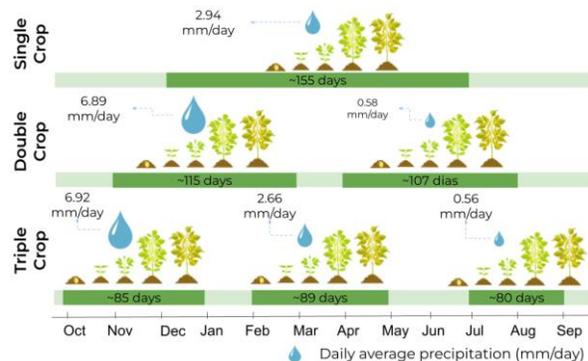


Figura 3: Dinâmica dos pivôs do estado de Minas Gerais entre 2015 e 2021.

Dados do Atlas de Irrigação da ANA [1], para o polo de Irrigação Alto Paracatu-Entre Ribeiras (totalmente localizado no estado de Minas Gerais), corrobora com os achados deste estudo, demonstrando que para os pivôs de dupla safra, o plantio ocorre normalmente em outubro, e no segundo ciclo, a plantio inicia entre os meses de fevereiro/março/abril. Na análise para o polo de Alto Araguari/Parnaíba (também totalmente no estado de Minas Gerais), também se observa uma coerência com os resultados deste estudo, com o plantio do primeiro ciclo em setembro/outubro e do segundo em janeiro/fevereiro/março. Os resultados deste estudo também reforçam os achados que indicam que a irrigação tende a viabilizar mais safras ao longo do ano, e que estas tendem ainda a se concentrar nos meses mais chuvoso e nas transições de período seco para o período chuvoso, de forma a minimizar os custos operacionais e maximizar a segurança hídrica e a produção agrícola [1][18].

Por exemplo, nos pivôs de safra única, a precipitação diária é de cerca de 2,94 mm/dia, uma vez que o ciclo se estende por meses chuvosos (Dezembro, Novembro, Janeiro e Fevereiro, Junho e Julho) e secos (Maio, Junho e Julho) nesta região. Para os pivôs de dupla safra, como o primeiro ciclo se concentra nos meses mais chuvosos, a precipitação média diária é mais elevada, cerca de 6,89 mm/dia.

Em relação ao segundo ciclo este compreende principalmente os meses com menor precipitação, apresentando uma taxa média de 0,58 mm/dia, indicando que apenas a precipitação do período não é suficiente para o desenvolvimento da cultura, exigindo a utilização de um sistema de irrigação para esta segunda colheita.

Para pivôs com safra tripla, os dois primeiros ciclos ocorrem pelo menos parcialmente na estação chuvosa, com uma taxa de cerca de 6,92 mm/dia para o primeiro ciclo e 2,66 mm/dia para o segundo ciclo, indicando uma menor dependência do sistema de irrigação no primeiro ciclo em comparação com o segundo ciclo. No entanto, durante o terceiro ciclo, a taxa de precipitação é de cerca de 0,56 mm/dia, o que sugere um aumento significativo da importância da irrigação para o desenvolvimento da cultura.

5. CONCLUSÕES

Neste estudo buscou-se analisar a dinâmica dos pivôs centrais de irrigação do estado de Minas Gerais, explorando tanto a sua evolução temporal, quanto a dinâmica agrícola. Os resultados apresentados mostraram-se coerentes com os dados oficiais da ANA, indicando uma expansão de cerca de 2 vezes o número de pivôs em Minas Gerais, entre 2015 e 2021. Em relação à análise da dinâmica agrícola dos pivôs, os resultados mostram que além de uma expansão no número de pivôs, existe uma intensificação dos cultivos agrícolas, uma vez que a maioria dos pivôs identificados no estado de Minas Gerais fazem dupla safra ao longo do ano.

Além disso, os resultados trazem importantes informações sobre o uso da água na irrigação, identificando em quais ciclos há uma menor taxa de precipitação, o que implicaria em uma maior dependência do sistema de irrigação, para o desenvolvimento da cultura. Essas informações são cruciais para uma melhor compreensão do uso da água na agricultura e também para subsidiar estratégias de gestão e de monitoramento. Neste sentido, os resultados deste estudo apontam para o grande potencial do uso de dados de sensoriamento remoto e métodos de *deep learning* no fornecimento de dados agrícolas e ambientais, em escalas refinadas, de grande importância para o gerenciamento e monitoramento agrícola e ambiental.

6. REFERÊNCIAS

[1] AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Atlas irrigação: Uso da água na agricultura irrigada. ANA, 2021. Disponível em <<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b>> Acesso em 13/10/2022.

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Global Warming of 1.5°C*. IPCC, 2018. Disponível em <<https://www.ipcc.ch/sr15/>> Acesso em 13/10/2022.

[3] da SILVA, Welvis Furtado et al. Identification of Areas Irrigated by Central Pivot in the State of Goiás, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 11, 2019.

[4] The World Bank. Annual freshwater withdrawals, agriculture (% of total freshwater withdrawal), 1967-2018. Disponível em <<https://data.worldbank.org/indicator/er.h2o.fwag.zs>> Acesso em 13/10/2022.

[5] CARVALHO, Osmar Luiz Ferreira de et al. Instance segmentation for large, multi-channel remote sensing imagery using mask-RCNN and a mosaicking approach. **Remote Sensing**, v. 13, n. 1, p. 39, 2020.

[6] da SILVA, Jhon Lennon Bezerra et al. Spatiotemporal dynamics of agricultural areas with central pivot using orbital remote sensing in the Brazilian semi-arid. **Smart Agricultural Technology**, v. 2, p. 100052, 2022.

[7] de ALBUQUERQUE, Anesmar Oline et al. Deep semantic segmentation of center pivot irrigation systems from remotely sensed data. **Remote Sensing**, v. 12, n. 13, p. 2159, 2020.

[8] de ALBUQUERQUE, Anesmar Oline et al. Dealing With Clouds and Seasonal Changes for Center Pivot Irrigation Systems Detection Using Instance Segmentation in Sentinel-2 Time Series. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 14, p. 8447-8457, 2021.

[9] SANTOS, Ana Beatriz et al. A Remote Sensing Diagnosis of Water Use and Water Stress in a Region with Intense Irrigation Growth in Brazil. **Remote Sensing**, v. 12, n. 22, p. 3725, 2020.

[10] SARAIVA, Marciano et al. Automatic mapping of center pivot irrigation systems from satellite images using deep learning. **Remote Sensing**, v. 12, n. 3, p. 558, 2020.

[11] HE, Kaiming et al. Mask R-CNN. In: **Proceedings of the IEEE international conference on computer vision**. 2020. p. 2961-2969.

[12] JIANG, Zhangyan et al. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote sensing of Environment**, v. 112, n. 10, p. 3833-3845, 2008.

[13] WHITTAKER, Edmund T. On a new method of graduation. **Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society**, v. 41, p. 63-75, 1922.

[14] JÖNSSON, Per; EKLUNDH, Lars. TIMESAT—a program for analyzing time-series of satellite sensor data. **Computers & geosciences**, v. 30, n. 8, p. 833-845, 2004.

[15] FUNK, Chris et al. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific data**, v. 2, n. 1, p. 1-21, 2015.

[16] LUCENA, Felipe Rafael de Sá Menezes et al. Detection of Agricultural Activity in Center Pivot Areas in Southeastern Brazil. In: **2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS**. IEEE, 2021. p. 7043-7046.

[17] RODRIGUES, M. L. et al. Detecting center pivots in Matopiba using Hough transform and web time series service. In: **2020 IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS)**. IEEE, 2020. p. 189-194.

[18] REIS, Paulo Ricardo da Costa; SILVEIRA, Suely de Fátima Ramos; RODRIGUES, Pedro Eni Lourenço. Impactos da Política Nacional de Irrigação sobre o desenvolvimento socioeconômico da região Norte de Minas Gerais: uma avaliação do Projeto Gorutuba. **Revista de Administração Pública**, v. 46, p. 1101-1130, 2012.