



ÍNDICES DE BIOMASSA EM PLANTAÇÕES DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA GERAÇÃO DE MAPAS DE PRODUTIVIDADE E VALIDAÇÃO DE IMAGENS GERADAS COM USO DE RADARES

Gabriel Basso Pereira; Jhonnatan Alexander Yepes Guarnizo; Barbara Teruel

Resumo

No contexto da Agricultura de Precisão, buscou-se a validação de um sistema composto por radares embarcados em veículo aéreo não tripulado (VANT), cuja aplicação está na obtenção de dados de produtividade de áreas de cana de açúcar. Para tal, foram extraídas medidas biométricas do cultivo, composto um banco de dados, calculada a produtividade na *verdade de campo* e comparada com a obtida pelo sistema Drone+Radar.

Palavras-chave: agricultura de precisão, estimativa de biomassa, processamento de dados SAR.

Introdução

Segundo dados da AGROSTAT (2020), o complexo sucroalcooleiro é responsável por 7,68% das exportações do agronegócio brasileiro, gerando em torno de 470 milhões de dólares. Além disso, a cultura cresce cada vez mais a sua implantação ao longo do país, criando movimentação econômica e empregatícia, bem como diversos subprodutos que são aproveitados internamente.

Dada a importância econômica da cultura para o país, produtores têm buscado maneiras de otimizar cada vez mais sua produtividade. Para tal, é importante o acompanhamento regular do desempenho do cultivo, pois permite que se tenha maior conhecimento das condições e fatores de impacto à produtividade no campo, para que assim sejam realizadas intervenções eficientes.

A quantidade de biomassa acumulada destaca-se como um fator determinante para avaliar os tratamentos e manejos feitos na cultura de interesse, pois é a responsável pelo adequado funcionamento de processos químicos e biológicos da planta, tais como a fotossíntese e trocas gasosas.

Dentre as alternativas de investigação das condições de campo, os drones se destacam como uma opção rápida e flexível, uma vez que permite que o agricultor tenha maior independência na decisão de quando deseja obter seus dados (Molin, 2015).

O objetivo desta pesquisa de Iniciação Científica foi compor um banco de dados de medições biométricas para a estimativa de produtividade a través de dados obtidos por um sistema Drone+Radar, para validar a aplicabilidade desta ferramenta em lavouras de cana-de-açúcar

Materiais e Métodos

O estudo foi conduzido em área experimental de cana de açúcar (variedade IACSP97-4039), com dimensões de 40 x 10m, localizado na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade de Estadual de Campinas. O espaçamento entre plantas na linha foi de 0,75m e o espaçamento entre linhas de plantio de 1,5m, totalizando aproximadamente 280 plantas.

Figura 1. Campo experimental e seu modelo de plantação.



Foram realizadas cinco expedições em campo, espaçadas de 30 a 50 dias cada, com o objetivo de aferir as medidas biométricas das plantas. O modelo adotado para o cálculo de biomassa foi o proposto por Molijn et. al. (2018), cujos índices biométricos necessários são diâmetro e altura do colmo principal e o número de colmos por planta. Além disso, a massa das folhas por planta e densidade do colmo são parâmetros que também compõe o cálculo de biomassa do modelo.

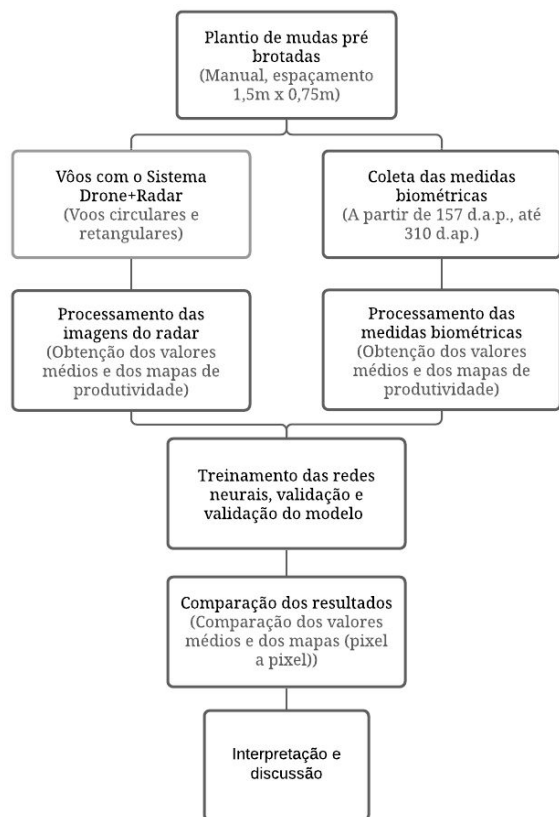
Dessa forma, em cada uma das mais de 280 plantas, foram coletadas medidas de diâmetro do colmo principal em três alturas diferentes (para calcular o diâmetro médio e dispersar possíveis variações), altura do colmo principal, desde sua base até a folha cartucho. Foram realizadas ensaios destrutivos para determinar a densidade do colmo e massa das folhas, a partir do nono mês de estabelecida a cultura até a colheita em junho, a fim de compor um banco de amostras cuja média fornecesse valores de biomassa das folhas e densidade do colmo representativos para o cultivo. As coletas biométricas foram realizadas em paralelo aos voos do sistema Drone+Radar.

O drone utilizado no estudo foi fornecido e operado pela empresa parceira RDAZ, foi equipado com três radares e, bem como também uma câmera óptica. Um dos radares continha uma antena de banda L, com polarizações HH, HV e VV, e uma

antena de banda P com polarização HH, e o outro foi equipado com uma antena de banda C com polarização VV. A combinação das diferentes antenas e polarizações, que têm ondas de diferentes limites de penetração no dossel, fases e amplitudes, permite a utilização da interferometria para obter informação de elevação do terreno, e assim obter as informações de biomassa da cultura.

Na Figura 2 é apresentado um fluxograma que organiza os passos seguidos durante a metodologia, em conjunto com as atividades do sistema Drone+Radar.

Figura 2. Fluxograma dos métodos utilizados.



Resultados e Discussões

A cana-de-açúcar atingiu seu potencial máximo de acúmulo vegetal após aproximadamente 9 meses, e a partir daí apresentou uma redução na concentração de biomassa. A redução do acúmulo de biomassa na plantação da coleta de 279 dias após o plantio (d.a.p.) para a coleta de 310 d.a.p. pode ser associada a um fenômeno inversamente proporcional entre o acúmulo de massa vegetal e o acúmulo de açúcares nos colmos. Tal redução é vantajosa para a maioria dos produtores de cana de açúcar, visto que o teor de açúcares do colmo é o produto que se deseja da cultura, e não a biomassa em si (Molin, 2016).

Figura 3. Produtividade média da cana de açúcar em função do tempo, obtida pelas medidas biométricas e pelo drone.

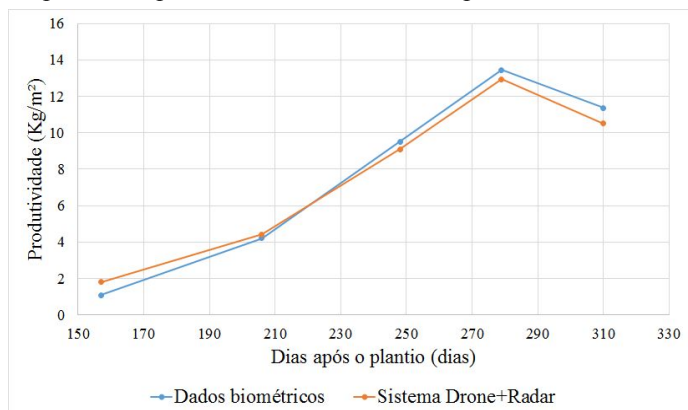


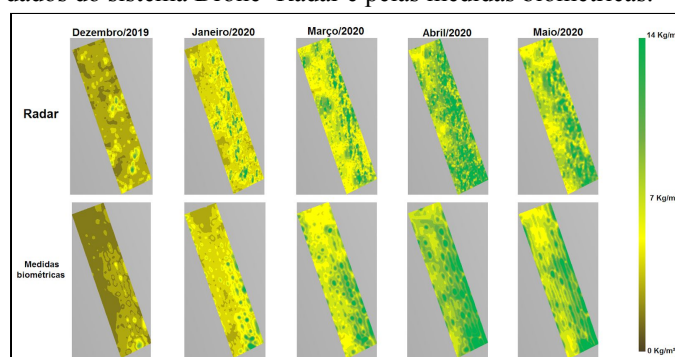
Tabela 1. Valores de produtividade média obtidos pelas medidas biométricas e pelos radares.

Dias após a colheita (dias)	Produtividade média pelas medidas biométricas, com desvio padrão (kg/m ²)	Produtividade média pelo sistema Drone+Radar, com desvio padrão (kg/m ²)
157	1,08 ± 0,59	1,81 ± 0,99
206	4,20 ± 2,08	4,41 ± 2,16
248	9,50 ± 3,48	9,10 ± 3,40
279	13,44 ± 5,54	12,93 ± 4,13
310	11,37 ± 6,02	10,50 ± 3,51

Os valores encontrados pelo sistema Drone+Radar apresentaram uma diferença de, aproximadamente, 4 a 8% ao longo das coletas em relação aos valores obtidos pelas medidas biométricas, com exceção à primeira medida, cuja diferença ficou em torno de 68% (Tabela 2). Tal similaridade indica a possibilidade da utilização deste sistema para um monitoramento geral de produtividade, ou seja, para um acompanhamento quantitativo do desempenho de determinado talhão ou determinada região que se deseja investigar de maneira homogênea. Lavouras que realizam seu gerenciamento agrícola através de zonas de manejo, agrupando regiões de mesmas características topográficas, climáticas ou edáficas, por exemplo, podem usufruir de tal característica.

Entretanto, os desvios padrões destes valores de produtividade indicam uma alta heterogeneidade na distribuição da biomassa no campo, exprimindo a necessidade da análise espacial para avaliar uma outra face deste desempenho.

Figura 4. Mapas de produtividade de biomassa gerados pelos dados do sistema Drone+Radar e pelas medidas biométricas.



Foi realizada uma análise estatística, pixel a pixel, comparando os mapas interpolados gerados por biometria com os mapas gerados pelo radar, e os resultados são apresentados na Tabela 1. O Coeficiente de Correlação (r) foi calculado através do método de *spearman*, com o auxílio do pacote *stats*, do programa R Studio (linguagem de programação R).

Tabela 2. Valores do Coeficiente de Correlação entre mapas de biomassa gerados pelas medidas biométricas e pelo radar, nas diferentes datas de coleta.

Coleta	Coeficiente de Correlação (r)
Dezembro/2019	0,206
Janeiro/2020	-0,008
Março/2020	0,133
Abril/2020	0,256
Maio/2020	0,408

A análise espacial dos dados mostrou que os mapas gerados por biometria e pelo radar não tiveram uma correlação alta (Tabela 1). Além disso, percebe-se que a coleta de janeiro de 2020 apresentou como um *outlier*, devido à sua correlação praticamente nula.

Dessa forma, observa-se que o sistema Drone+Radar teve sua aplicabilidade mais vinculada à uma observação homogênea da área de estudo, onde é calculado um valor único de produtividade que representa toda a extensão do talhão, pois a medida em que se adotou uma abordagem de menor resolução (pixels de 20 cm), o sistema deu origem a mapas cuja distribuição dos valores de produtividade não se assemelhou tanto àqueles obtidos em campo.

Condução do Projeto

Uma situação excepcional apresentada pela plantação foi o tombamento de colmos, especialmente na região central do talhão, a começar de junho (Figura 5). Algumas plantas não conseguiram fixar bem suas raízes no solo, o que fez com que, ao atingirem determinada massa e altura, desabassem, empurrando plantas próximas para o mesmo caminho. Tal acontecimento impossibilitou a obtenção das medidas biométricas de grande parte da plantação no mês de junho, no qual aconteceria a última coleta de dados prévia à colheita.

Figura 5. Foto aérea da plantação com diversos colmos de cana tombados.



Posteriormente ao tombamento foi realizada a colheita da cultura. As quedas dos colmos impactaram na decisão, porém o acompanhamento do índice de maturidade foi o fator principal para determinar a hora da colheita. Algumas amostras de cana passaram por um refratômetro, para medir o grau Brix, e a média do IM destas amostras foi de 0,86, valor dentro daquele indicado para realização da colheita, já que as plantas estão consideradas maduras.

Uma situação foi observada durante a realização do projeto, de utilidade para trabalhos futuros, é a sensibilidade das

medidas de diâmetro do colmo, especialmente quando é realizada através de trenas. A própria fisiologia da cana, com o acúmulo de biomassa e o adensamento do número de perfilhos, dificulta que se haja uma medida indiscutivelmente confiável, por este motivo são realizadas três medidas de diâmetro ao longo do colmo, para dispersar um pouco este erro através da média. O caso do diâmetro merece atenção especial pois os cálculos de volume do colmo elevam esta medida ao quadrado, propagando erros, porém outras medidas biométricas, como altura e número de colmos, também estão sujeitas à sensibilidade do erro humano e à dificuldade de se trabalhar em um ambiente com vegetação densa.

Conclusões

A produtividade média da cultura de cana de açúcar, calculada através das medidas biométricas, evoluiu de 1,08 kg.m⁻², em dez/2019, até 12,93 kg.m⁻², em abr/2020, e posteriormente reduzindo a concentração de biomassa para 10,50 kg.m⁻², em maio/2020.

A baixa diferença (variações de 4 a 8%) entre os valores de produtividade homogênea obtidos pelas medidas biométricas e pelo sistema Drone+Radar validam a utilização dos radares polarimétricos em aplicações considerando áreas homogêneas, como em zonas de manejo.

Os baixos valores de correlação entre os mapas espaciais de produtividade gerados pela biometria e pelos radares limita o uso da tecnologia em aplicações de reduzida resolução espacial, conforme é praticado na Agricultura de Precisão. Tal limitação implica na necessidade de mais estudos com a tecnologia para validar tal aplicação.

Agradecimentos

Ao SAE, pela concessão da bolsa de Iniciação Científica; à Prof. Dra. Bárbara Janet Teruel Mederos e ao Eng. Jhonnatan Alexander Yepes Guarnizo, cujas colaborações e ensinamentos foram fundamentais para a realização do projeto: à Gian Carlos Oré Huades e Marlon de Souza Alcântara, que proveram auxílio na aquisição das medidas em campo, como também no posterior processamento dos dados para obtenção dos mapas de biomassa.

AGROSTAT, Estatísticas de Comércio Exterior do Agronegócio Brasileiro. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Indicadores Gerais Agrostat**. 2020.

Molijn, R., Iannini, L., Rocha, J. et al. **Ground reference data for sugarcane biomass estimation in São Paulo state**, Brazil. *Sci Data* 5, 180150, 2018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.150>.

Molin, José P., Amaral, Lucas dos R., Colaço, André F. **Agricultura de Precisão**. 1 ed., Oficina de Textos, São Paulo, 2015.

Molin, José P., Veiga, João P. S. **Spatial variability of sugarcane row gaps: measurement and mapping**. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 40, n. 3, p. 347-355, 2016.