

## **SENSORES PARA MAPEAMENTO DE FALHAS NA CANA-DE-AÇÚCAR**

**LEONARDO F. MALDANER<sup>1</sup>, JOÃO V. M. NICOLETTI<sup>2</sup>, STEPHANY M. SHIMAZAKI<sup>2</sup>, JOSÉ P. MOLIN<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Doutorando, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP, Fone: (19) 34478509, leonardofm@usp.br

<sup>2</sup> Graduando em Eng. Agrônômica, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP.

Apresentado no  
**Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2018**  
*Curitiba, Paraná, 2 a 4 de outubro de 2018*

**RESUMO:** Com o decorrer dos anos o número de perfilhos na cana-de-açúcar diminui e conseqüentemente há decréscimo na produtividade. O uso de ferramentas para a gestão localizada dos canaviais considerando as falhas nas fileiras da cultura é crescente. Entretanto, muitas ferramentas para o monitoramento ainda apresentam custo elevado. O objetivo deste trabalho é verificar a capacidade de sensores de baixo custo em identificar e mensurar falhas nas fileiras da cultura. Três sensores fotoelétricos e três sensores de ultrassom foram acoplados a uma plataforma. Foi realizado ensaio simulando diferentes tamanhos de falhas a fim de verificar a acurácia dos sensores. A correlação entre o tamanho real das falhas e o mensurado pelos sensores foi de 0,99, entretanto os sensores apresentaram RMSE máximo de 0,055 m. Leituras em campo demonstraram que os sensores são capazes de identificar a presença e a ausência de colmos ao longo da fileira. A área com menor número de cortes apresentou menor número de falhas. Os sensores conseguiram identificar padrões de distribuição espacial das falhas na área com maior número de cortes. Em ambas as áreas de estudo o sensor ultrassom identificou um número maior de falhas em relação ao fotoelétrico devido à sua capacidade em identificar pequenas soqueiras de cana-de-açúcar. A metodologia proposta é capaz geram informações localizadas de falhas, auxiliando na tomada de decisões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensor ultrassom, sensor fotoelétrico, falhas espacializadas

### **MAPPING SKIPS IN SUGARCANE FIELDS USING SENSOR**

**ABSTRACT:** Over the years, the number of tillers in sugarcane decreases and consequently there is a decrease in sugarcane yield. It is increasing the use of tools to identify skips in the sugarcane rows for the specific management. However, many of these tools still have a high cost. The aim of this study is to verify the capacity of low cost sensors in identifying and measuring skips in the sugarcane rows. One platform was mounted with three photoelectric sensors and three ultrasonic sensors horizontally positioned to detect the stalks. The simulation was performed used different skips sizes to check the accuracy of the sensors. The correlation between the real size and measured was 0.99; however, the sensors exhibited maximum RMSE of 0.055 m. Fields scans demonstrate that the sensors are able to identify the presence and absence of stalks within the row. The field with the lowest number of cuttings presented smaller number of skips. The sensors were able to identify patterns of spatial distribution in the field of sugarcane with a greater number of cuts. In both study fields, the ultrasonic sensor identifies a greater number of skips in the field compared to the photoelectric because of the sensor's ability to identify small sugarcane ratoon. The proposed methodology is able to generate localized information of skips aiding in decision-making.

**KEYWORDS:** Ultrasonic Sensor, photoelectric sensor, spatial skips

### **INTRODUÇÃO**

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma cultura que demanda grandes investimentos, principalmente na implantação do canavial, em razão do elevado custo da mecanização, manutenção do canavial ao longo dos anos, e custo de insumos. A produtividade do canavial diminui a cada ano e, da mesma forma, o seu retorno

econômico (SPEKKEN et al., 2015). Devido ao número de cortes realizados na cultura, os tratos culturais, o tráfego de máquinas e a qualidade das práticas de colheita, ocasionando danos à soqueira, a quantidade de perfilhos diminui em proporções diferentes dentro do talhão, acarretando em decréscimo na produtividade (MANHÃES et al., 2015). Para manter a longevidade e a produtividade do canavial, o monitoramento da qualidade das operações de plantio e colheita é essencial (BOCCA et al., 2015).

Estudo realizado por Stolf (1987) demonstra que espaçamentos entre colmos acima de 0,50 m ao longo das fileiras de cana-de-açúcar acarretam em perdas de produtividade. De acordo com Matsuoka e Stolf (2012), o mau manejo das soqueiras, danos causados devido às más operações mecânicas, pragas e doenças, e as condições climatológicas são fatores que influenciam na ocorrência e no aumento de falhas ao longo dos anos no cultivo da cana-de-açúcar. Assim, a demanda pela utilização de técnicas de identificação de falhas ao longo da fileira da cultura por meio de imagens obtidas com câmeras acopladas em aeronaves remotamente tripuladas (ARP) (SOUZA et al., 2017) têm crescido no Brasil. Entretanto, o uso desta metodologia ainda enfrenta alguns desafios. Imagens de alta resolução requerem procedimentos poderosos de análise pois, diferentemente das imagens de baixa resolução, os pixels gerados após o processamento podem não capturar mais as características dos alvos (SOUZA et al., 2017). A cana-de-açúcar na fase inicial de crescimento apresenta alto desenvolvimento do dossel, dificultando a identificação dos colmos através de imagens aéreas, o que conseqüentemente pode ocasionar erros na identificação e mensuração dos espaçamentos entre os colmos. Há a dificuldade de obter informações georreferenciadas de falhas com precisão devido a utilização de receptores GNSS sem correção diferencial de sinal nas ARP. Além disso é necessário utilizar técnicas avançadas de geoprocessamento para interpretar as imagens e transformá-las em dados úteis para o produtor.

Outro método de identificação de falhas passível de uso é o de sensores fotoelétricos instalados em maquinário utilizado durante a manutenção dos talhões (MOLIN e VEIGA, 2016). Entretanto, grande parte das ferramentas utilizadas para gerar informações localizadas para a gestão das lavouras demandam investimentos elevados, sendo que a busca por soluções de baixo custo é um desafio promissor na agricultura. Uma das alternativas é implementar ferramentas de baixo custo já utilizadas em outras áreas e que podem ser adaptadas para as práticas agrícolas. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi testar sensores de baixo custo para identificar, mensurar e georreferenciar falhas nas fileiras de cana de açúcar.

## MATERIAL E MÉTODOS

O primeiro método avaliado foi desenvolvido por Cavalcante (2011) e usado por Molin e Veiga (2016). Foram utilizados três sensores fotoelétricos, modelo BA2M-DDT (Autonics, Yangsan, Si, Coréia), posicionados horizontalmente para detecção de colmos (Figura 1A). Este sensor possui uma fonte de luz infravermelha, com uma sensibilidade ajustada para até 1,0 m da distância do alvo, trabalhando em 10 Hz, e tempo de resposta de aproximadamente 1 ms. Além disso foram utilizados três sensores ultrassônicos modelo HC-SR04 (ElecFreaks, Shenzhen, China) posicionados horizontalmente para detecção de colmos (Figura 1B). Este sensor permite medir distâncias mínimas de 0,02 m, sendo sua distância máxima do alvo ajustada para 1,0 m. Também foi utilizado o encoder de 60 pulsos, modelo 5820 (Hohner, Artur Nogueira, SP, Brasil), instalado na roda dianteira do trator para calcular o deslocamento do trator. A resolução de cada pulso do encoder é de 0,039 m. Os sensores identificam o início e o fim de locais com ausência de plantas ao longo da fileira e para o cálculo do tamanho destas falhas utiliza-se os valores de deslocamento mensurados pelo encoder.

Para a validação dos sensores foi realizado um ensaio com objetos padrão (estacas) simulando colmos, fixados com distâncias entre alvos de 0,1, 0,2, 0,4, 0,6, 0,8 e 1,0 m. A estrutura foi acoplada em um trator que foi submetido a cinco velocidades de deslocamento: 0,7; 1,0; 1,3; 1,6 e 2,0 m s<sup>-1</sup>. Foram realizadas 20 repetições para cada velocidade. Para comparação dos sensores fotoelétricos e de ultrassom foi realizada correlação de Pearson. Além disso, foi realizada análise de variância (ANOVA) com teste de médias para comparar os métodos de identificação em relação à influência da velocidade de avanço. Para mensurar o quanto os sensores erraram em relação aos valores reais, foi calculada a raiz quadrática do erro médio (RMSE).

Testes iniciais em campo foram realizados para verificar a funcionalidade da plataforma com os sensores. As áreas onde foi conduzido o estudo estão localizadas na APTA Polo Centro Sul, em Piracicaba, SP. A cultura encontrava-se com espaçamento entre fileiras de 1,5 m em duas áreas de aproximadamente 14 ha e 3 ha que foram colhidas em setembro de 2017. A área 1 apresentava um corte da cana soca e a área 2 apresenta cinco cortes. Os dados foram adquiridos nos dias 02 e 03 de novembro de 2017, quando a cana-de-açúcar estava no perfilhamento, aproximadamente 40 dias após a colheita (Figura 2).

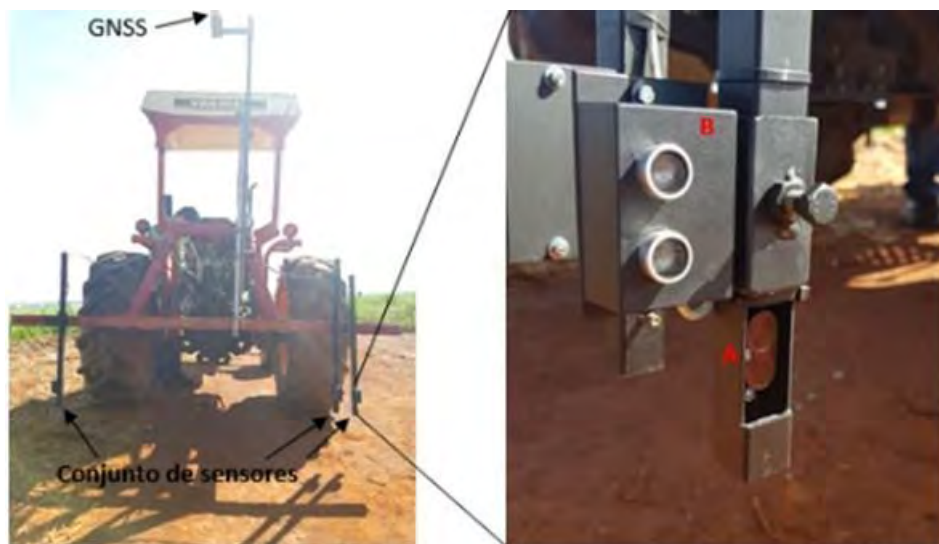


FIGURA 1. Plataforma montada com o sensor fotoelétrico (A) e sensor ultrassom (B).



FIGURA 2. Estágio da cultura durante a coleta de dados.

O conjunto de sensores permite realizar a identificação e mensuração de falhas em três fileiras simultâneas (um sensor por fileira). Em média, os sensores realizam a leitura a 0,75 m de distância do alvo e a uma altura de 0,20 m do solo. Os dados dos sensores juntamente com os dados de posição gerados pelo receptor GNSS com correção diferencial RTK foram coletados a uma frequência de 10 Hz, com velocidade média de  $1,2 \text{ m s}^{-1}$ . Foi realizado um pós-processamento dos dados para o cálculo do tamanho das falhas. O arquivo gerado pelo datalogger contém a informação da posição, identificação da ausência ou presença de colmos de cana e a distância percorrida durante o deslocamento do trator, fornecidos pelo encoder. O início e o final dos espaços com ausência de colmos são identificados e as coordenadas são extraídas. Utilizando a ferramenta 'Point2One' do software QGIS 3.0 (Geographic Information System, v. 3.0.1 Girona, QGIS 2018), os pontos (coordenadas) identificados como falhas foram convertidos em linhas. O arquivo de linha, além de ter as informações da localização espacial das falhas, também contém informações do tamanho da falha, sendo esta, o valor da distância percorrida fornecida pelo encoder. Foram realizados a estatística descritiva e o cálculo de porcentagem de falhas para as duas áreas de estudos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A velocidade influencia na capacidade dos sensores em mensurar o tamanho das falhas. Há diferença significativa entre os valores de erros entre a velocidade  $0,7 \text{ m s}^{-1}$  e  $2,0 \text{ m s}^{-1}$  para o sensor ultrassom (Figura 3A). Para as demais velocidades não houve diferença significativa nos valores dos erros. O sensor fotoelétrico apresentou diferença entre os valores mensurados nas velocidades  $0,7 \text{ m s}^{-1}$ ,  $1,6$  e  $2 \text{ m s}^{-1}$ . O sensor ultrassom teve o menor valor, RMSE de  $0,042 \text{ m}$  na velocidade de  $0,7 \text{ m s}^{-1}$ , e o maior valor de RMSE foi de  $0,055 \text{ m}$  na velocidade  $2,0 \text{ m s}^{-1}$  (Figura 3B), o que indica que em baixas velocidades há um menor erro de mensuração

das falhas e, conforme há o aumento na velocidade de deslocamento, há aumento do erro de mensuração. Nas demais velocidade a média do erro foi de 0,046 m. O sensor fotoelétrico teve o menor RMSE na velocidade 0,7 m s<sup>-1</sup> (0,034 m) e o obteve um erro de 0,055 m na velocidade 2 m s<sup>-1</sup>. Os valores RMSE mínimos dos sensores são próximos do valor da resolução do encoder, que é de 0,039 m. Esses valores de RMSE são menores do que encontrados por Souza et al. (2017), RMSE de 1,29 m, utilizando a metodologia de identificação e mensuração de falhas por imagens aéreas.

A correlação entre tamanho real do alvo e o valor mensurado pelos sensores fotoelétrico e ultrassom foi de 0,99, indicando que os sensores apresentam os mesmos valores de RMSE, independentemente do tamanho de alvo. Molin e Veiga (2016) mostram uma correlação média de 0,70 entre valores mensurados pelo sensor fotoelétrico e valores reais de falhas. Foi observado que na velocidade de 1,6 m s<sup>-1</sup> o sensor ultrassom identificou 50% dos alvos de 0,10 m. Na velocidade de 2 m s<sup>-1</sup> os sensores não conseguiram identificar os alvos de 0,10 m. Diante disso, embora espaçamentos entre colmos de 0,10 m não são considerados como falha pela metodologia de Stolf (1987), é recomendável a utilização dos sensores fotoelétrico e ultrassom para identificação e mensuração de falhas a velocidades de deslocamento até 2 m s<sup>-1</sup> (7,2 km h<sup>-1</sup>).

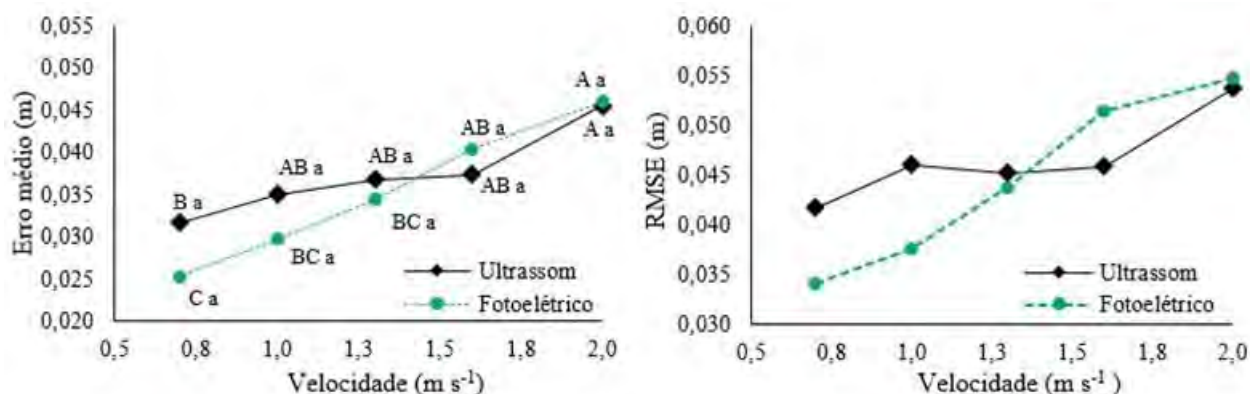


FIGURA 3. Teste de comparação de médias para avaliar o efeito da velocidade sobre o erro dos sensores na medida das falhas (A). Valores de RMSE em função da velocidade de deslocamento (B).

\*Valores de erro médio seguidos de mesmas letras maiúsculas em diferentes pontos de velocidade não diferem pelo teste de Tukey a 5%. Os diferentes sensores com as mesmas letras minúsculas em diferentes pontos de velocidade não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A área 2 apresentou um número maior de falhas (Tabela 2). O sensor fotoelétrico identificou 4163 falhas, o que representou 14,2% das linhas de cultivo, enquanto o sensor ultrassom identificou 5253 falhas, 1090 falhas a mais do que o sensor fotoelétrico, representando 18,1% das linhas de cultivo. Stolf (1986), em seu método para a avaliação da qualidade do plantio de cana-de-açúcar, sugeriu que uma quantidade de falha de até 10% indica que a operação poderia ser classificada como excelente. Na área 1 o sensor fotoelétrico identificou 499 falhas representando 2,4% das linhas de cultivo, já o sensor ultrassom identificou 689 falhas representando 3,5% das linhas de cultivo. O número menor de falhas na área 1 ocorre por ser uma área de primeiro corte, sofrendo uma menor influência dos fatores que afetam a ocorrência de falhas no talhão. Na área 2, onde foi realizado o sexto corte da cana soca, houve a ocorrência de maior número e maior tamanho de falhas. Isto pode ser relacionado ao maior número de operações mecanizadas realizadas durante a colheita e manejo das soqueiras. Além disso, pode haver acúmulo de danos causados por pragas e doenças ao longo dos anos de cultivo da cana soca ou sofreu a influência de outros fatores (MATSUOKA e STOLF, 2012).

TABELA 1. Informações geradas pelos sensores em duas áreas de cana-de-açúcar.

Atributos	Área 1	Área 2
Área (ha)	3,0	14,5
Número de fileiras	109	271
Comprimento mínimo (m)	16,9	7,8
Comprimento máximo (m)	255,9	486,4
Comprimento total (km)	20,3	92,6

TABELA 2. Informações das falhas em duas áreas de cana-de-açúcar geradas pelos sensores.

	Fotoelétrico	Ultrassom	Fotoelétrico	Ultrassom
Número de falhas	499	689	4163	5253
Tamanho médio (m)	1,0	1,0	3,2	3,2
Tamanho máximo (m)	5,6	5,7	106,7	108,3
Soma (km)	0,5	0,7	13,1	16,8
Porcentagem de falhas (%)	2,4	3,5	14,2	18,1

Em ambas as áreas de estudo o sensor ultrassom identificou um número maior de falhas em relação ao sensor fotoelétrico. Isso possivelmente está relacionado à capacidade do sensor ultrassom em identificar pequenas soqueiras de cana-de-açúcar. De acordo com as especificações técnicas do sensor ultrassom, a identificação do alvo só é feita quando o mesmo tiver no mínimo 0,5 m<sup>2</sup> de área. O sensor ultrassom apresenta a mesma distribuição dos tamanhos de falhas, porém a ocorrência de falhas é maior (Figura 4). Isso significa que não há diferença entre os tamanhos de falhas mensurados pelos dois sensores, porém o sensor ultrassom identificou um número de falhas maior, além daquelas que o sensor fotoelétrico identificou. Nota-se que nas duas áreas de estudos há maior ocorrência de falhas de 1,0 a 2,0 m de comprimento. Na área com número maior de cortes é evidente que há maior ocorrência de falhas com tamanhos maiores, indicando que há o aumento nos tamanhos das falhas ao longo dos anos.

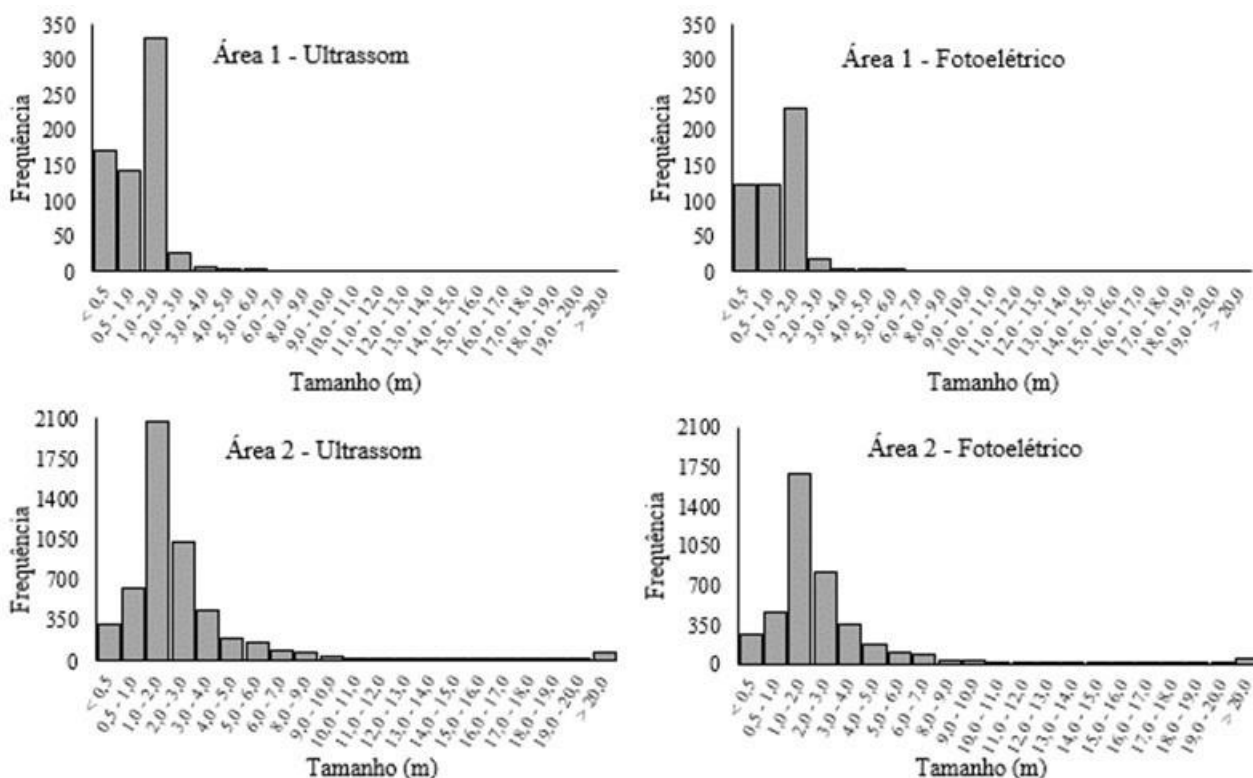


FIGURA 4. Histograma de distribuição do tamanho das falhas identificadas e mensuradas nas áreas de estudo utilizando os sensores ultrassom e fotoelétrico.

Os mapas criados a partir dos dados georreferenciados fornecidos pelos sensores mostram a distribuição espacial das falhas nas duas áreas de cana-de-açúcar (Figura 5 e 6). Observa-se que há aleatoriedade na distribuição espacial das falhas na área 1. Os sensores conseguiram identificar as mesmas falhas dentro das fileiras, porém é notável que o sensor ultrassom identificou quantidade maior de falhas. Na área 2 há padrões de distribuição espacial das falhas. Pode ser visto que há concentração de falhas (círculo verde) no canto noroeste do talhão, que possivelmente está relacionado à concentração de água, devido à baixa altitude e declividade do terreno convergente nesta região do talhão. Excesso de água pode resultar em vários problemas, como o atraso na germinação, a podridão dos brotos e das raízes devido à falta de oxigênio e aumento do risco de doenças (SOUZA et al., 2017; RAY et al., 2009).

Maior ocorrência de falhas é observada no começo das linhas (elipse vermelha na Figura 6) de cana-de-açúcar, provavelmente causadas durante as manobras do conjunto de transbordo e colhedora durante a colheita. Nota-se que nesta área o sensor ultrassom identificou algumas falhas com tamanho entre 10 e 15 m



(polígono azul na Figura 6) que não foram detectadas pelo sensor fotoelétrico. De acordo com Molin e Veiga (2016), o sensor fotoelétrico pode detectar algumas folhas de cana e não apenas caules. Além disso pode haver a detecção falsa de plantas em locais onde há infestação de ervas daninhas ou há presença de outros obstáculos, como os resíduos da colheita. Entretanto, os sensores ultrassom não conseguiram detectar estes obstáculos. Como os dados são georreferenciados, podem ser usados para direcionar a verificação a campo nos pontos mais relevantes.

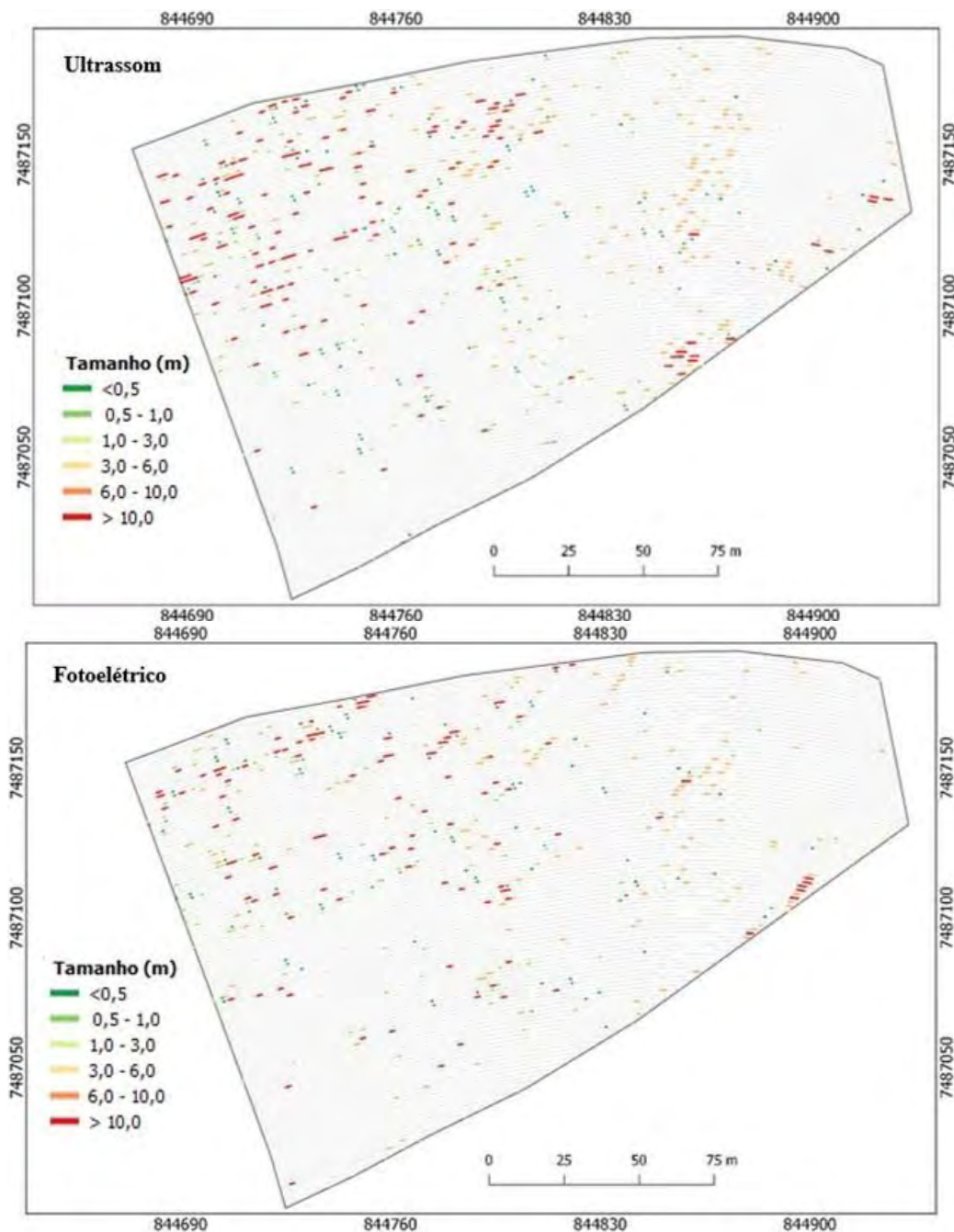


FIGURA 5. Mapas de falhas gerados a partir dos dados dos sensores fotoelétrico e ultrassom para a área 1.

A capacidade do sensor ultrassom em identificar pequenas soqueiras da cultura indica que a fase de desenvolvimento da planta influencia na capacidade do sensor em identificar as falhas, sendo que o sensor ultrassom superestimou o número de falhas em locais com menor desenvolvimento da soqueira. Mesmo se for aceito que o método superestima números de falhas, ele fornecerá evidências de onde a perda de rendimento será mais elevada. Embora há diferença no número de falhas identificadas entre os sensores fotoelétrico e ultrassom, a metodologia de identificação proposta apresenta uma estimativa baseada em todas as linhas da cana-de-açúcar dentro do talhão. Já o método tradicional de avaliação de falhas considera apenas algumas partes de algumas linhas de plantio (STOLF, 1986). De acordo com Souza et al. (2017) existe a possibilidade

de comparação dos mapas de falhas com outros mapas, como mapas de vegetação, mapas de produtividade e mapas de solo e declive, gerando informações adicionais para auxiliar na tomada de decisões.

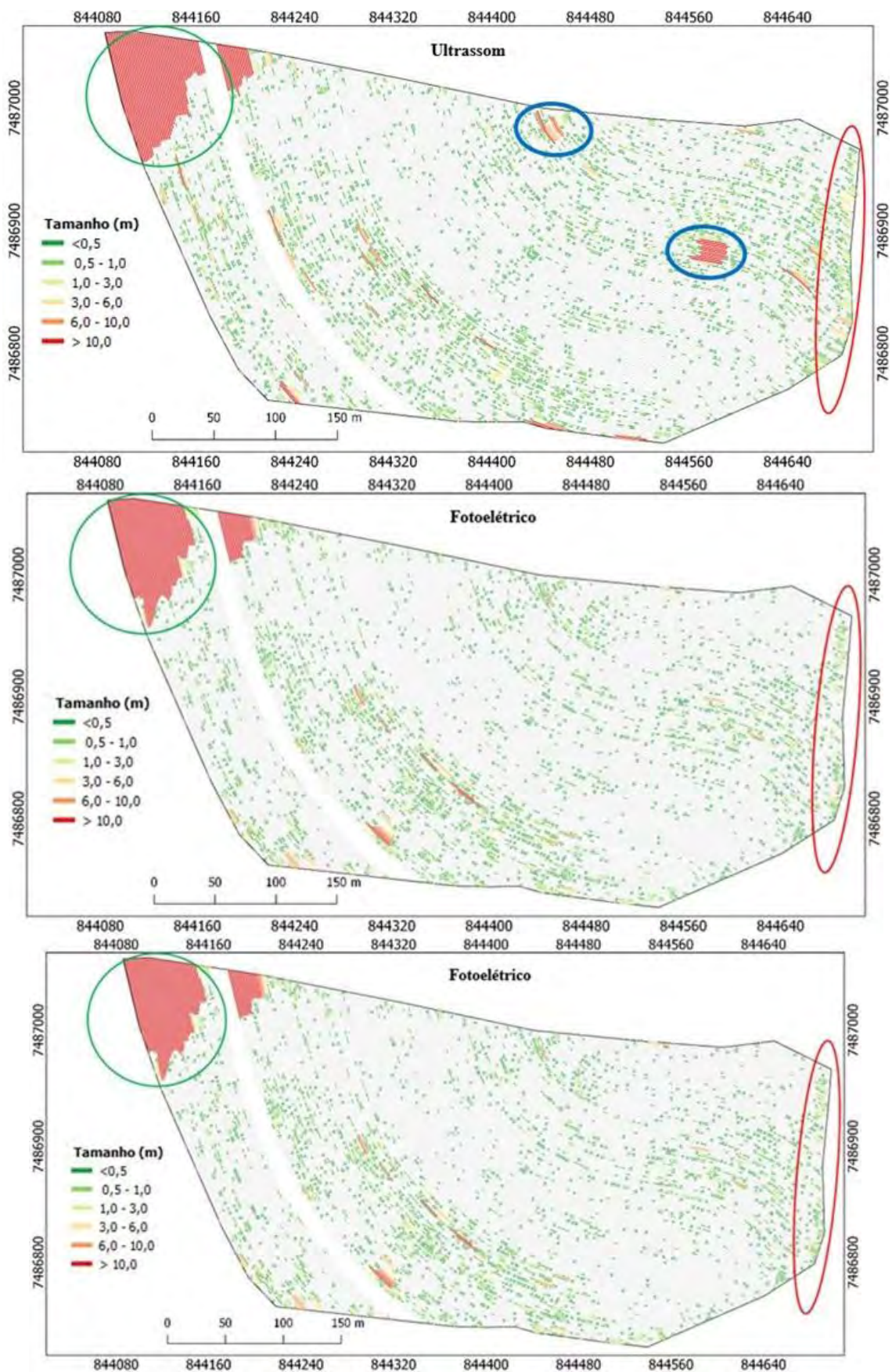


FIGURA 6. Mapas de falhas gerados a partir dos dados dos sensores fotoelétrico e ultrassom para a área 2.

Estes sensores podem ser facilmente acoplados em equipamentos que realizam operações de manutenção do canavial, como pulverização ou adubação, obtendo a informação de falhas sem a necessidade de operação dedicada. Tais sensores podem auxiliar na racionalização da aplicação de insumos somente em locais onde há plantas, reduzindo assim custos de insumos. Outro potencial das informações localizadas de falhas é permitir decidir qual porção da lavoura tem de ser replantada ou renovada, diminuindo assim o custo de implantação.

## CONCLUSÃO

O uso de sensores ultrassom e fotoelétricos juntamente com um receptor GNSS tem potencial para fornecer informações georeferenciadas das falhas presentes nas fileiras da cana-de-açúcar, apresentando alta correlação entre o tamanho real das falhas e o mensurado. Testes em campo demonstram que os sensores são capazes de identificar a presença e a ausência de colmos ao longo da fileira. O sensor ultrassom identificou um número maior de falhas em relação ao sensor fotoelétrico devido a sua restrição de identificar alvos de tamanhos pequenos. Os sensores identificaram e mensuram as falhas em áreas com diferentes número de cortes, indicando que a metodologia é aplicável a diferentes áreas com diferentes números de corte e para investigar a evolução das falhas ao longo dos anos de cultivo da cana-de-açúcar, auxiliando na tomada de decisão.

## REFERÊNCIAS

- CAVALCANTE, D.S. **Estudos com sensores para a mensuração de falhas nas fileiras de cana-de-açúcar (*Saccharum SSP.*)**. 75p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.
- BOCCA, F.F., RODRIGUES, L.H.A., ARRAES, N.A.M. When do I want to know and why? Different demands on sugarcane yield predictions. **Agricultural Systems**. v. 135, p. 48–56, 2015.
- MANHÃES, C. M. C., GARCIA, R. F., FRANCELINO, F. M. A., DE OLIVEIRA FRANCELINO, H., COELHO, F. C. Factors that affect sprouting and tillering of sugar cane. **Vertices**, v.17, n.1, p. 163-181, 2015.
- MATSUOKA, S., STOLF, R. **Chapter 5 - sugarcane tillering and ratooning: key factors for a profitable cropping**. In: Goncalves, J.F., Correia, K.D. (Eds.), *Sugarcane: Production, Cultivation and Uses*. Nova Science Publishers, p. 137–157, 2012.
- MOLIN, J. P., VEIGA, J. P. S. Spatial variability of sugarcane row skips: measurement and mapping. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 3, p. 347-355, 2016.
- RAY, J.D., SINCLAIR, T.R., GLAZ, B. Sugarcane response to high water tables and intermittent flooding. **Journal of Crop Improvement**, v. 24, p. 12-27, 2009.
- SOUZA, C. H. W., LAMPARELLI, R. A. C., ROCHA, J. V., MAGALHÃES, P. S. G. Mapping skips in sugarcane fields using object-based analysis of unmanned aerial vehicle (UAV) images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 143, p. 49-56, 2017.
- STOLF, R. Methodology for gap evaluation on sugarcane lines. **STAB** 4, p. 12–20, 1986.
- SPEKKEN, M., MOLIN, J. P., ROMANELLI, T. L. Cost of boundary manoeuvres in sugarcane production. **Biosystems Engineering**, v. 129, p. 112-126, 2015.