

SENSOR A LASER PARA ESTIMATIVA DE PARÂMETROS BIOMÉTRICOS NA CANA-DE-AÇÚCAR

TATIANA FERNANDA CANATA¹, JOSÉ PAULO MOLIN², ANDRÉ FREITAS COLAÇO³,
RODRIGO GONÇALVES TREVISAN⁴, ZAQUEU FERNANDO MONTEZANO⁵

¹ Eng^a Biossistemas, Depto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ, USP, Piracicaba – SP, Fone: (19) 3447-8581, tatiana.canata@usp.br

² Eng^o Agrícola, Professor Associado, Depto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ, USP, Piracicaba – SP.

^{3,4} Eng^o Agrônomo, Depto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ, USP, Piracicaba – SP.

⁵ Eng^o Agrônomo, Instituto Agronômico, IAC, Campinas – SP.

*Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2016
Goiânia, Goiás, 4 a 6 de outubro de 2016*

RESUMO: A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) tem um papel fundamental na economia agrícola brasileira, especialmente no Estado de São Paulo. Os sensores a laser são abrangidos pela tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) e têm sido utilizados para a estimativa de produtividade de culturas como milho, trigo e para o monitoramento de florestas de modo não invasivo. O objetivo deste estudo é a aplicação do sensor a laser para estimativa de parâmetros biométricos das plantas de cana-de-açúcar no período pré-colheita. Foram utilizadas oito parcelas experimentais com dimensões de 12 m x 30 m cada. As medidas com o sensor foram realizadas 10 dias antes da colheita, enquanto que as medidas manuais foram realizadas 15 dias antes da colheita. O sensor a laser utilizado emite feixes de luz com comprimento de onda de 905 nm, sendo coletados valores de distância entre o sensor e as plantas com resolução angular de 1° ao longo de um plano, amplitude de leitura de 180°, frequência de 75 Hz e 8 m de alcance. Um par de receptores GNSS com correção diferencial foi utilizado em conjunto com o sensor para a obtenção dos dados georreferenciados. Não houve correlação entre as medidas de biometria, altura de plantas e as medidas pelo sensor. Assim como não houve variabilidade significativa em ambos. A correlação entre a altura do quartil superior das plantas e o número de colmos foi de -0,70. A aquisição de dados demanda alguns ajustes como a estabilização do sensor devido às condições do terreno.

PALAVRAS-CHAVE: LiDAR, monitoramento de produtividade, variabilidade espacial

LASER SENSOR TO ESTIMATING BIOMETRIC PARAMETERS FOR SUGARCANE

ABSTRACT: Sugarcane (*Saccharum* spp.) has an important economic role in Brazilian agriculture, especially in São Paulo State. The laser sensors are inserted in the LiDAR (Light Detection and Ranging) technology and have been employed to estimate yield for corn, wheat and monitoring forests. The objective of this study is the use of the laser sensor for estimating biometric parameters of sugarcane plants in the pre-harvest period. Eight experimental plots were used with dimensions of 12 m x 30 m each. The laser sensor measurements were carried 10 days before harvest, while the manual measurements were taken 15 days before to harvest. The sensor emits a laser beam with a wavelength of 905 nm being collected distance values between the sensor and the plants with an angular resolution of 1° over a background, scan range of 180°, frequency of 75 Hz and 8 m of range. GNSS receivers with differential correction were used together to the sensor obtaining georeferenced data. There was no correlation among the biometric measures: plants height and yield, and plants height measured by the laser sensor. There was no significant variability in both. The correlation between the highest quartile plants height and the number of stems was -0.70. The data acquisition demands some adjustments as the stabilization of the sensor due to the terrain conditions.

KEYWORDS: LiDAR, spatial variability, yield monitoring

INTRODUÇÃO: A produção brasileira de cana-de-açúcar na safra 2015/16 foi de aproximadamente 617 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 8,0% em relação à safra anterior. A produtividade média na safra atual, alcançou 83,0 t ha⁻¹ (CONAB, 2016). O comportamento crescente da produtividade de culturas agrícolas está associado, de modo geral, a utilização das tecnologias de Agricultura de Precisão (AP), acarretando em maior demanda por equipamentos para a obtenção de dados, especialmente relacionados à variabilidade espacial e temporal das lavouras. O emprego destas tecnologias contribui no acompanhamento do ciclo de produção dos cultivos agrícolas a fim de melhor aproveitar os insumos e recursos disponíveis na lavoura. Porém, na cultura de cana-de-açúcar são verificadas deficiências em soluções técnicas para a geração de mapas de produtividade, que correspondem à resposta da cultura ao amplo conjunto de fatores. Em função da escassa disponibilidade de alternativas para se mensurar a produtividade na cana-de-açúcar, uma metodologia que possibilite a aquisição de dados, de modo não invasivo, em algum momento anterior à colheita é essencial para os avanços de estudos a cerca do monitoramento da variabilidade em tempo real. Os sensores a laser são abrangidos pela tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*), a qual é caracterizada como forma de medição de distâncias através de pulsos emitidos por laser de forma instantânea e não destrutiva (ZHENG et al., 2013). Na agricultura tais sensores podem ser empregados para a detecção de obstáculos em máquinas agrícolas que utilizam direção autônoma (DOERR et al., 2013), para obtenção de modelos tridimensionais de culturas de porte arbóreo (COLAÇO et al., 2015) e em cultivos agrícolas como milho e trigo (SELBECK et al., 2010; SCHIRRMANN et al.; 2016). O objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade da aplicação do sensor a laser para estimativa de parâmetros biométricos das plantas de cana-de-açúcar no período pré-colheita.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo foi realizado em uma área experimental situada na Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), em Piracicaba, SP. A área de estudo é de 0,58 ha com a cultivar de cana-de-açúcar IAC 95-5094 de 12 meses dispostas em 16 parcelas com dimensões de 12 m x 30 m cada. O espaçamento entre sulcos é de 1,50 m e as plantas foram submetidas a tratamentos referentes a diferentes doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹). Devido à inclinação do terreno e a presença de folhas “deitadas” nas bordaduras das parcelas, o sensor apresentou alguns erros na aquisição de dados e, portanto, foram consideradas as oito parcelas centrais, totalizando 0,29 ha. A aquisição de dados em campo ocorreu 10 dias antes da colheita de cana-de-açúcar com o sensor a laser LMS200 (SICK AG, Waldkirch, Alemanha) e o receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) GR3 (TOPCON, Califórnia, EUA) alocados 4,0 m acima do solo a fim de georreferenciar os dados de altura de plantas. Uma estrutura tipo viga em balanço foi acoplada rigidamente à lateral de um trator para a estabilidade do sensor durante a coleta de dados. O trator trafegou com velocidade aproximadamente constante de 1,0 m s⁻¹ nos carregadores de 3,0 m de largura entre as parcelas. O feixe laser coleta pontos em um plano emitindo um feixe de luz com comprimento de onda de 905 nm, o qual é direcionado pela rotação de um espelho no interior do sensor na frequência de 75 Hz. No presente estudo adotou-se a amplitude de 180° com resolução angular de 1°, alcance máximo de 8 m e a resolução das distâncias em milímetros. Segundo o fabricante o erro nesta configuração é de ± 5 mm. Os dados do sensor e do receptor GNSS são enviados para um computador portátil com a interface de sincronização e registro dos dados. Os dados coletados foram convertidos para coordenadas cartesianas no formato UTM (*Universal Transversa de Mercator*). A coordenada *z* é calculada a partir do ângulo de leitura do sensor e da distância entre o sensor e o alvo. Os valores de distância fornecidos pelo sensor são na forma de coordenadas polares, os quais foram convertidos em coordenadas cartesianas por meio de um procedimento desenvolvido no *software* R (R Development Core Team), sendo necessário indicar na rotina de programação a altura do sensor em relação ao solo. A nuvem de pontos gerada foi analisada por meio do *software* CloudCompare para a identificação da altura de plantas de cana-de-açúcar na área experimental. A limpeza de dados, realizada manualmente no mesmo *software*, envolve a eliminação da sobreposição de 4,0 m decorrente da faixa de leitura alcançada pelo sensor no trajeto percorrido em cada parcela. A altura média das plantas de cana-de-açúcar de cada parcela foi calculada a partir da relação entre cada coordenada cartesiana do eixo *z* no ponto *i* e o número de pontos. O coeficiente de variação foi calculado para a verificação da variabilidade espacial de altura de plantas de cada parcela experimental. Nas medidas manuais, obtidas 15 dias antes da colheita de cana-de-açúcar, os dados de altura das plantas foram coletados por meio de uma régua topográfica, de modo individual em cinco plantas de cada parcela, obtendo a altura

média de plantas. A biometria foi realizada em duas linhas centrais de plantio em cada parcela, obtendo o número de colmos, o número de colmos totais de cada linha de plantio dividido pelo comprimento de cada parcela. A estatística descritiva e as correlações referentes aos dados provenientes do sensor a laser e as medidas obtidas manualmente foi realizada no *software* Minitab.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O resultado do processamento de dados do sensor a laser, considerando as oito parcelas da área experimental, é apresentado na Figura 01. A nuvem de pontos gerada permite identificar o formato tridimensional da área de estudo e o seu georreferenciamento, assim como verifica-se a homogeneidade quanto à altura das plantas na área experimental.

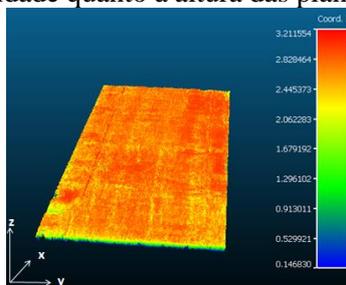


Figura 01. Altura de plantas de oito parcelas experimentais, obtidas pelo sensor a laser. **Plants height of the eight experimental plots, obtained by the laser sensor.**

Devido à arquitetura da vegetação de cana-de-açúcar nesse estágio de maturação há uma dificuldade em individualizar as plantas na nuvem de pontos, o que significa que a resolução do sensor a laser empregado permite apenas obter as feições em pequena escala. Na Tabela 01 é apresentada a estatística descritiva dos dados obtidos pelo sensor a laser utilizando as oito parcelas experimentais.

TABELA 1. Estatística descritiva de dados do sensor a laser. **Descriptive statistics of the laser sensor data.**

Altura de plantas (m)							
Parcelas	Número de pontos	Mínima	Máxima	Média	Quartil superior	Desvio padrão (m)	Coefficiente de variação (%)
02	1.941.625	0,14	2,96	1,76	2,21	0,58	32,95
03	2.390.518	0,14	2,94	1,66	2,09	0,56	33,73
06	2.175.248	0,14	3,00	1,87	2,29	0,57	30,48
07	2.798.935	0,14	3,00	1,81	2,23	0,56	30,94
10	1.921.656	0,14	2,96	1,86	2,27	0,54	29,03
11	2.576.604	0,14	2,99	1,88	2,31	0,56	29,79
14	1.734.159	0,14	3,08	1,85	2,27	0,56	30,27
15	2.553.001	0,14	3,01	1,94	2,37	0,58	29,90

Os resultados demonstraram que houve variação de até 33,73% quanto à altura de plantas. Assim, houve pouca variabilidade espacial sobre este parâmetro nas parcelas experimentais avaliadas nesse estudo. A altura máxima e o quartil superior foram considerados nesse estudo devido à sua melhor representação quanto à altura de vegetação. Os valores de medidas manuais realizadas em campo, como a altura média de plantas de cana-de-açúcar, o número de colmos, e o número de colmos total dividido pelo comprimento da parcela são apresentados na Tabela 02.

TABELA 2. Medidas manuais: altura média, número de colmos de cana-de-açúcar para cada parcela da área experimental avaliada. **Manual measurements: average plants height, number of stems of sugarcane for each plot of the experimental area.**

Parcelas	Altura média de plantas (m)	Número de colmos total	Número de plantas m ⁻¹
02	3,63	1.114	12,38
03	3,49	1.241	13,79
06	3,59	1.183	13,14
07	3,64	1.093	12,14
10	3,74	1.116	12,40
11	3,75	1.103	12,26
14	3,67	1.083	12,03
15	3,69	1.081	12,01

Para os valores de altura de plantas, máxima e quartil superior, foi verificada uma correlação de Pearson ($\alpha=5,0\%$) entre estes valores e a razão entre o número de colmos e o comprimento da parcela de -0,57 e de -0,70, respectivamente. Devido a necessidade de estabilização do sensor nas condições de campo, a aquisição de dados pelo sensor a laser pode ter sido prejudicada. Não foram verificadas correlações entre a altura média medida manualmente e as demais variáveis, assim como não houve variabilidade espacial nas parcelas experimentais avaliadas.

CONCLUSÃO: O emprego do sensor a laser pode ser uma ferramenta auxiliar na investigação do potencial de produção na cultura da cana-de-açúcar. A altura de plantas indicada pelo sensor a laser demonstrou correlação razoável com o número de colmos de cana-de-açúcar, sendo que a correlação negativa entre as medidas avaliadas necessita de maior investigação.

AGRADECIMENTOS: A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de estudo, a APTA (Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios) pelo suporte em campo e a empresa Máquinas Agrícolas Jacto pela parceria.

REFERÊNCIAS:

COLAÇO, A. F.; TREVISAN, R. G.; EITELWEIN, M. T.; MOLIN, J. P.; Sensor LiDAR (Light detection and ranging) para obtenção de modelos tridimensionais de culturas de porte arbóreo. **Anais... X Congresso Brasileiro de Agroinformática**, 21 a 23 de outubro de 2015. Ponta Grossa, PR. Universidade Estadual de Ponta Grossa, SBIAgro, 2015.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acesso em: 20/04/2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_18_14_27_15_boletim_cana_portugues_-_1o_lev_-_16.pdf>.

DOERR, Z.; MOHSENIMANESH, A.; LAGUE, C.; McLAUGHLIN, N. B. Application of the LIDAR technology for obstacle detection during the operation of agricultural vehicles. **Canadian Journal Remote Sensing**, Vancouver, v. 55, p. 29-16, 2013.

SCHIRRMANN, M.; HAMDORF, A.; GARZ, A.; USTYUZHANIN, A.; DAMMER, K. H. Estimating wheat biomass by combining image clustering with crop height. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 121, p. 374-384, 2016.

SELBECK, J.; DWORAK, V.; EHLERT, D.; Testing a vehicle-based scanning LiDAR sensor for crop detection. **Canadian Journal Remote Sensing**, v. 36, n. 1, p. 24-35, 2010.

ZHENG, Y.; LAN, Y.; KANG, F.; MA, C.; CHEN, H.; TAN, Y.; Using laser sensor for measuring crop conditions in precision agriculture. **ASABE Annual International Meeting**, St. Joseph, Paper Number: 131596640, 2013.