

UM MÉTODO PARA QUANTIFICAR DANOS DE BROTAÇÃO EM CANAVIAL POR CURVATURA DE ORIENTAÇÃO E DE PARALELISMO DOS SULCOS

RENAN PENEDO¹, MARK SPEKKEN², JOSÉ PAULO MOLIN³

¹ Graduando em Engenharia Agrônoma, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba, Fone: (19) 99774-1345, renan.penedo@usp.br

² Dr. Engº Agrônomo, Diretor-Pesquisador, SOMO desenvolvimento, Piracicaba-SP, mark@somoagro.com

³ Engº. Agrícola, Professor, Lab. de Agricultura de Precisão, Depto. Engenharia de Biosistemas, USP/ESALQ, Piracicaba – SP, jpmolin@usp.br

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

RESUMO: As falhas de brotação podem tornam-se mais frequentes e extensas com o passar dos anos, agravados, em parte, pela colheita mecanizada. O tráfego indesejado na soca prejudica a brotação da planta, reduzindo produtividade e longevidade do canavial. A hipótese deste trabalho é de que proporção de falhas em uma área de cana soca é maior: (1) nas localidades em que o espaçamento entre linhas desvia do espaçamento ideal e (2) nas localidades em que a curvatura das fileiras se intensifica. Avanços em geoprocessamento levaram a ferramentas comerciais que viabilizam a vetorização de fileiras de cana e falhas em linhas geográficas a partir de imagens de alta resolução obtidas por RPA. O presente trabalho faz uso destas tecnologias, propondo uma metodologia que: 1) extraia, dos arquivos geográficos, um vasto número de localizações de pontos de espaçamento entrelinhas e a angulação entre os vértices dos segmentos de linha; 2) segmente as linhas geográficas de falhas em pequenos trechos para serem identificados na proximidade com os pontos de espaçamento e vértice; 3) quantifique os trechos de falhas por classes de espaçamento e angulação entre vértices. Tal metodologia foi implementada em algoritmo computacional que permite processamento de alta resolução espacial para grandes volumes de dados. A metodologia aqui proposta permitiu quantificar, por consistência de ocorrências, a relação entre os dois fatores de dano mencionados e falhas de brotação sobre vastas áreas, o que seria manualmente oneroso de se obter. Os resultados foram consistentes em encontrar maior ocorrência de falhas nas localidades de espaçamento reduzido, com incrementos de 30 a 70% no comprimento de falhas para estreitamentos de 0,2 m. Foi observada consistência de resultados entre diferentes áreas, em concordância com a hipótese estabelecida.

PALAVRAS-CHAVE: Falhas em cana-de-Açúcar, Controle de tráfego, Sensoriamento de vegetação, VANT.

A METHOD TO QUANTIFY RATOON DAMAGE IN SUGARCANE PRODUCTION CAUSED BY PLANTING ORIENTATION AND DEVIATIONS OF PARALLELISM ALONG ROWS

ABSTRACT: Sugarcane gaps along rows often become more frequent and longer along years, partially because of mechanized harvesting. The undesired traffic affects the new growth of plant, the productivity and longevity of the cane field. The hypothesis of this work is that the proportion of gaps in a sugarcane area is greater in: (1) locations where the row-spacing deviates from the desired width, and (2) locations where the curvature of the rows intensifies. The machine wheels/caterpillars traffic between the crop rows and are dependent on the accuracy its of parallelism. Advances in geoprocessing led to commercial tools that enable vectorization of cane lines into geographic lines from high-resolution images by RPA. The present work makes use of these technologies and proposes a methodology to: 1) extract, from geographic files, a vast number of locations with measurements of width between rows (MWR) and the angle between row-line vertices; 2) break the geographic lines of vegetation gaps into small segments to be identified near the MWR and the line vertices; 3) quantify the small segments by classes of row-spacing and curve intensity. Such methodology was implemented in a computational algorithm that allows the processing of high spatial resolution images over large data volumes. The methodology proposed here allowed to quantify, by data volume consistency, the relation between the two damaging factors and the vegetation gaps over vast areas, which would be manually expensive to obtain. The results were consistent in finding greater occurrence of faults in the small spaced localities, with increments of 30 to 70% in the length of faults for narrowings of 0.2 m. Consistency was observed of results between different areas, in agreement with the established hypothesis.

KEYWORDS: Sugarcane gaps, Controlled Traffic Farming, Vegetation Sensoring, RPA

INTRODUÇÃO

Os campos de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) são renovados, em média, a cada cinco anos. Um importante requisito para alta produtividade é uma boa uniformidade de rebrotação do canavial, a qual é comprometida devido a falhas de brotação ao longo das fileiras de cana, causadas por plantio inadequado, restrições hídricas no plantio, danos durante a colheita, tráfego indesejado de máquinas sobre a soqueira, pragas/doenças, entre outros fatores (CONAB, 2018).

Uma metodologia de campo consagrada para determinação de falhas, é o método proposto por Stolf (1986) que consiste na mensuração do comprimento das falhas ao longo das linhas de plantio. Em resposta ao lento e fatigante processo de mensuração manual de falhas em campo, e o advento das tecnologias de sensoriamento, veículos terrestres foram desenvolvidos e testados para rápida detecção da presença de plantas (ALVARES et. al, 2008; MOLIN E VEIGA, 2016). Ainda assim, a despeito de sua acurácia, tais procedimentos exigem circulação de veículos por toda a plantação, custos por instrumentação de máquinas, (possível) operação adicional, e perigo de maiores danos de tráfego ao canavial.

Levantamentos da CONAB (2018), sugerem o percentual de colheita mecanizada de cana-de-açúcar no país em 90,2%, o que denota intenso tráfego por colhedoras e transbordos nas áreas produtoras. Santos et al. (2013) constataram que falhas de brotação podem tornam-se mais frequentes e densas ao longo de colheitas subsequentes de um canavial, agravados pela mecanização. O tráfego indesejado na soca prejudica o novo crescimento da planta, reduzindo produtividade e longevidade do canavial. Paula e Molin (2013) estudaram o impacto do tráfego indesejado na lavoura, encontrando sua influência na compactação do solo, resultando em menor produtividade.

Enquanto os desvios laterais de tráfego nas colhedoras e transbordos prejudicam eventualmente o canavial, os erros de tráfego no plantio levam ao contínuo amassamento da soca nas localidades em que o espaçamento entrelinha se desvia do estabelecido. Baio (2007) sugere a irregularidade do espaçamento entre linhas na cana-de-açúcar como a principal causa de danos à brotação do canavial no ano seguinte.

Trabalhos, tecnologias e métodos foram aplicados para detecção de falhas e, de forma distinta, para a mensuração de erros de paralelismo de tráfego. Porém, a despeito de hipóteses quanto à relação causa-efeito destes dois fatores, há escassez de trabalhos relacionando quantitativamente o os erros de paralelismo em fileiras de cana-de-açúcar com a presença/intensidade de falhas de brotação.

Outro agravante do tráfego indesejado são as curvas ao longo dos sulcos/fileiras do canavial. As limitações dos rodados das máquinas de se desalinharem sob curvatura, e conseqüentemente consumirem maior largura transversal de tráfego, levam ao amassamento das culturas. Spekken et al. (2014) propuseram métodos algorítmicos para mensuração do desalinhamento do tráfego de máquinas, apontando como agravantes a intensidade do esterçamento na curvatura e a maior distância entre eixos do veículo traçado.

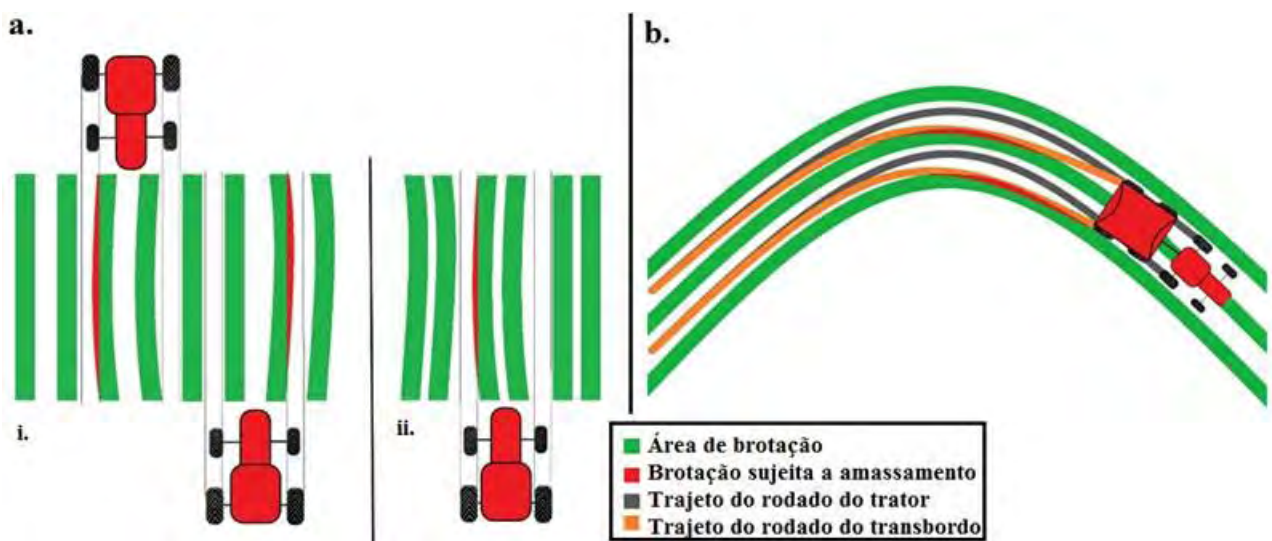


Figura 1 – Em “a”, exemplo do efeito do paralelismo em relação ao tráfego na indução de falhas em plantio de espaçamento simples (i) e espaçamento duplo alternado (ii). Em “b”, efeito da curvatura em relação ao tráfego e danos à soqueira.

A despeito de trabalhos de redesenho dos sulcos de plantio em cana-de-açúcar visando maior eficiência (Spekken et al., 2016), a relação entre a curvatura de fileiras e seu respectivo dano à soqueira de cana (levando à falhas de brotação) ainda não foi estudada.

A Figura 1 ilustra a relação dos aspectos de qualidade de paralelismo entrelinhas, tráfego de máquinas e danos à soqueira de cana. Em 1a, observa-se o dano à soqueira em duas configurações de espaçamento distintos (i – espaçamento simples contínuo, e ii – espaçamento duplo alternado). Em 1b observa-se o efeito da curvatura ao longo da fileira de cana e o potencial dano causado à brotação.

Avanços em geoprocessamento levaram a ferramentas que viabilizam a vetorização de fileiras de cana e falhas em linhas geográficas a partir de imagens de alta resolução obtidas por RPAs. Segundo Abdel-Rahman (2008), com o advento das imagens de satélite civil e utilização de aeronaves remotamente pilotadas (RPA), a agricultura se tornou um grande campo de aplicação para o sensoriamento remoto. RPAs podem fornecer imagens com alta resolução espacial (poucos centímetros por pixel), permitindo que as imagens sejam adquiridas em momentos ideais para os fins desejados, com grande velocidade de aquisição e menores custos. Souza et al.(2017) utilizando-se de imagens obtidas por RPA propuseram métodos de identificação de falhas de brotação. O presente trabalho faz uso destas tecnologias, propondo uma metodologia para mensurar e quantificar, a partir de grandes volumes de dados espaciais, os danos em brotação de cana-de-açúcar por desvios de paralelismo e orientação curvilínea no plantio.

MATERIAL E MÉTODOS

Um modelo matemático foi criado que utiliza dados de arquivos geográficos vetorizados de linhas-fileiras e falhas de vegetação. A descrição metodológica é dada a partir do fluxograma ilustrado na Figura 2.

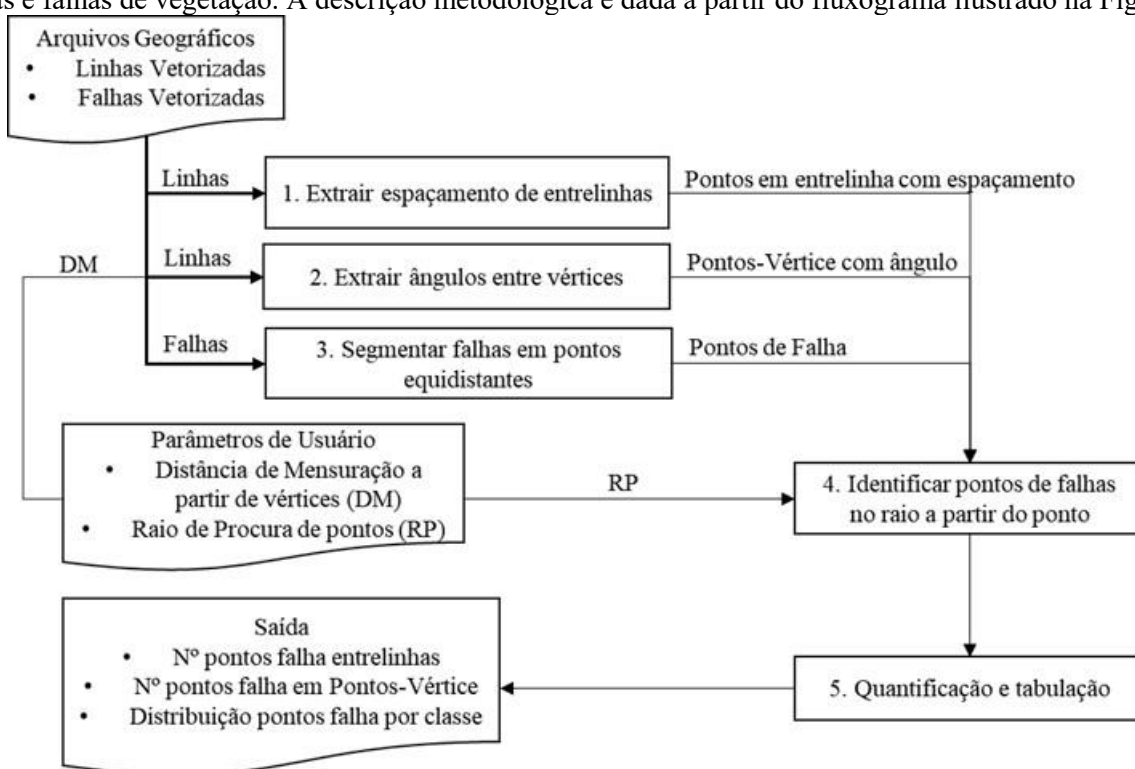
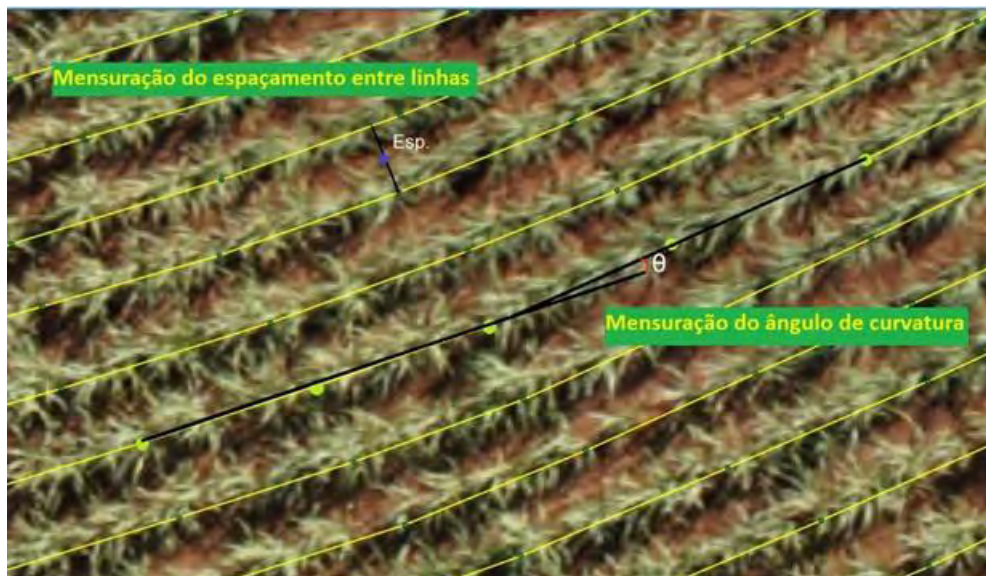


FIGURA 2. Fluxograma do modelo conceitual da metodologia proposta. (DM: Diâmetro de Mensuração a partir de vértices; RP: Raio de Procura de pontos).

O processo 1 faz uso de uma modificação do algoritmo proposto por Spekken et al. (2014) para mensuração de distância euclidiana entre ponto-e-linha em dados cartesianos. Esse método permite que o espaçamento seja obtido a partir de um ponto, pela sua distância perpendicular, até o segmento de linha transversal mais próximo.



No processo 2,

os ângulos de esterçamento ao longo de uma fileira são obtidos por meio da variação de direção de segmentos em um vértice, sendo que os segmentos possuem distância de mensuração (DM) definida pelo usuário. A FIGURA 3 ilustra a obtenção destes dois parâmetros pelos processos 1 e 2.

FIGURA 3. Exemplos da mensuração do espaçamento entre linhas e ângulos de curvatura.



No Processo 3,

os dados geográficos dos segmentos de falha são fragmentados em pontos equidistantes, em intervalos de 0,1 m. Tal procedimento influencia no Processo 4, que procura pelos pontos-falha localizados no exato raio a partir de uma certa localização (um vértice de angulação, ou um ponto de espaçamento entre linha mensurado), evitando que falha de grande comprimento seja atribuída a mais de um ponto de procura. Isso pode ser observado na Figura 4, onde apenas dois pontos fragmentados de falha encontram-se no raio de uma entrelinha mensurada.

FIGURA 4. Exemplificação da segmentação das falhas e da quantificação do número de pontos falha dentro da área de influência.

A quantificação e tabulação dos dados obtidos (Processo 5) é feita com a criação de classes de espaçamento entre linhas e de ângulos de curvatura na fileira. É obtida a quantidade média de pontos de falhas encontradas nos raios de cada local (espaçamento e vértice de linha). Considerando cada ponto com a distância equidistante de 0,1 m, é quantificado o comprimento médio de falhas em cada classe. O modelo foi implementado em um aplicativo por um algoritmo computacional desenvolvido na plataforma livre Lazarus-IDE (*Free-Pascal initiative*). Um sistema de alocação espacial em índice permite rápida identificação dos pontos de falha fragmentados ao redor de qualquer referência espacial. Os dados obtidos pelo algoritmo exportam duas listas distintas: uma lista de todas as localizações de entrelinha medidos com seu respectivo espaçamento e o número de pontos de falha obtido ao redor deste; e uma lista de todos os vértices dos

segmentos de linha que compõe fileiras do canavial com sua respectiva angulação e os respectivos números de pontos de falha ao redor destes.

A tabulação dos dados foi feita em planilha Microsoft Excel™ para a separação de classes de espaçamento entre linhas e de ângulos entre vértices. O modelo aqui proposto faz uso de arquivos vetorizados para extração de informações. Assim sendo, não há discriminação no modo como estas informações são extraídas (seja por sensores próximos trafegando ao longo das linhas ou reconstrução de vetores a partir de imagem). Para este trabalho, as fileiras-linha vetorizadas de cana-de-açúcar e as respectivas falhas ao longo destas foram obtidas a partir de imagens de RPAs pelo método proposto por Spekken et al. (2018). O método faz uso de classificação radiométrica e OBIA (*Object-Based Image Analysis*) para orientar a reconstrução de fileiras-linha de vegetação. O processamento fez uso de imagens de câmeras RGB acopladas em RPAs. Essas imagens foram submetidas a processamentos e padronizadas a resolução de 0,1 m x 0,1 m de tamanho de pixel. Um estudo de caso ilustra, em passos, a obtenção dos dados com localização de área é fornecida. Porém, para as demais áreas exploradas nos resultados, os proprietários das imagens não permitiram a divulgação da localização. As áreas são de cana soca, porém não foi fornecido o número de colheitas realizadas. Duas configurações de espaçamento de plantio foram analisadas nos estudos, sendo estas: espaçamento simples (1,5 m entrelinhas) e duplo-alternado (duas fileiras próxima de 0,9 m + 1,5m entrelinhas).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Exemplo de exploração do modelo proposto

Uma área localizada na proximidade de (cidade próxima) nas coordenadas de -49.050440° , -21.142265° , com uma área de 6,55 hectares ocupada por cana-soca implantada no espaçamento de 1,5 m foi submetida à extração de fileiras-linha, falhas-linha e ao modelo aqui proposto. Uma visualização da área e das suas respectivas linhas e falhas vetorizadas extraídas é provida na Figura 5.

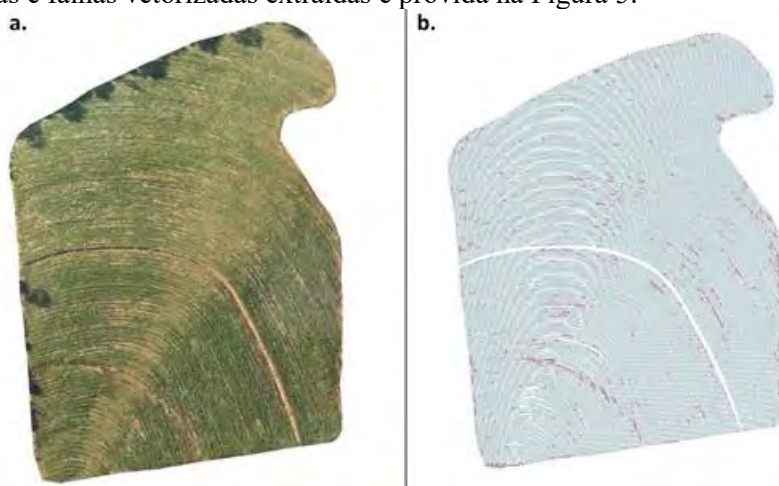


Figura 5 – Ortomosaico da área explorada no estudo de caso (a). Fileiras e Falhas provenientes do processamento da imagem (b).

Foram extraídos 43.090 m de fileiras-linha e 1.120 m de falhas-linha ao longo da área. Foram extraídos aproximadamente 19 mil pontos mensurados de espaçamento entrelinhas e identificados 10 mil pontos-vértice para ângulo de curvatura.

Nas mensurações entre linhas, 40,1%, 29,3%, 16,2%, 11,1% e 3,2% das fileiras de cana na área tiveram desvios de espaçamento mensurados entre 0-5, 5-10, 10-15, 15-25 e acima de 0,25 m, respectivamente. A Figura 6 apresenta a distribuição, em histograma, relação dos fatores aqui considerados no comprimento de falhas.

Foi observado que, nos locais em que houve estreitamento de 0,2 m e 0,4m no espaçamento houve elevação de 38,1% e 210,0%, respectivamente no comprimento médio de falhas em relação ao espaçamento correto; a elevação do espaçamento em 0,2 m e 0,4 m também elevaram o comprimento de falhas em 50,3% e 395,8%.

Em relação à linha retilínea (angulação entre $0,0^\circ$ a $1,0^\circ$), a angulação com intervalos de $4,0-5,0^\circ$ tiveram incremento em relação ao comprimento médio de falhas em 138,9%.

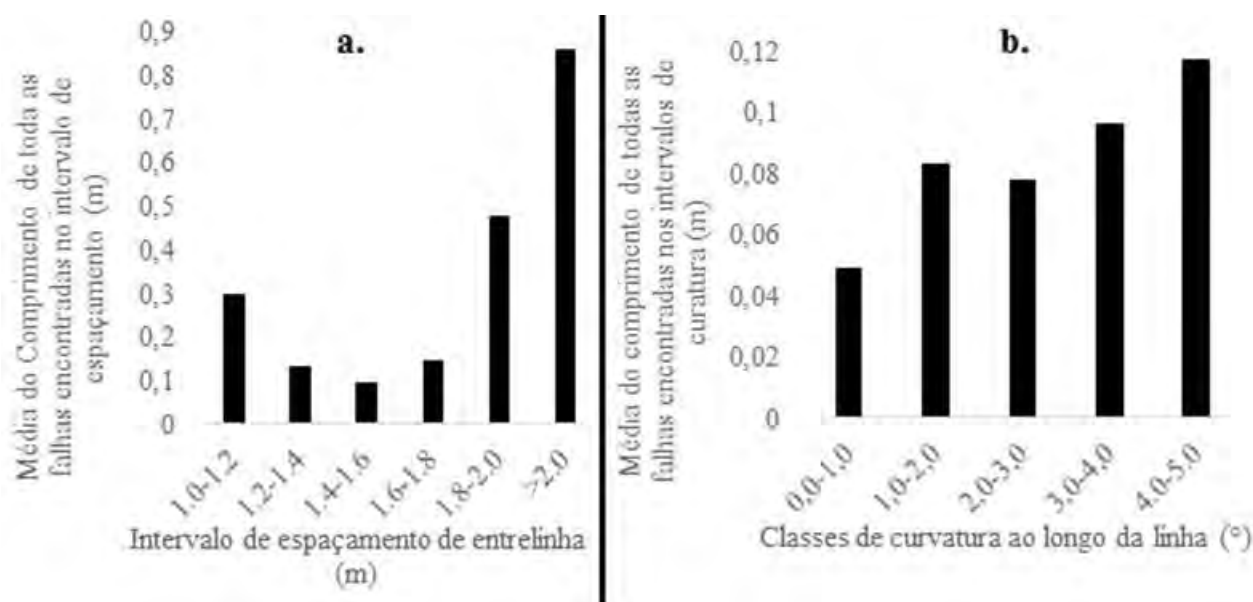


FIGURA 6. Gráfico de: a.) comprimento de falhas em relação ao espaçamento entre fileiras-linha; e b.) gráfico do comprimento falhas em relação à angulação do ponto-vértice.

Resultados de aplicação do modelo em escala

Foram submetidos 9 estudos de caso (EC) à metodologia proposta pelo atual trabalho, sendo seis áreas em configuração de plantio de espaçamento simples (ES) e três áreas de espaçamento duplo alternado (ED).

Tabela 1. Relação dos estudos de caso (imagens/talhões) com seus dados extraídos (linhas e falhas), aplicados ao modelo.

ID Estudo de caso (talhão)	Área total (ha)	Comprimento de fileiras-linha de cana-de-açúcar (m)	Comprimento de falhas-linha de vegetação (m)
EC1-ES	90,22	599,85 10^3	13,80 10^3
EC2-ES	72,23	387,00 10^3	11,93 10^3
EC3-ES	19,28	166,10 10^3	10,31 10^3
EC4-ES	122,08	551,15 10^3	100,11 10^3
EC5-ES	32,79	218,19 10^3	79,20 10^3
EC6-ES	110,24	732,01 10^3	282,25 10^3
EC7-ED	159,9	1.226,19 10^3	137,34 10^3
EC8-ED	276,77	2.246,26 10^3	255,39 10^3
EC9-ED	206,3	1.313,97 10^3	105,62 10^3

A Tabela 1 contempla a dimensão do levantamento feito neste trabalho. Um comprimento acima de 7.400 quilômetros de fileiras-linha de cana foi submetido a análise. Tal levantamento abrange a totalidade das áreas; portanto, dados não foram sujeitos a delineamento experimental ou estatístico para extrapolação das descobertas sobre as mesmas áreas.

Para quantificação da relação entre espaçamento entrelinha e falhas de brotação, foram definidas classes de espaçamento com intervalos de 0,2m. Esse valor foi tomado com base na segurança dos fatores de desvios do centro de vegetação do canavial, variação de distância dentro do pixel da imagem e variação do espaçamento entrelinhas ao longo de um único segmento (retilíneo) em uma curvatura.

Na Tabela 2 são demonstradas as classes de intensidade de desvio de espaçamento aqui utilizadas, sendo o intervalo de cada classe de 0,2 m. Estas são identificadas com o intervalo de desvios de espaçamento entrelinha em relação ao planejado, sendo “R” uma identificação para os intervalos em que o espaçamento reduz e “A” para os intervalos em que o espaçamento aumenta.

Tabela 2. Classes de definição dos espaçamentos entrelinha, número de mensurações realizadas para cada estudo de caso (áreas), número de ocorrências de espaçamento (OC) e média do comprimento de todas as falhas (CF) encontradas para cada classe.

ID Estudo de caso	Número de mensurações de espaçam.	Classes de espaçamento entrelinha									
		0.5-0.3 R		0.3-0.1 R		0.1 R – 0.1 A		0.1-0.3 A		0.3-0.5 A	
		OC	CF	OC	CF	OC	CF	OC	CF	OC	CF
EC1-ES	317,39 10 ³	565	0,34	34969	0,16	245144	0,11	34660	0,12	1100	0,16
EC2-ES	196,21 10 ³	1159	0,74	27512	0,18	136313	0,09	29062	0,13	1215	0,28
EC3-ES	75,13 10 ³	801	0,61	11629	0,50	42346	0,29	18277	0,27	1515	0,32
EC4-ES	166,42 10 ³	1599	1,42	22138	1,25	95269	0,96	43057	0,75	3274	0,65
EC5-ES	108,22 10 ³	493	0,63	32622	0,20	73391	0,13	1644	0,28	43	0,87
EC6-ES	353,83 10 ³	408	0,53	31762	0,31	253805	0,18	30942	0,19	443	0,29
EC7-ED	303,75 10 ³	5373	1,23	60354	0,64	170227	0,47	58539	0,18	6794	0,57
EC8-ED	594,95 10 ³	1661	2,34	51631	1,28	191955	0,93	65483	1,02	5153	1,13
EC9-ED	356,72 10 ³	1459	3,63	48465	1,59	210241	1,14	52997	1,11	2760	1,17

Pode-se observar as variações do comprimento médio do total de falhas entre as classes. Este comprimento é resultante obtido a partir de um grande número de observações/ocorrências, que provê robustez aos valores. Pode-se notar também que, a despeito da tendência de maior comprimento de falha nos desvios do espaçamento correto, estes são coerentes apenas dentro de um mesmo estudo de caso

O espaçamento entrelinhas é apenas um causador de falhas, mas não o único. Outras questões como tráfego irregular de máquinas no pós-plantio, condição de umidade de solo durante o tráfego (que leva a facilidade de deformação e dano), número de colheitas realizadas sobre uma área e o fenômeno da curvatura de linhas são também fatores de tráfego que levarão à variação na intensidade de dano.

Similarmente, a Tabela 3 mostra a distribuição das classes, mensurações e ocorrências encontradas. Linhas retilíneas foram, neste trabalho, tomadas como os vértices com angulação igual ou inferior a um grau (1°). Esta referência foi tomada como marco para comparação dos impactos em falhas de brotação sob crescente curvatura (Figura 8).

Tabela 3. Classes de definição do ângulo do ponto-vértice, número de mensurações realizadas para cada estudo de caso (áreas), número de ocorrências dentro do intervalo de angulação (OC) e média do comprimento de todas as falhas (CF) encontradas para cada classe.

ID Estudo de caso	Número de pontos- vértice.	Classes de ângulo do ponto-vértice									
		0°-1°		1°-2°		2°-3°		3°-4°		4°-5°	
		OC	CF	OC	CF	OC	CF	OC	CF	OC	CF
EC1-ES	165,80 10 ³	142316	0,07	142316	0,08	13001	0,10	2891	0,14	684	0,19
EC2-ES	104,07 10 ³	84104	0,02	84104	0,10	11205	0,12	3488	0,18	1168	0,19
EC3-ES	42,28 10 ³	30975	0,01	30975	0,22	5703	0,29	2309	0,34	787	0,33
EC4-ES	122,02 10 ³	96273	0,17	96273	0,71	14064	0,76	4637	0,84	1370	0,91
EC5-ES	58,30 10 ³	315753	0,04	315753	0,29	1213	0,23	273	0,20	99	0,39
EC6-ES	192,75 10 ³	292713	0,13	292713	0,08	17132	0,16	4745	0,16	1447	0,16
EC7-ED	173,46 10 ³	237332	0,54	237332	0,23	27744	0,58	18586	0,59	11575	0,60
EC8-ED	328,47 10 ³	258423	1,29	258423	1,46	34742	1,86	12654	2,37	5108	2,89
EC9-ED	192,33 10 ³	278359	1,09	278359	0,64	22861	1,28	8919	1,41	3319	1,52

A partir da Figura 7, observa-se que a redução do espaçamento entrelinha elevaram o comprimento de falhas consistentemente em todos os estudos de caso aqui avaliados. O aumento do espaçamento também promoveu esta elevação, com poucas exceções (que não são intensas). Como esperado, os danos são acentuados com maior desvio do espaçamento correto. Outros fatores de variação na indução de falhas (apontadas anteriormente) se mostram claramente entre os estudos de caso no gráfico, não permitindo uma extrapolação de fórmula universal do impacto do paralelismo no plantio. Porém a consistência dos resultados aponta para a relação causa e efeito, que pode se tornar-se ainda mais robusta mediante um maior volume de dados processados e (se possível) com metadados providos (número de cortes, presença de piloto automáticos nas máquinas que trafegam o talhão, etc).

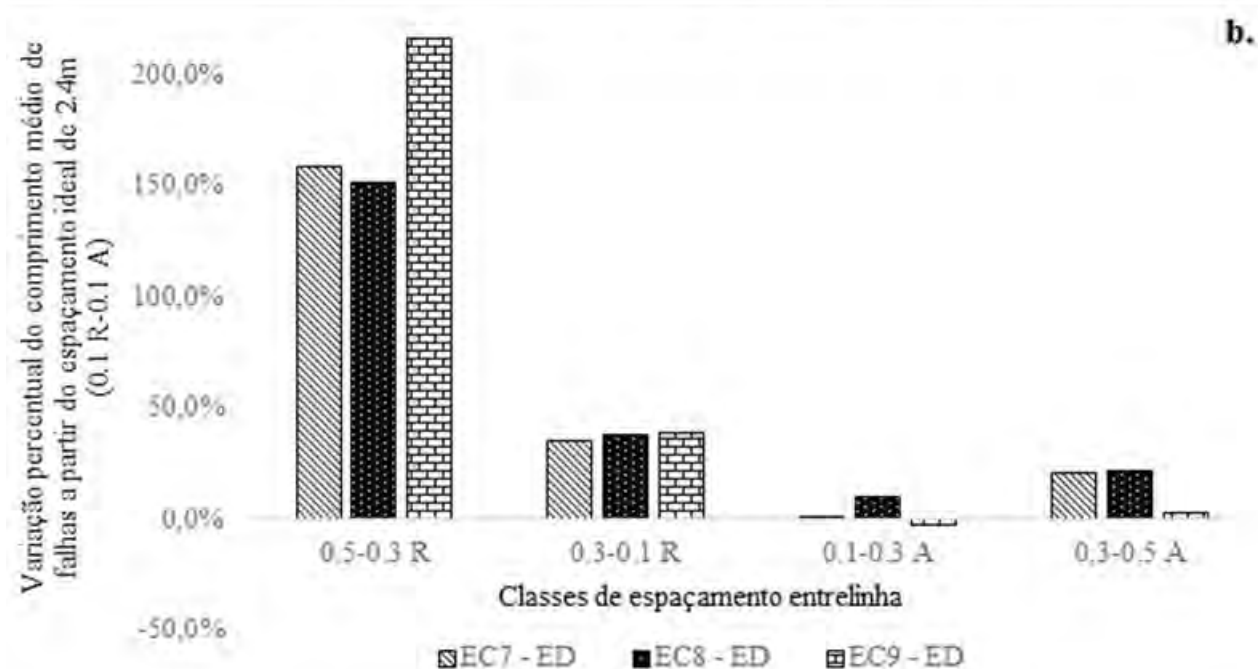
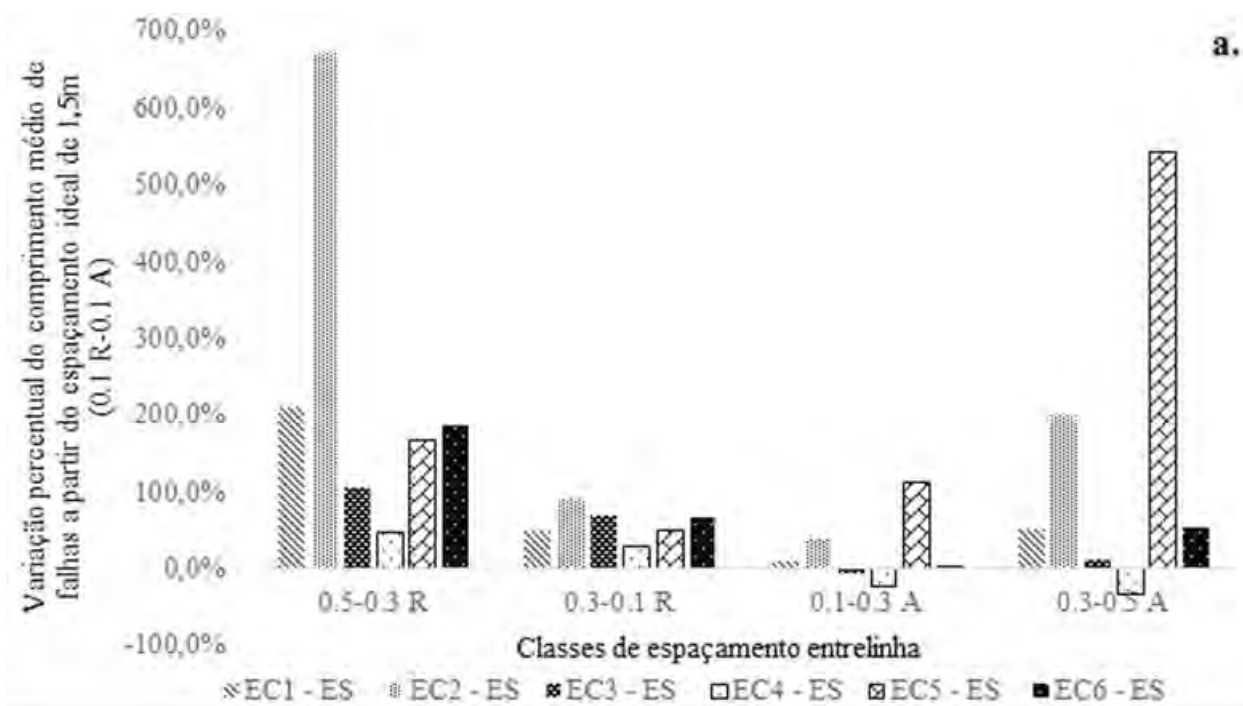


Figura 7. Impacto percentual do comprimento de falhas por desvios em referência ao espaçamento correto (0,1 R - 0,1A) para os estudos de caso analisados.

A redução do espaçamento mostrou-se sempre danosa em todos os estudos de caso, sendo que o caso de menor impacto ainda elevou comprimento de falhas em 29,8% em uma redução de 0,2m no espaçamento. Tais valores se mostram como subsídio importante para os tomadores de decisão do setor canavieiro para a aquisição de tecnologias de orientação de máquinas.

Os gráficos da Figura 8 mostram um geral incremento do percentual de falhas sob crescente curvatura. Este percentual, para os estudos de caso analisados, nunca se mostrou menor que o espaçamento retilíneo, alcançando picos significativos de elevação de falhas.

Os grandes acréscimos de comprimento de falhas, encontrados em alguns estudos de caso (para ambos os fatores aqui estudados), demandam atenção do setor canavieiro pelo seu impacto. Decisões para replantio de canavial estão sendo considerados pelo setor apesar de onerosas, mas resultados aqui apresentados mostram que tais intervenções podem ser irrelevantes se o tráfego e orientação das linhas não forem considerados.

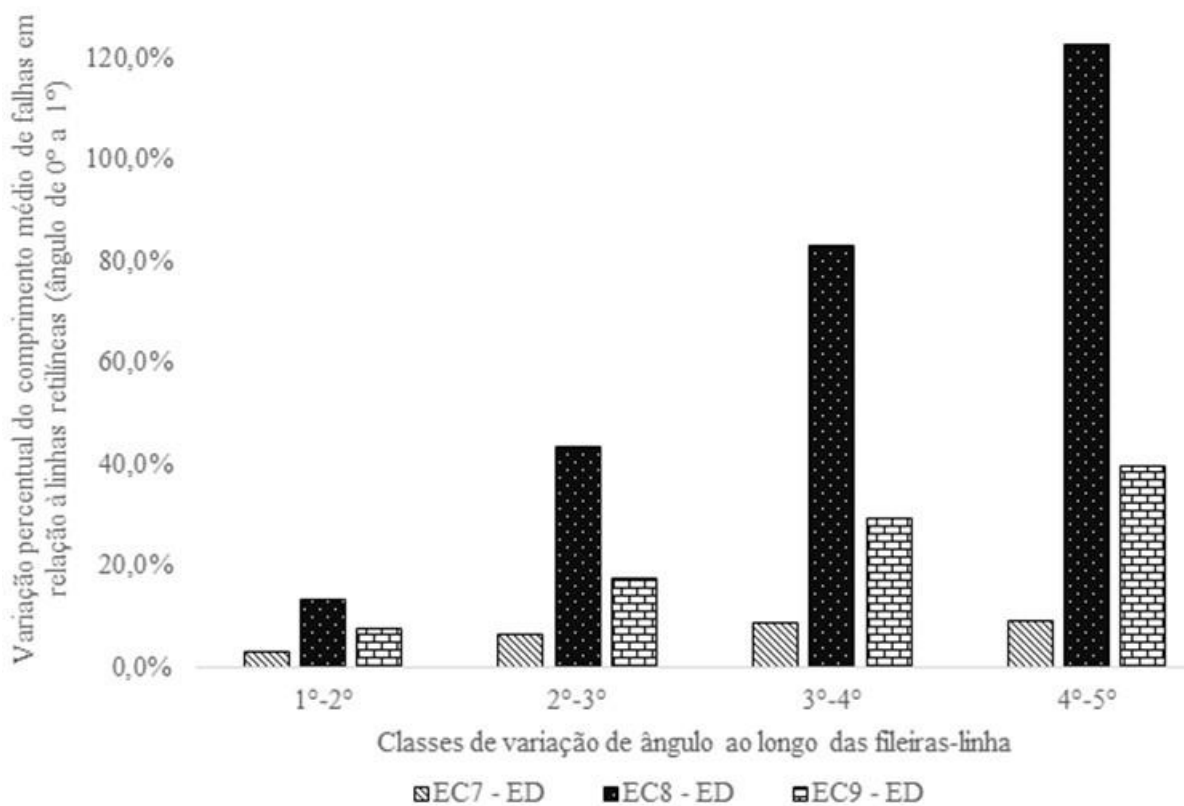
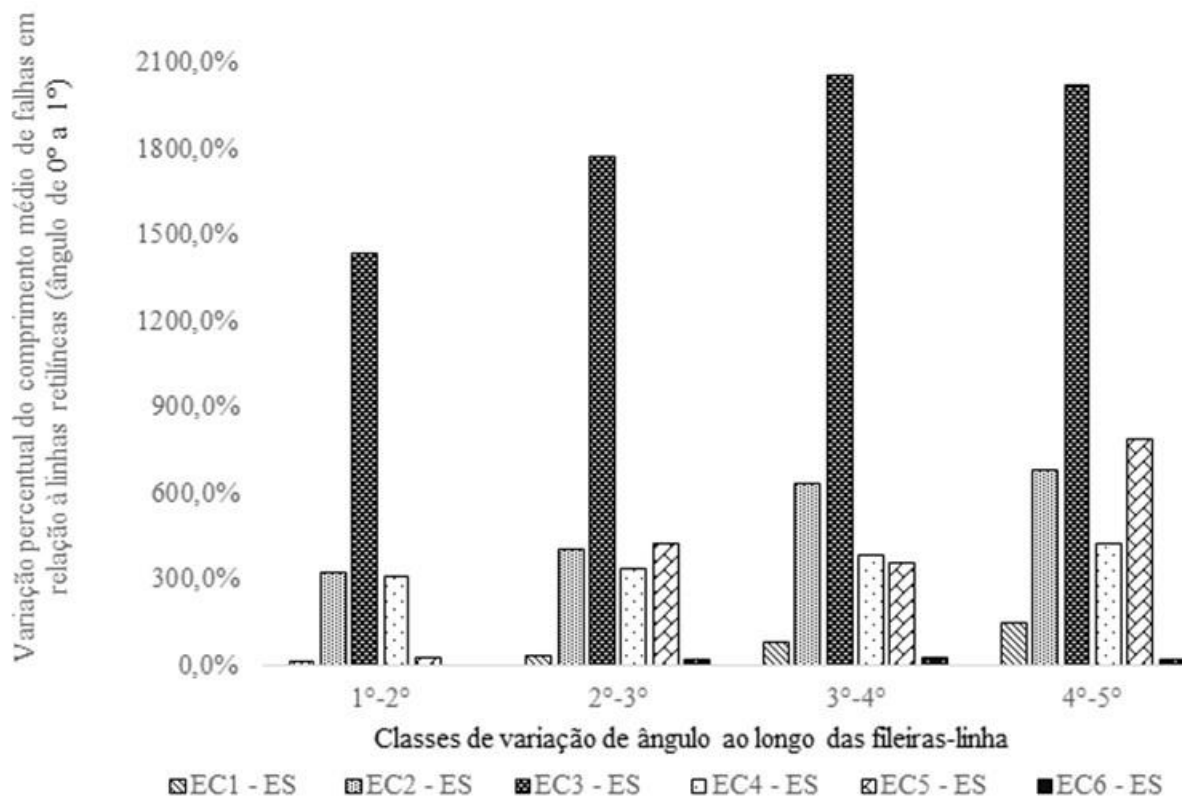


Figura 8 – Impacto percentual do comprimento de falhas por elevação na curvatura ao longo das fileiras-linha, em referência à linhas retilíneas (0 -1° de angulação).

Sumário e apontamentos

Os estudos de caso fornecidos para processamento pelo modelo são, em sua maioria, proprietários de entidades diversas. Não foram fornecidos dados que contribuiriam para a hipótese do trabalho como: políticas e tecnologias de controle de tráfego nas áreas, número de cortes, e condição do solo no ato de colheita. Entretanto, a partir da análise nos estudos de caso, concluímos que há elevação consistente das falhas de brotação em localidades de espaçamento entrelinhas reduzido, e quase-consistente em espaçamento aumentado para todos os estudos de caso aqui analisado. Os impactos de erro de espaçamento são significativos, mostrando elevação no comprimento de falhas da ordem de 30% para os casos de menor impacto em desvios de 0,2m. Similarmente, a elevação da curvatura mostrou impacto consistente na elevação das falhas. Alguns estudos de caso mostraram alta sensibilidade quanto aos fatores aqui estudados, indicando que negligenciar a qualidade do paralelismo das linhas e de sua configuração curva podem ter efeitos custosos na longevidade e produtividade do canavial. Grandes variações na intensidade dos impactos encontrados precisam de fornecimento adicional de dados para normalizar os resultados (um canavial submetido ao tráfego em sua quarta colheita terá mais impacto de danos do que em sua primeira). Entre os fatores de desvios de tráfego não considerados neste trabalho, ainda estão aqueles causados pelos deslizamentos de curta distância dos implementos trafegando em áreas declivosas.

CONCLUSÕES

O modelo implementado, mostrou-se uma ferramenta rápida e funcional. Os dados de entrada são simples e requerem (como esperado) acurácia com a realidade. Estudos de sensibilidade para definição do raio de procura ao redor dos fatores de falha ainda devem ser trabalhados. Os resultados defendem consistentemente a hipótese de que erros de paralelismo e curvatura em fileiras induzem ao aumento de falhas. Esses fatores resultaram em aumentos em falhas de vegetação partindo de 30% a 2100% maiores em relação a espaçamento ideal e trajeto retilíneo.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAHMAN, E.M.; AHMED, F.B. The application of remote sensing techniques to sugarcane (*Saccharum spp. hybrid*) production: A review of the literature. *International Journal of Remote Sensing* (Vol 29: 3753-4767) (2008)
- ALVARES, C. A.; DE OLIVEIRA, C. F.; VALADÃO, F. T.; MOLIN, J. P.; SALVI, J. V.; FORTES, C. Sensoriamento remoto no mapeamento de falhas de plantio em cana-de-açúcar. Congresso Brasileiro de Agricultura De Precisão, 2008, Piracicaba. Anais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão 2008. Piracicaba: ESALQ/USP, 467-481.
- BAIO, F. H. R. Evaluation of an auto-guidance system operating on a sugar cane harvester. *Precision Agriculture*, (2012) Vol:13 141-147.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 3º Levantamento - Safra 2017/18. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_01_08_09_08_38_cana_dezembro_novo.pdf (2018). Acessado em 26/05/2018.
- DE 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* (2017) Vol:143 49-56.
- MOLIN, J. P.; VEIGA, J. P. S. Spatial variability of sugarcane row gaps: measurement and mapping. *Ciência e Agrotecnologia*. Vol:40 347-356. (2016).
- PAULA, V. R.; MOLIN, J. P. Assessing damage caused by accidental vehicle traffic on sugarcane ratoon. *Applied Engineering in Agriculture*, 29(2):161-169, 2013.
- SANTOS, M. A. L.; SILVA, S.; ZOCOLER, J. L.; TEODORO, I.; DANTAS NETO, J.; SOUSA, J. S. Avaliação de falhas na brotação da cana-de-açúcar em função da disponibilidade hídrica. *Agropecuária Científica no Semiárido*. Vol:9 30-35. (2013).
- SPEKKEN, M.; SALVI, J. V.; MOLIN, J. P. A method to evaluate paralelism for machine logged positions. *International Conference on Robotics and Associated High-technologies and Equipment for Agriculture and Forestry (RHEA)* Vol 2 227-237 (2014).
- SPEKKEN, M.; DE BRUIN, S.; MOLIN, J. P.; SPAROVEK, G. Planning machine paths and row crop patterns on steep surfaces to minimize soil erosion, *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 124: 194-210, (2016).
- SPEKKEN, M.; MOLIN, J. P. Uav images as a source for retrieval of machine tracks and vegetation gaps along crop rows. 14th International Conference on Precision Agriculture. (2018).
- STOLF, R. Methodology for gap evaluation on sugarcane lines. STAB Piracicaba 1986.