

AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES ESPAÇAMENTOS E ARRANJOS ENTRE PLANTAS PARA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR

Fábio Cesar da Silva¹
Adriana Antonioli²
Luiz Antonio Borges³
Helder Basaglia Zotelli⁴
Pedro Luiz De Freitas⁵
Rodrigo Fernandes Pires⁶
Guilherme Kangussu Donagemma⁷
José Ruy Porto De Carvalho⁸
Santiago Vianna Cuadra⁹

1. Introdução

Sistemas de produção de biomassa podem ser utilizados para transformação da biomassa em produtos energéticos de fácil utilização, como, por exemplo, para produção de combustíveis líquidos e/ou na produção de energia (etanol e eletricidade) e os respectivos subprodutos, com destaque para cultura da cana-de-açúcar. O sucesso da adoção da cultura de cana-de-açúcar perfaz uma área plantada no ano de 2015 de aproximadamente 8,9 milhões de hectares, sendo a cultura de grande importância para o agronegócio nacional (CARVALHO, 2015).

Para produção da cultura da cana-de-açúcar as primeiras operações no sistema de produção agrícola é o plantio, que afeta as operações subsequentes,

1 Engenheiro Agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária e professor da Fatec Piracicaba – Campinas - SP. Email: fabio.silva@embrapa.br.

2 Engenheira Ambiental e Tecnólogo em Biocombustíveis, Coordenação Tutorial no Curso de Tecnologia e Gestão Ambiental da Universidade do Norte do Paraná no Polo Piracicaba – Piracicaba - SP.

3 Engenheiro agrônomo, Diretor Agrícola da Usina Madhu, Renuka do Brasil – Promissão - SP.

4 Engenheiro agrônomo, gerente agrícola da Alcoeste Destilaria – Fernandópolis - SP.

5 Engenheiro agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos - Rio de Janeiro - RJ.

6 (“In Memoriam”) Graduando em Engenharia Agrônoma, Técnico Agrícola, Setor Agrícola da Unidade Madhu, Renuka do Brasil – Promissão - SP.

7 Engenheiro agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos - Rio de Janeiro - RJ.

8 Estatístico, Ph.D. em Estatística, pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária – Campinas - SP.

9 Meteorologista, Pesquisador da Embrapa Clima Temperado – Pelotas - RS.

como também a produtividade da cultura. O plantio é predominantemente semi-mecanizado, mas recentemente muitas mudanças têm acontecido nesse setor em direção ao plantio mecanizado. Entretanto, a operação do plantio é influenciada por diversos fatores, tais como, as características técnicas e das máquinas utilizadas na operação, das distinções de cada propriedade agrícola como o tamanho, o espaçamento, a velocidade operacional, a distância do talhão de plantio, dentre outros. Estes fatores afetam o desempenho técnico-econômico e o dimensionamento do número de conjuntos necessários na operação, tanto para o transporte de mudas quanto para o plantio (OLIVEIRA, 2012).

O espaçamento e o arranjo entre plantas são as variáveis mais pesquisadas há décadas no sistema de plantio de cana-de-açúcar, tendo como propósito esclarecer quais deles resultavam em maiores produtividades, contemplando o desempenho de uma cultivar, mato-competição, níveis de irrigação e ambientes edafoclimáticos. De acordo com Casiero (2014), a maioria dos estudos mostrou que os melhores resultados de produtividade ocorriam nos espaçamentos menores. No entanto, a adoção de espaçamentos de plantio menores vem sendo muito questionada em função da intensificação do tráfego de colhedoras e transbordos sobre os canais nas suas diversas fases, na qual podem alterar as propriedades físico-hídricas e biológicas do solo e causar danos físicos às plantas, e, conseqüentemente, prejudicar o desenvolvimento das novas plantas da soqueira. Os sistemas de plantio apresentam vários espaçamentos com bitolas entre linhas variáveis, além do espaçamento combinado, com linhas duplas distanciadas entre si e entre as duplas para favorecer a colheita mecanizada (OLIVEIRA, 2012).

Nesse trabalho elegeu-se o espaçamento entre linhas como objetivo principal para a avaliação da interferência de diferentes tipos de espaçamentos de plantio na produtividade agrícola da cultura de cana-de-açúcar em três colheitas (cana-planta, soca e ressoça) e na qualidade da matéria prima para produção de açúcar e etanol.

2. Materiais e métodos

O ensaio foi conduzido na Fazenda Nova Holanda, no município de Guaiçara - SP, em área experimental homogênea e se localiza entre as coordenadas geográficas, 21° 37' 17.8" Latitude Sul e 49° 50' 01.0" Longitude Oeste, da Usina Madhu. O clima, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Cwa, clima temperado quente (mesotérmico) com uma estação seca, que vai de abril a agosto e a estação chuvosa compreende os meses de setembro a março, sendo o mês de janeiro o mais chuvoso. A temperatura média no inverno varia entre 14 °C e 27 °C, e no verão varia entre 20 °C e 30 °C. A precipitação anual está entre 1.300 e 1.400 mm. Na área experimental onde o experimento foi realizado, o solo é classificado como um Latossolo Vermelho mesotrófico de textura média (EMBRAPA, 2013).

A área do experimento foi dividida em 2 grandes blocos (A,B) ao acaso de 3,505 ha cada, cada bloco é subdividido em 3 sub-blocos sorteadas com 4 tratamentos cada (T1 – linha simples 1,5m; T2 – duplo alterado ,T3 e T4), sendo no

total de 6 parcelas ou seja, teríamos 6 repetições para cada tratamento. Cada parcela possui 6 linhas de plantio com 20 m de comprimento cada e de largura variável, que permitem caracterizados pelo tipo de preparo. Cada bordadura (duas no total) da área experimental possui quatro linhas com 1,50m de largura a partir do carreador e cada tratamento de 20m de comprimento. As mudas utilizadas no plantio das áreas experimentais foram mudas de 8 meses de idade, provenientes da variedade CTC 15, planta média/tardia com alta tolerância à seca e rústica. O delineamento foi de blocos ao acaso com 4 tratamentos com 6 repetições, sendo o Testes de Tukey para contraste de média entre os tratamentos, utilizou-se o software estatístico R.

O cronograma resumido com todas as atividades executadas na área experimental desde sua instalação foi: i) preparo do solo (15/11/12); ii) aplicação de herbicidas – PPI (15/11/12) e Pós (09/01/13); iii) plantio (27/12/2012); iv) avaliações da cana-planta (12/05, 19/06, 31/07 e 15/10/2013) e a colheita (18/12/2013); v) avaliação na cana-soca (05/05, 08/07, 18/09 e 12/11) e a segunda colheita (05/12/2014); e a vi) avaliação na rессoca (05/05, 13/06, 02/10) e na colheita final (16/12/2015). Para cada avaliação, ao longo da cana-planta, soca e rессoca foram adotados os seguintes critérios: (1) utilizadas e avaliadas somente as quatro linhas centrais, sendo consideradas como bordadura as quatro linhas laterais de cada unidade experimental; (2) mensuração da contagem de perfilhos em 2 metros em cada linha útil nas linhas principais; (3) realizou-se a pesagem de 10 canas (10 com palha, 10 sem palmito, e 10 sem palha e palmito) obtida de 2 metros e (4) mediu-se o diâmetro médio e a altura da cana; e a mediu-se depois 10 canas foram separadas por parcela e identificadas para pré e pós-análises na Usina a fim de se obter os valores de Pcc, Brix, Fibra e calculado o ATR (5; SPCTS – CONSECANA, 2006); e (6) retirou-se amostras de 20 folhas e mais colmos desfibrado por parcela, foram secos a peso constante à 65° C e enviadas para a análise de tecido para determinação dos teores de N, P e K nos laboratórios da Embrapa Solos (SILVA, 2009). As amostras de colmos desfibrados e de folhas foram secas à 65°C e moídas. As análises de macronutrientes foram realizadas na Embrapa Solos – RJ.

3. Resultados e discussões

A sequência de quadros abaixo (1, 2, 3, 4 e 5) apresentam as imagens que foram coletadas no campo no decorrer do experimento, em diferentes estágios de crescimento da cana-planta. A Figura 1, mostra a etapa de instalação do experimento onde ocorreu a fase de plantio das mudas de cana (variedade CTC 15) no dia 27/12/2012 onde podemos observar de acordo com as legendas das imagens, os 4 tipos de espaçamentos que foram implantados.

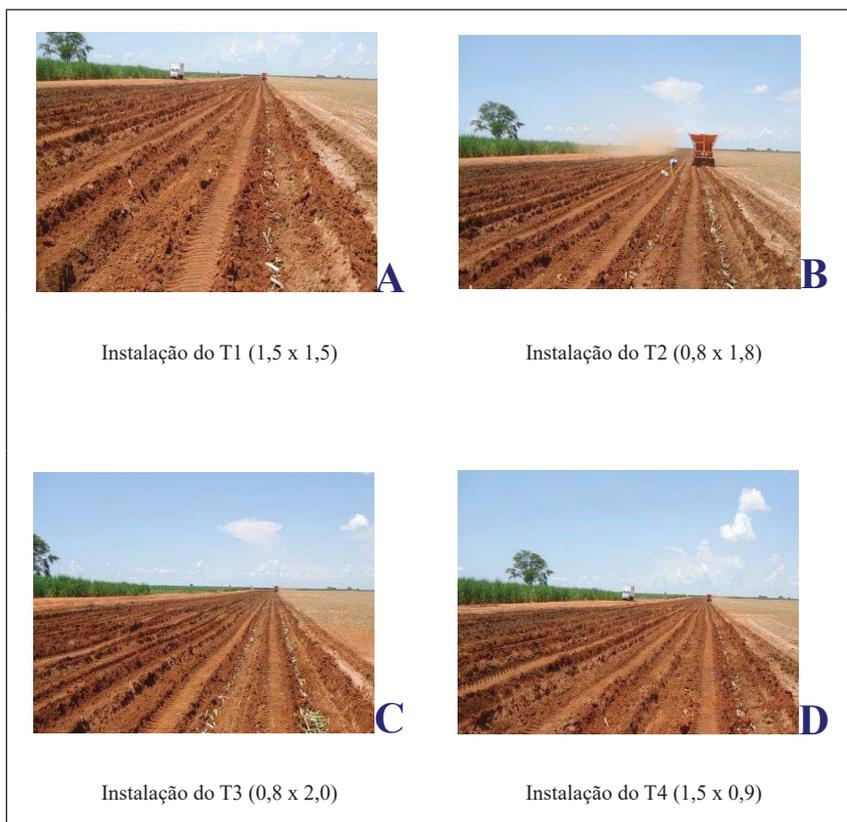


Figura 1. Instalação do experimento com os tratamentos (T1-A; T2-B; T3-C e T4-D) em Guaiçara – SP no ano de 2012.

Na Figura 2, mostra o desenvolvimento da cana-de-açúcar após 15 dias do plantio, onde é possível observar de acordo com as legendas das imagens, os diferentes tipos de espaçamentos que foram implantados.

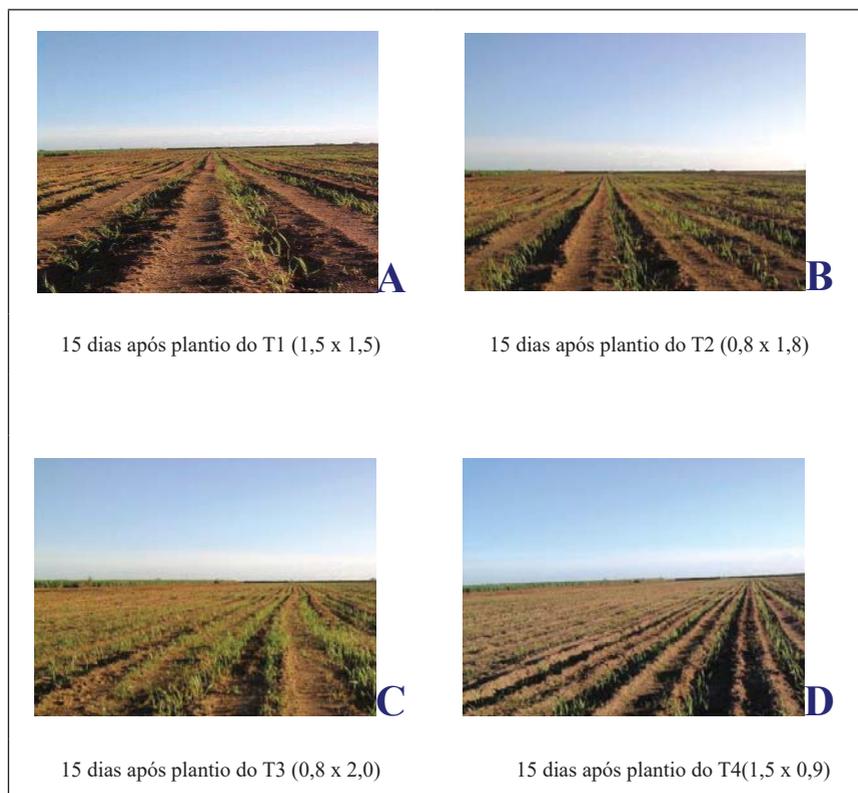


Figura 2. Desenvolvimento da cana-planta, aos 15 dias após o plantio, nos diferentes tratamentos (T1-A; T2-B; T3-C e T4-D) em Guaíçara – SP no ano de 2013.

Na figura 3, mostra o desenvolvimento da cana-de-açúcar após 48 dias do plantio, onde é possível observar de acordo com as legendas das imagens, os 4 tipos de espaçamentos que foram implantados.

Na Figura 4, mostra o desenvolvimento da cana-de-açúcar após 100 dias do plantio, onde é possível observar de acordo com as legendas das imagens, os 4 tipos de espaçamentos que foram implantados.

Na figura 5, mostra o desenvolvimento da cana-de-açúcar após 10 meses do plantio, onde é possível observar de acordo com as legendas das imagens, os 4 tipos de espaçamentos que foram implantados.



A

48 dias após plantio do T1 (1,5 x 1,5)



B

48 dias após plantio do T2 (0,8 x 1,8)



C

48 dias após plantio do T3 (0,8 x 2,0)



D

48 dias após plantio do T4 (1,5 x 0,9)

Figura 3. Desenvolvimento da cana-planta, aos 48 dias após o plantio, nos diferentes tratamentos (T1-A; T2-B; T3-C e T4-D) em Guaiçara – SP, em 2013.



A

100 dias após plantio do T1 (1,5 x 1,5)



B

100 dias após plantio do T2 (0,8 x 1,8)



C

100 dias após plantio do T3 (0,8 x 2,0)



D

100 dias após plantio do T3 (0,8 x 2,0)

Figura 4. Desenvolvimento da cana-planta, aos 100 dias após o plantio, nos diferentes tratamentos (T1-A; T2-B; T3-C e T4-D) em Guaíçara – SP, em 2013.

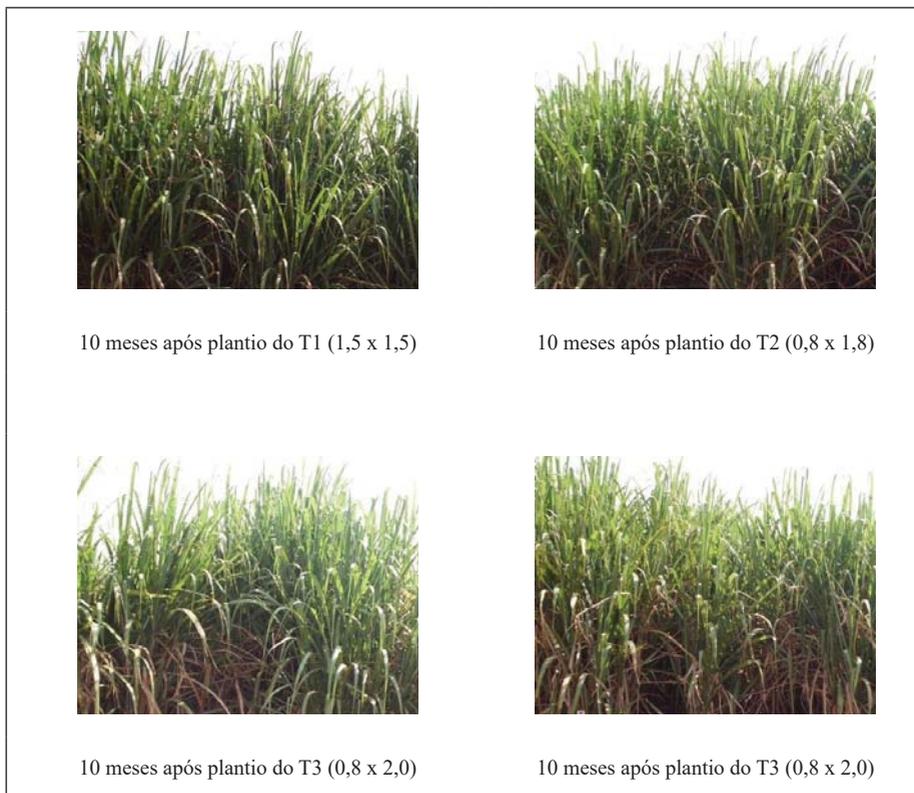


Figura 5. Desenvolvimento da cana-planta, aos 10 meses após o plantio, nos diferentes tratamentos (T1-A; T2-B; T3-C e T4-D) em Guaiçara – SP no ano de 2013.

Analisando-se os resultados na Tabela 1 em relação a produtividade da cana-de-açúcar, os valores apresentados não apresentaram diferença estatística de acordo com a metodologia utilizada. Os resultados de produtividade encontrados nesta foram maiores que a média para o estado de São Paulo (74.714 kgha-1safra 2012/2013). Para a questão do perfilhamento da cana-de-açúcar, vale ressaltar que a longevidade do canavial está diretamente relacionada à uniformidade dos perfilhos e ao não tráfego de máquinas sobre a cultura. Os valores amostrados para perfilhamento e altura, apresentaram baixa oscilação para os tratamentos, sendo apenas considerado diferente no teste de Tukey o espaçamento 0,90 x 1,50m, que se mostrou superior aos demais na quantidade de perfilhos. O diâmetro médio dos colmos não apresentou diferença entre os tratamentos para cada época de amostragem na cana-planta e na cana-soca (Tabela 2). O mesmo foi observado

para os valores médios de altura da planta (Tabela 1 e 2). Assim como a média em produção e número de colmos por área dos componentes de rendimento foram significativamente iguais de acordo com o teste de Tukey nos espaçamentos duplos e simples, a média do espaçamento duplo 0,90 x 1,50m para perfilhamento.

Na cana-soca, por sua vez, como se observa na colheita da cana-soca há diferença estatística entre médias dos tratamentos para produtividade - TCH, número de perfilhos por metro e TAH (Tabela 2), em especial para tratamento de duplo alternado (0.90 x 1,50) para desenvolvimento e formação da produção da cultura (perfilhamento e produtividade). Para ressoça não houve diferença entre tratamentos para perfilhamento, diâmetros ou altura da planta nas diferentes épocas, mas houve diferentes produtividades, em toneladas por hectare, para a sequência de tratamentos: T2 (125,3 A) > T1 (93,6 B) > T4 (90,3 BC) e T3 (82,0 C). Vale ressaltar que o ensaio está instalado em transição de solo, o que pode levar a certa variabilidade dos resultados.

A extração de nutrientes e alocação na parte aérea da cana-planta nas folhas apresentaram, em média, valores de: I) T1 (1,5 x 1,5m) 938,6 e 276,1 g/kg ha-1 de K e N, 1.431, 2.538 e 3.926 mg/kg ha-1 de Ca, Mg e P; II) T2 (0,8 x 1,8m) 1592, 934,8, 2.945, 324,7 e 4.827 mg/kg ha-1 de Ca, K, Mg, N e P; III) T3 (0,8 x 2,0m) 1.654, 877,2, 2.731, 315,1 e 5.175 mg/kg ha-1 de Ca, K, Mg, N e P e IV) T4 (1,5 x 0,9m) 1.499, 982,8, 2.748, 327,9 e 4.778 mg/kg ha-1 de Ca, K, Mg, N e P, respectivamente, o que proporcionou a seguinte ordem decrescente de extração: N > K > P > Mg > Ca. Com esta análise, percebeu-se que o T3 tende a extrair maiores quantidades de nutrientes comparado aos demais tratamentos. Já a extração de nutrientes e alocação em colmos da cana-planta apresentaram, em média, valores de: I) T1 (1,5 x 1,5m) 7.221, 1482,2, 7.758, 614 e 6.857 mg/kg ha-1 de Ca, K, Mg, N e P; II) T2 (0,8 x 1,8m) 7.733, 1.406,4, 8.535, 665,3 e 7.243 mg/kg ha-1 de Ca, K, Mg, N e P; III) T3 (0,8 x 2,0m) 8.352, 1.458, 7.911, 654,1 e 7.046 mg/kg ha-1 de Ca, K, Mg, N e P, e IV) T4 (1,5 x 0,9m) 7.987, 1.344, 7.905, 640 e 7.113 mg/kg ha-1 de Ca, K, Mg, N e P, respectivamente, o que proporcionou a seguinte ordem decrescente de extração: N > K > Mg > Ca > P. Com esta análise, percebeu-se que o T2 tende a extrair maiores quantidades de nutrientes comparado aos demais tratamentos. Quanto ao efeito dos tratamentos na qualidade agrotecnológica da matéria prima, tem-se que uma comparação dos dados de Brix, Pureza, Pol, Fibra e ATR em três fases do experimento, início de safra (127 dias), meio (174 dias) e final (356 dias) para cana-planta, soca e ressoça, foram realizados ajustes de médias dos valores, e os resultados significativos (Figura 6), onde se encontra os ajustes de médias dos valores de Pureza (%) com relação ao tempo de acordo com cada tratamento estudado (T1, T2, T3 e T4).

Podemos perceber com esta análise que os 4 tipos de tratamento tenderam a apresentar no início da safra uma diferença significativa apenas para o Tratamento 2, em especial para no início da safra (127 dias) com aumento significativo em relação aos demais tratamentos (Silva et al., 2013), quanto mais elevados os teores de sacarose, melhor para a indústria canavieira. Quanto a Fibra não houve diferenças significativas para tratamentos.

Tabela 1. Resultados das médias para os tratamentos para variáveis de produção de agrícola no primeiro corte na cana-planta obtidos em Dezembro de 2013.

Análise Variância Tukey a 5%	TCH (t. cana. ha ⁻¹)	Perfilhos/m (n°)	Diâmetro Colmos (cm)	Altura Colmo (m)	Peso Colmos (Kg)	Perdas Campo (t. cana.ha ⁻¹)
Sulcos Simples (1,50m)	102,15 a	13,70 b	2,15 a	2,91 a	1,58a	3,75a
D. Alt. (0,90m x 1,50m)	92,52 a	29,67a	2,09 a	2,68 a	1,38 a	5,62 a
Base Larga (1,80m)	97,35 a	12,73 b	2,17 a	2,89 a	1,50 a	2,97 a
Base Larga (2,00m)	104,70 a	14,40 b	2,23 a	2,57 a	1,52 a	2,54 a
GL RESÍDUO	19	19	19	19	19	19
F TRATAMENTOS	2,97	79,76**	0,72	1,96	1,5	1,55
MÉDIA GERAL	99,18	17,63	2,16	2,76	1,5	3,72
DESVIO PADRÃO	7,65	2,22	0,17	0,29	0,17	2,67
DMS 5%	12,42	3,6	0,28	0,47	0,28	4,34
CV %	7,71	12,59	7,98	0,46	11,51	51,95

Tabela 2. Resultados das médias para os tratamentos para variáveis de produção de agrícola no segundo e terceiro cortes na soqueira obtidos em dezembro de 2014 e 2015.

Tratamentos	TCH (t ha ⁻¹)	Perfilhos/m	Peso Colmos Kg/ML	Diâmetro Colmos (cm)	Altura Colmo (m)	ATR (Kg/TC)	TAH (T/ha)	Perdas Campo (t. cana. ha ⁻¹)
Cana-soca (2º corte)								
Sulcos Simples (1,50m)	64,3 B	10,25B	9,96B	2,31	2,81	101,27a	6,82B	3,85
Duplo Alt. (0,90m x 1,50m)	122,1A	16,75A	8,57B	2,43	2,58	98,62 a	7,90B	5,55a
Base Larga (1,80m)	82,85 AB	11,3B	10,53B	2,43	2,77	106,57 a	13,19A	3,17a
Base Larga (2,00m)	81,52 AB	13,05AB	13,7 A	2,46	2,44	100,26 a	9,04AB	2,58
Ressoca (3º Corte)								
Sulcos Simples (1,50m)	93.5 B	17.0	18.1	2.186	2,68	104.76	9.84 B	3,87
DA (0,90m x 1,50m)	125.2A	15.3	17.5	2.103	2,65	99.50	12.47A	5,15
BL (1,80m)	82.0C	15.3	16.2	2.198	2,70	101.14	8.35C	3,47
BL (2,0m)	90.3BC	17.2	17.8	2.128	2,54	101,45	9,16BC	3,25
Análise Variância / Teste de Tukey a 5%								
F TRATAM								
DMS 5%	38,54	3,875	2,763	0,320	0,48	9,417	3,57	4,34
CV %	18,72	11,01	11,57	5,16	4,57	32,05	16,3	41,95

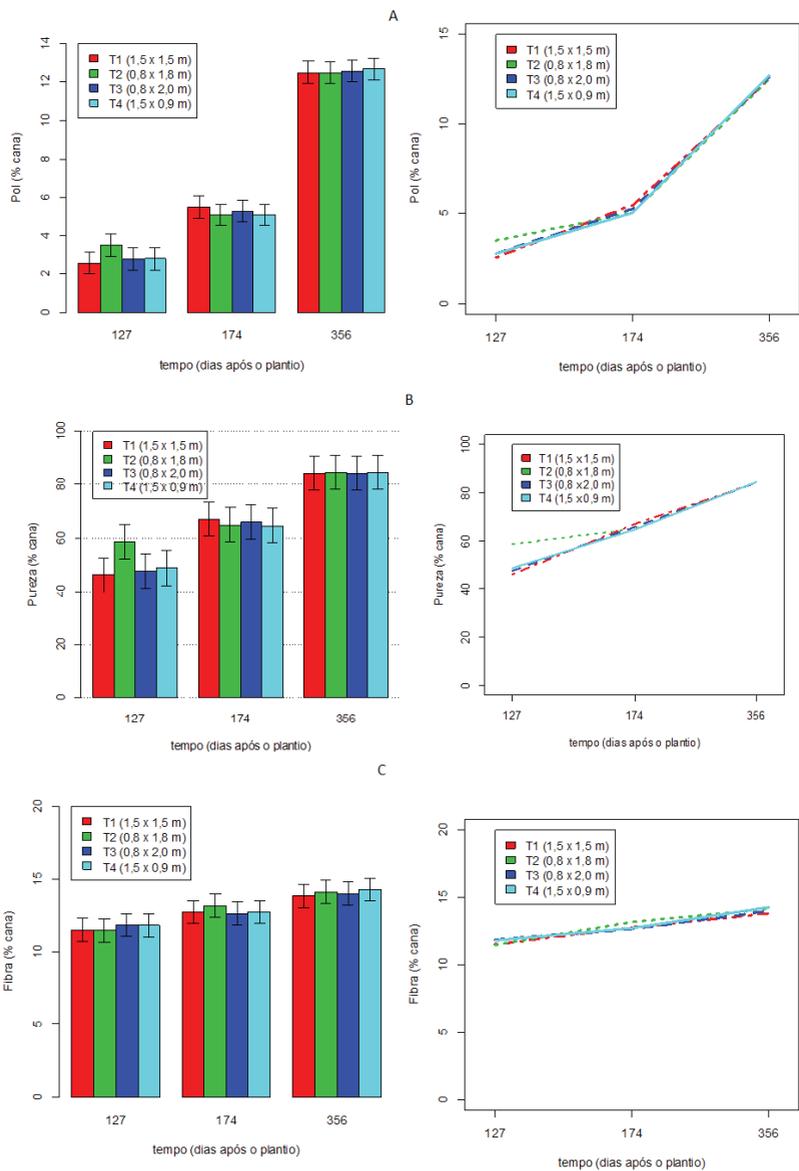


Figura 6. Influência dos tratamentos na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar: a) pol (a), pureza (b) e fibra (c) da cana.

Conclusões

Avaliando-se a biometria dos três ciclos, não houve efeito de tratamentos após o estabelecimento de cultura. A maioria dos fatores biométricos, a exceção do perfilhamento, são iguais, o melhor tratamento foi T4 base larga 0,80 x 2,0m.

Houve um fechamento mais rápido no T2 (duplo alternado), o que fica mais evidente na superioridade desse tratamento nas soqueiras. No entanto, o déficit de água no solo provavelmente levou a uma competição excessiva dos perfilhos. Na colheita da cana-soca e ressoca, a maior produtividade foi observada em T4, seguido por T1.

A experiência da unidade sucroalcooleira (Renuka) indica que o espaçamento duplo tem um melhor desempenho quando há disponibilidade de água no solo, minimizando a competição entre os perfilhos na formação do canavial. Não foi observada diferença estatística entre os tratamentos na produtividade na cana-planta. Entretanto, T1 e T2 apresentaram tendência a maiores produtividades. Essa tendência se inverteu na colheita da cana-soca e ressoca, quando, pela maior disponibilidade hídrica, T4 foi superior, seguido por T2. A qualidade tecnológica da cana-de-açúcar foi influenciada pelos tratamentos no início de safra nas duas colheitas (cana-planta e cana-soca). A melhor extração de nutrientes e alocação na parte aérea da cana-planta ocorreu no T4 (base larga de 0,8 m x 2,0 m) enquanto que nos colmos ocorreu no T3 (base larga de 0,8 m x 1,8 m).

Referências

- CARVALHO, J. L. N.; BRAUNBECK, O. A.; CHAGAS, M. F. **Implantação do plantio direto de cana-de-açúcar: base para a sustentabilidade do canavial**. Laboratório Nacional de Ciência Tecnologia do Bioetanol (CTBE/CNPEN), 2012.
- CASIERO, D. A. P. **Efeito do tráfego agrícola na produtividade da cultura de cana-de-açúcar (saccharum spp.) nos espaçamentos 1,4 e 1,5m**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Botucatu, 2014.
- CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CONSECANA-SP). **Manual de Instruções**. 5. ed. Piracicaba-SP, 2006.
- OLIVEIRA, C. de. **Plantio mecanizado de cana-de-açúcar: aspectos operacionais e econômicos**. Dissertação (Mestrado em ciências). Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde-03122012-111153/pt-br.php>>. Acessado em: 10 abr. 2014.
- SILVA, F.C. da; DÍAZ-AMBRONA, C.G. HERNÁNDEZ; ITURRA, A.R. **Desarrollo sostenible de la producción de bioetanol y azúcar: a partir de la caña de azúcar**. Saarbrücken: Academica Espanola, 2013. v. 1. 436p.