

## ESPAÇAMENTOS DE PLANTIO

### Espaçamentos para a Cultura da Cana-de-Açúcar

**Marcos Silveira Bernardes**  
**Guilherme de Castro Belardo**

#### 1. INTRODUÇÃO

Na cultura da cana-de-açúcar, uma questão que frequentemente vem sendo levantada é: Por que temos disponível variedades que em áreas experimentais atingem produtividades acima de 150 t.ha<sup>-1</sup>, podendo chegar a 300 t.ha<sup>-1</sup> com um alto potencial de produção, a produtividade média dos canaviais brasileiros nas últimas décadas está estável em níveis próximos a 80 t.ha<sup>-1</sup>? A resposta não é tão simples, pois envolve inúmeros fatores que influenciam os índices de produtividade, entre eles: tipos de solo, índices pluviométricos, quantidade de radiação solar, manejo da cultura, intensificação no uso da mecanização, compactação de solo e espaçamento de plantio, sendo que a interação entre esses fatores seja a responsável por essa estagnação de produtividade observadas em campo. As Usinas e os produtores de cana-de-açúcar que atingem produtividades acima de 100 t.ha<sup>-1</sup>, são as que aplicam as melhores práticas e técnicas agrônomicas, minimizando seus impactos e maximizando a produtividade.

A produtividade está principalmente relacionada com a quantidade de radiação interceptada e absorvida pelo dossel das culturas. Entretanto, a relação entre produtividade e fotossíntese é muito complexa, fazendo com que essa relação nem sempre seja direta, afinal outros processos estão envolvidos como a translocação dos fotoassimilados da copa e seu metabolismo nas partes úteis da planta. Dentre todos os parâmetros de densidade de cobertura vegetal, o índice de área foliar (IAF), que é a relação entre a área foliar e à área de terreno ocupada pela vegetação, é o mais usual e importante. A prática de manejo mais relevante para o aumento do IAF e consequentemente da interceptação e absorção

de radiação é aumentar a densidade populacional, que em culturas cultivadas em fileiras, é dada pela combinação do espaçamento entre fileiras com o número de plantas por unidade de distância na fileira (Bernardes, 1987). Fabris et al. (2013) e Galvani et al. (1987) relatam que as produtividades de cana são maiores nos espaçamentos menores pelo fato de terem maior IAF, maior interceptação de radiação e, consequentemente, maior taxa fotossintética.

Desde que começou a ser cultivada no Brasil, a cultura da cana-de-açúcar vem sendo plantada com os mais variados espaçamentos entre fileiras. Com a expansão da colheita mecanizada, esses espaçamentos passaram a ser adaptados para ajustar a distância entre fileiras com aquela mais adequada com a distância entre os rodados das colhedoras, ou “bitola” das máquinas.

Para a Embrapa (2014), um dos fatores que contribuem para a produtividade final da cana-de-açúcar é a distância entre as fileiras de plantio, e escolher um espaçamento adequado é de fundamental importância, já que possibilita a otimização das atividades como o uso intensivo de máquinas principalmente na colheita. O espaçamento adequado contribui para o aumento da produção, pois interfere favoravelmente na disponibilização de recursos como luz, água e temperatura, variáveis determinantes para que haja aumento de produção. O espaçamento do plantio deve variar de acordo com a fertilidade do terreno e as características da variedade recomendada.

Dentre os trabalhos pioneiros referentes a espaçamentos em cana-de-açúcar, destaca-se o de Stubbs (1897), cujos estudos datam de 1890, e os resultados já mostravam que a produtividade era maior nos espaçamentos de 1,00 m, em

## 10. Espaçamentos de Plantio

comparação àqueles situados em torno de 2,00 m. Para Irvine & Benda (1980) existe uma relação direta entre a produção de colmos com variações de espaçamento, sendo que, com a redução de espaçamento, as plantas apresentam menos colmos por metro de fileira, mas o crescimento geométrico de seu número por área resulta em elevação da produtividade. Basile Filho et al. (1993) obtiveram as mesmas tendências de respostas na interação entre produtividade e modificações morfológicas com relação à mudança nos espaçamentos entre fileiras.

Segundo Galvani et al. (1997), no transcorrer deste século, diversos experimentos foram realizados e, de maneira geral, as primeiras tendências observadas foram confirmadas, desde que as condições do meio físico fossem normais para a cultura. A cana-de-açúcar, quando cultivada em regiões de altas latitudes, espaçamentos estreitos proporcionam maior produtividade, devido ao melhor aproveitamento do solo e da radiação solar incidente durante a estação de crescimento, que é mais curta devido ao longo período com baixas temperaturas e menor incidência de radiação. Este fato é explicado pela maior velocidade de crescimento da área foliar em espaçamentos menores no início do ciclo da cultura, coincidindo com a melhor estação de crescimento (Shih & Gascho, 1980). Contudo, em regiões de baixa latitude, com estação de crescimento mais longa, os resultados não justificam a redução do espaçamento (Irvine et al., 1980; Matherne, 1971).

Analisando uma série de resultados de trabalhos realizados em Java, Dillewijn (1952) conclui que existe um espaçamento ótimo para cada variedade, no qual ocorre a máxima produtividade. Salienta ainda que variedades com folhas eretas respondem melhor em espaçamentos menores, devido ao melhor aproveitamento da radiação solar nos processos fotossintéticos e menor aquecimento da superfície foliar, uma vez que, com as folhas eretas, obtém-se um aumento do ângulo médio de incidência da radiação solar, comprovando que a variedade e o porte do canavial tem

influência direta para definição do espaçamento a ser adotado. Rosenfeld (1963) afirma que, para cada cultivar, ocorre uma produção máxima teórica, que será obtida sob condições ideais de clima e solo, estando as plantas dispostas em espaçamentos ideais.

Do ponto de vista econômico, Webster (1931) concluiu que os espaçamentos menores acarretam maiores produções, porém é necessário uma comparação financeira para definir se os espaçamentos menores produzem acréscimos suficientes para cobrir os consequentes aumentos nos custos de produção. Segundo o boletim técnico da Copersucar (1989) deve-se também levar em conta que, com espaçamentos menores, existe a maior exploração do volume de solo e, conseqüentemente, a extração de nutrientes é maior, e por isso é importante suprir a cultura com a quantidade adequada para garantir o aumento de produtividade.

Veiga & Amaral (1952) constataram que o espaçamento o simples reduzido de 0,90 m, apresentou maior número de colmos e a produtividade agrícola foi significativamente maior quando comparada àquela obtida com os espaçamentos de 1,50 m e 1,80 m. Os mesmos autores constataram porém que a influência da distância entre os sulcos de plantio sobre o produtividade é maior na cana-planta, e praticamente desaparece no terceiro corte em diante, ou seja, em casos de canaviais com longevidade de cinco ou mais anos, essa diferença tende a se inverter, tendência também relatada por Claret et al. (1993).

Essa tendência de espaçamentos simples maiores entre fileiras manterem níveis maiores de produtividade do terceiro corte em diante, quando comparado com espaçamentos reduzidos, faz com que a média de produtividade de cinco anos entre cana-planta e cana-soca seja igual ou na maioria das vezes superior em espaçamentos mais largos, convergindo para o a majoritária adoção dos espaçamentos de 1,40 m e 1,50 m nas áreas plantadas no Brasil atualmente.

De qualquer forma, é unanimidade entre autores que em áreas experimentais a produtividade aumenta com a redução do

espaçamento entre fileiras, com acréscimos médios de produtividade para cada 10 cm de redução no espaçamento, da ordem de 1 a 3,3% (Claret et al., 1993), 1,6 a 3,3% (Coleti, 1994), 3,3% (Copersucar, 1989), 1,0 a 2,5% (Galvani et al., 1997).

Vale lembrar que grande parte das pesquisas e ensaios citados anteriormente foram realizados à algum tempo e que pouca literatura é encontrada atualmente correlacionando espaçamento e produtividade dos canaviais. Além disso, todos esses dados foram gerados em ensaios onde a variável colheita mecanizada não era considerada, ou seja, os efeitos da interação mecanização e cultura não influenciaram os resultados, o que sabemos ser um dos maiores impactos na estagnação da produtividade brasileira.

A adoção de mecanização tem influência direta na produtividade de cana-soca, uma vez que implica em compactação de solo, pisoteio do canavial, arranquio e abalo de soqueira e conseqüente menor longevidade da lavoura. Isso mostra que existe necessidade latente de estudos de espaçamento x produtividade com o uso de mecanização, principalmente o uso de conjunto colhedora e trator + transbordo, uma vez que a colheita mecanizada é uma prática irreversível que já é amplamente adotada nas áreas de colheita nacionais e deve chegar a 100% de adesão nos próximos anos.

É possível afirmar que, nos novos estudos de espaçamento, é essencial que sejam conduzidos por, pelo menos cinco anos (longevidade compatível com a idade de renovação dos canaviais brasileiros) e com a aplicação da colheita mecanizada, pois somente dessa forma poderemos representar nos ensaios a realidade do que efetivamente ocorre no campo.

## **2. ESPAÇAMENTOS NO BRASIL**

Em resumo, no Brasil, os primeiros plantios de cana-de-açúcar tiveram início com espaçamentos reduzidos principalmente de 0,90 m, 1,00 m e 1,10 m entre fileiras. Esses espaçamentos ainda são adotados em algumas

regiões, especialmente aquelas com solos mais fracos e menor intensidade de mecanização.

A intensificação da mecanização, devido à restrição da queimada como técnica de despalha e a indisponibilidade de mão de obra para colheita manual, levou a necessidade de adequação dos espaçamentos às máquinas. Os espaçamentos simples de 1,40 m e 1,50 m passaram a predominar, por serem considerados os menores espaçamentos que permitem a adoção da colheita mecanizada com menor pisoteio de soqueira, sendo amplamente adotados no Brasil até os dias atuais.

Na década de 80 alguns pesquisadores avaliaram os espaçamentos de "base larga", com distâncias entre fileiras de 1,80 m, 1,90 m, 2,00 m e 2,20 m, reconhecidos e considerados como os melhores espaçamentos para a adoção da colheita mecanizada de uma fileira, sendo esse o principal adotado na Austrália e EUA, países pioneiros na mecanização da colheita e que continuam a utiliza-lo até os dias atuais.

Nos anos 90, foram testados e implantados espaçamentos combinados reduzidos, conhecidos como "w" ou abacaxi (ex.: 0,40x1,50m e 0,50x1,50m) como tentativa de combinar aumento de produtividade da lavoura e redução de pisoteio de soqueira com a maior eficiência da colheita mecanizada, possibilitando o corte de duas fileiras de cana para cada "passada" das colhedoras de uma fileira.

Mais recentemente, novos espaçamentos, conhecidos como espaçamentos duplo alternados (ex.: 0,90x1,50m e 0,90x1,60m), vêm sendo adotados nas lavouras nacionais, e isso tem trazido benefícios de ordem econômica, devido aos novos desenvolvimentos de colhedoras de cana que possibilitam a colheita de duas fileiras desse espaçamento de uma única vez, aumentando assim a capacidade de campo operacional das máquinas.

Análises e levantamentos históricos realizados pelas principais Usinas brasileiras considerando todos os fatores que influenciam e impactam na produtividade durante o ciclo de cinco anos de produção em canaviais, mostram que para solos arenosos e de baixa fertilidade, os espaçamentos reduzidos simples (1,00 m ou 1,10

## 10. Espaçamentos de Plantio

m), os espaçamentos “w” (0,50X1,50m) e os espaçamentos duplo alternados (0,90X1,50m) são boas alternativas para incremento de produtividade.

Para solos mais férteis e argilosos, os espaçamentos simples de 1,40 m e 1,50 m vêm apresentando maiores resultados de produtividade. Essa informação é confirmada pelas pesquisas realizadas pela consultoria IDEA que anualmente premia as Usinas campeãs de produtividade sendo que, coincidentemente são as que adotam espaçamento entre fileiras de 1,50 m e apresentam médias de produtividade acima de 100 t.ha<sup>-1</sup>.

A importância da escolha do espaçamento correto é cada vez mais relevante para redução de custos, aumento de produtividade e conservação da longevidade dos canaviais. A chave do sucesso econômico está na adoção de técnicas de baixo custo marginal, em que se ganha proporcionalmente muito mais em produtividade (Bernardes, 2010; Dias et al., 2001), como é o caso da escolha do espaçamentos adequados.

Neste trabalho, foram realizadas simulações matemáticas computacionais para agregar o conhecimento disponível e explicar os resultados já publicados. Em seguida, são apresentados resultados mais recentes que são discutidos sob o arcabouço teórico obtido pelas simulações.

Durante o capítulo, eventualmente, será abordada a interação entre espaçamento e mecanização, porém esse assunto será mais detalhado em capítulo específico sobre a evolução da colheita mecanizada, neste livro.

### 3. SIMULAÇÕES

Modelos matemáticos de simulação têm sido usados para gerar objetivos idealizados e pesquisar formas de atingir esses objetivos aumentando a eficácia do processo de “tentativa – erro – adequação – nova tentativa”, inerente à pesquisa (Bernardes, 2008). O modelo expolinear descrito e avaliado por Goudriaan (1994), combina simplicidade e fundamentos

fisiológicos derivados da expansão foliar, interceptação de radiação e produção de matéria seca no tempo e já foi avaliado em diversas situações no Brasil (Confalone et al., 2010).

Suas simulações para crescimento e produtividade de cana-de-açúcar são compatíveis e apresentam a mesma marcha temporal de diversos resultados de pesquisas empíricas realizadas (Machado et al., 1982; Alleoni & Beauclair, 1996; Alvarez & Castro, 1999).

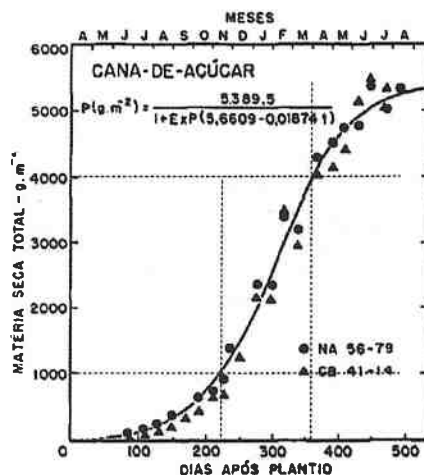
As simulações desse trabalho foram realizadas para duas situações de manejo (convencional e intensivo) e para dois modelos de plantio (cana de ano e ano e meio).

Foram utilizados dados dos trabalhos de Machado et al (1982) e Alvarez & Castro (1999) que permitem deduzir os parâmetros de taxa de crescimento relativo inicial em 0,1 g.m<sup>-2</sup> e taxa de crescimento máxima na fase linear entre 21,4 e 22,7 g. m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> para a modelagem do cenário de manejo convencional conforme a Figura 1.

No cenário com manejo intensivo, no qual há pequena ou nenhuma restrição por água, nutrientes e competição com plantas daninhas, foi utilizada a taxa de crescimento máxima na fase linear de 41,1 g. m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> obtida por Muchow et al. (1994), valor similar ao relatado por Bull & Glasziou (1975), que observaram produtividade de colmos de 250 t.ha<sup>-1</sup>.

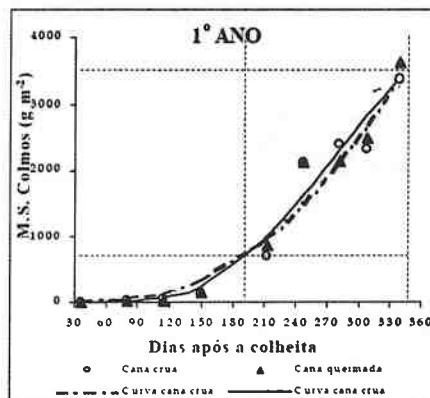
Esses números representam o real potencial da cana-de-açúcar que em situações ideais atingiram produtividades da ordem de 395 t.ha<sup>-1</sup> e 340 t.ha<sup>-1</sup>, conforme cálculos de Hunsigi (1993) e dados efetivamente medidos a campo por Scarpari (2014, informação pessoal, IAC Ribeirão Preto - SP).

Vale lembrar que para ambos os cenários de manejo convencional e intensivo, a variável mecanização e seus efeitos não foi considerada, pois todos os experimentos que foram conduzidos para se chegar aos parâmetros utilizados na modelagem, foram provenientes de pesquisas sem a adoção de mecanização e consequentemente a sua influencia na queda de produtividade.



**21,4 g/m<sup>2</sup>.d**

Machado et al., 1982



**22,7 g/m<sup>2</sup>.d**

Alvarez & Castro, 1999

Figura 1. Curvas de crescimento expolinar da produtividade de cana-de-açúcar por área estimadas por Machado et al. (1982) e Alvarez & Castro (1999).

Para utilizarmos o modelo expolinar, além da informação referente à taxa de crescimento, é necessário deduzirmos o tempo de fechamento de copa.

Com as medidas realizadas na coleção de variedades de cana-de-açúcar nos últimos vinte anos do Departamento de Produção Vegetal da Esalq/USP, foi possível derivar equação exponencial negativa com atenuação e saturação.

A equação descreve o crescimento da copa de cana-de-açúcar no sentido da entrelinha com a taxa de crescimento lateral intrínseca da variedade atenuada ou saturada (limite máximo de expansão da copa), pelo limite genético da variedade ou pelo espaçamento entre fileiras. Em termos médios entre todas as variedades avaliadas, as copas de cana-de-açúcar crescem 2,1875 cm por dia no sentido da entrelinha.

Com base nesse dado, foi calculado o tempo para fechamento de copa para cada espaçamento e verificou-se que o fechamento de copa ocorre praticamente ao mesmo tempo (diferença de 1 à 3 dias) nos espaçamentos entre 0,90 m e 1,20 m mensurados em DAE (dias após a emergência). Para espaçamentos simples acima de 1,20 m e para o espalhamento duplo alternado o tempo de fechamento da copa é expressivamente maior entre 6 a 22 DAE (Tabela 1 e Figura 2).

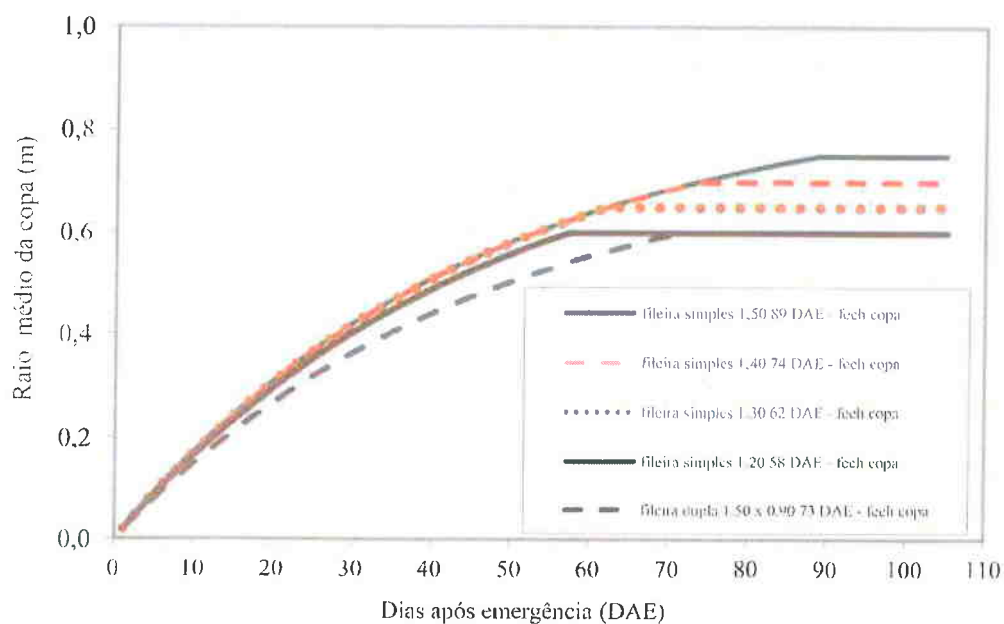
Além do tempo de fechamento da copa calculado em DAE, foram simulados as produtividades médias de colmos por hectare para cana de ano e cana ano e meio. Nesse caso, verificamos que a produtividade média teórica também apresentou pouca variação nos espaçamentos entre 0,90 m e 1,20 m, porém apresentou uma queda considerável nos espaçamentos acima 1,40 m e nos espaçamentos duplos (Figuras 3 e 4 e Tabela 1).

Observa-se que essa simulação comprova que existe uma relação direta entre o tempo de fechamento da copa medidos em DAE e a produtividade relacionada com as distâncias entre fileiras (espaçamentos), ou seja, diretamente relacionada ao índice de área foliar (IAF).

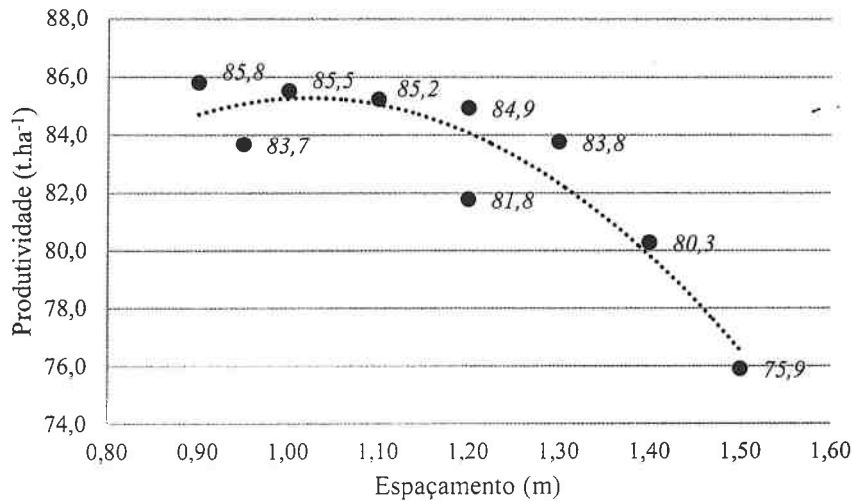
Vale lembrar que esses resultados são empíricos e oriundos de uma modelagem matemática buscando levar em consideração apenas os fatores relacionados ao máximo potencial de crescimento da cultura, não considerando fatores operacionais de manejo que tem influencia direta na queda de produtividade para todos os espaçamentos.

**Tabela 1.** Tempo para fechamento de copa (dias após a emergência - DAE), produtividade de cana de ano e cana de ano e meio, sob manejo convencional e intensivo em função do espaçamento entre fileiras calculado pelo modelo expolinear.

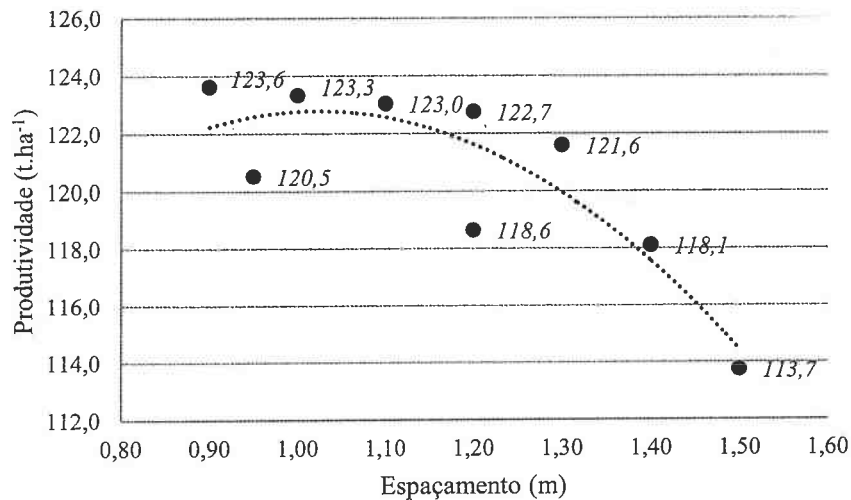
Espaçamento		DAE para fechar copa	Produtividade média (t/ha)		Produtividade manejo intensivo (t/ha)	
Linha simples (m)	Linha dupla (m x m)		Ano	Ano e meio	Ano	Ano e meio
0,90		55	85,8	123,6	188,7	271,8
	1,4 x 0,5	52	83,7	120,5	151,1	217,7
1,00		56	85,5	123,3	188,0	271,2
1,10		57	85,2	123,0	187,4	270,5
	1,5 x 0,9	73	81,8	118,6	179,8	260,8
1,20		58	84,9	122,7	186,7	269,9
1,30		62	83,8	121,6	184,2	267,3
1,40		74	80,3	118,1	176,5	259,7
1,50		89	75,9	113,7	166,9	250,1



**Figura 2.** Evolução temporal do raio médio da copa, no sentido da entrelinha de cana-de-açúcar, em função do tipo de espaçamento e distância entre fileiras.



**Figura 3.** Produtividade estimada de cana de ano, sob manejo convencional, para espaçamentos simples entre fileiras de 0,90 m a 1,50 m, espaçamento “w” e duplo alternado, calculada por modelo expolinear. Os pontos de 83,7 t.ha<sup>-1</sup> e 81,8 t.ha<sup>-1</sup> representam os espaçamentos “w” e duplo alternado respectivamente.



**Figura 4.** Produtividade de cana de ano e meio, sob manejo convencional, para espaçamentos simples entre fileiras de 0,90 m a 1,50 m espaçamento “w” e duplo alternado, calculada por modelo expolinear. Os pontos de 120,5 t.ha<sup>-1</sup> e 118,6 t.ha<sup>-1</sup> representam os espaçamentos “w” e duplo alternado respectivamente.

Com base na modelagem e nos gráficos gerados por ela, observa-se que em espaçamentos simples de 0,90 à 1,20 m, as produtividades são muito semelhantes variando abaixo de 2 t.ha<sup>-1</sup>. Em espaçamentos duplos e simples acima de 1,20 m a tendência de queda de produtividade é maior e superior a 4 t.ha<sup>-1</sup>, sendo

que nos espaçamentos acima de 1,40 m essa queda é mais expressiva.

Outra comparação relevante é relacionada aos resultados dos espaçamentos duplos e simples análogos. Quando analisamos o espaçamento duplo alternado de 0,90 m X 1,50 m com o espaçamento simples equivalente de 1,20 m entre

## 10. Espaçamentos de Plantio

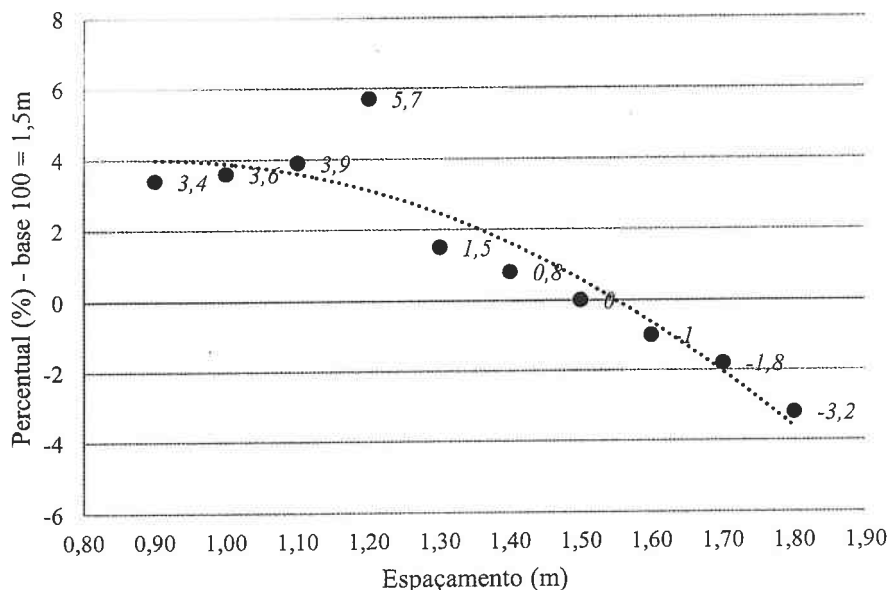
fileiras (o espaçamento duplo alternado tem equivalência em metros lineares de fileiras por hectare com o simples de 1,20 m, neste caso 8.333 metros lineares por hectare), observa-se que: nos espaçamento simples a produtividade é maior e isso pode ser explicado pois o fechamento das copas na direção interna das fileiras duplas (na menor distância entre plantas), é sempre antecipado apesar de não atingir a taxa de crescimento plena sendo que ainda há porção substancial de radiação não interceptada no vão alternado entre as fileiras maiores. Essa característica proporciona produtividade menor nos espaçamentos duplos quando comparado ao espaçamento simples equivalentes.

Da mesma forma no espaçamento “w” ou abacaxi de 0,50 m x 1,40 m, o fechamento das copas dentro das fileiras duplas ocorre mais rapidamente ainda, levando a competição intraespecífica acentuada entre as plantas. Isso

leva ao atraso no fechamento pleno das copas e redução da taxa de crescimento, o que impacta diretamente em produtividades menores, quando comparado com o espaçamento simples análogo.

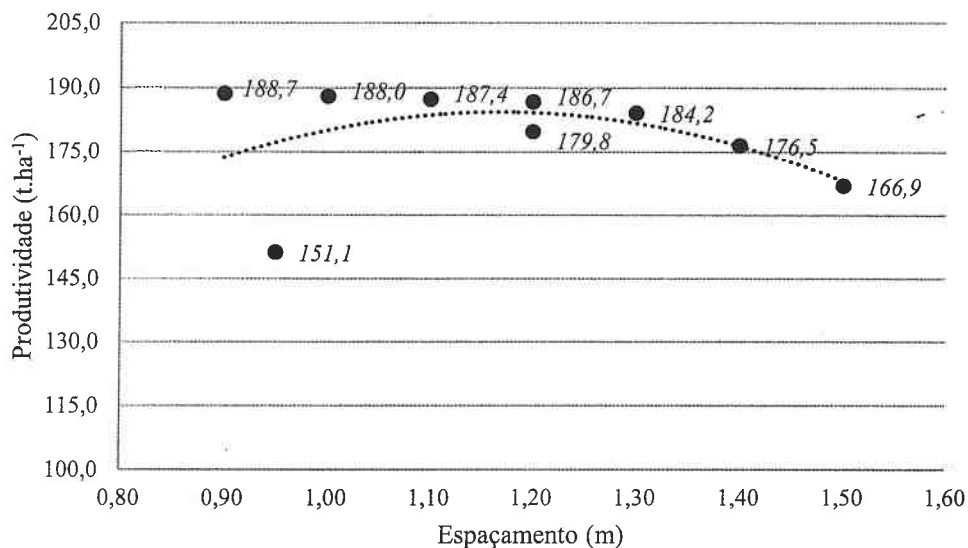
Com essas premissas podemos concluir que espaçamentos duplos tendem a ter uma produtividade menor que espaçamentos simples equivalentes com a mesma quantidade de metros lineares por hectare.

Considerando as curvas geradas pela simulação em manejo convencional, essa conformação de curva de queda de produtividade da cana-de-açúcar com o aumento dos espaçamentos condiz com a tendência observada empiricamente por Galvani et al (1997) em experimentos conduzidos com diferentes espaçamentos simples, em cinco regiões distintas, sujeitas a variações de clima, tipo de solo e material genético, conforme é apresentado na Figura 5.

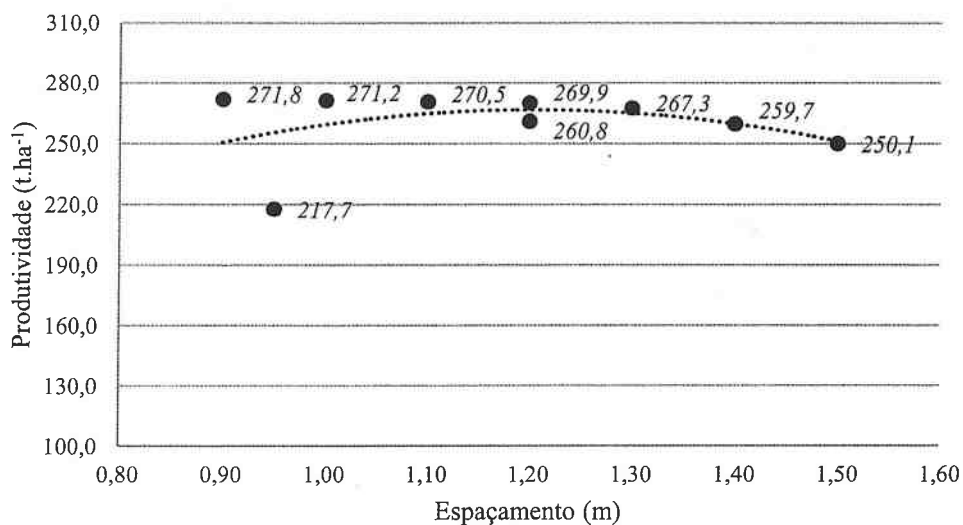


**Figura 5.** Desvio da produtividade média em função do espaçamento simples entre fileiras (para todas as variedades estudadas, em diferentes localidades) em relação ao espaçamento de 1,50 m (Fonte: Galvani et al. 1997, manipulado pelos autores).





**Figura 6.** Produtividade de cana de ano, sob manejo intensivo, para espaçamentos simples entre fileiras, de 0,90 m a 1,50 m, espaçamento “w” e duplo alternado calculada por modelo expolinear. Os pontos de 151,1 t.ha<sup>-1</sup> e 179,8 t.ha<sup>-1</sup> representam os espaçamentos “w” e duplo alternado respectivamente.



**Figura 7.** Produtividade alcançável de cana de ano e meio, sob manejo intensivo, para espaçamentos simples entre fileiras de 0,90 m a 1,50 m, espaçamento “w” e duplo alternado, calculada por modelo expolinear. Os pontos de 217,7 t.ha<sup>-1</sup> e 260,8 t.ha<sup>-1</sup> representam os espaçamentos “w” e duplo alternado respectivamente.

Considerando os valores dos gráficos obtidos nas simulações em manejo intensivo, também há pequena variação de produtividade entre os espaçamentos de fileiras simples de 0,90 m a 1,20 m. Em espaçamentos maiores, a produtividade também reduz, porém de forma mais acentuada que no manejo convencional.

Nessa simulação, a produtividade do espaçamento duplo alternado em comparação com os espaçamentos de fileiras simples análogos apresentou queda de produtividade menos intensa quando comparado com o manejo convencional, com valores entre 3 e 4%.

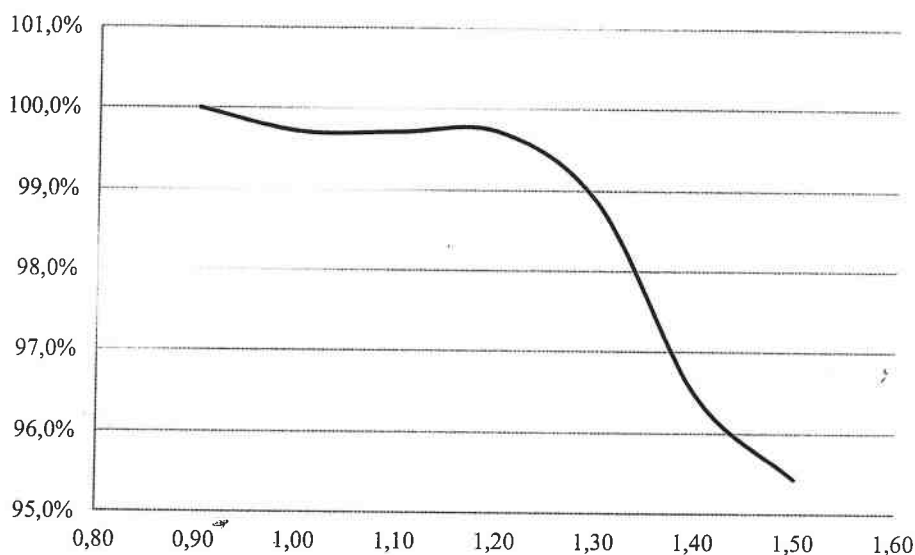
## 10. Espaçamentos de Plantio

Entretanto, para o espaçamento “w”, as simulações apontam para uma redução muito mais expressiva de produtividade em relação a fileira simples semelhante, com variação acima de 20%. Esta tendência reflete os relatos de produtores que adotam tal espaçamento, indicando ser vantajoso somente em ambientes de produção mais restritivos.

Quando comparamos os resultados do manejo convencional (Figura 4 e 6) e do manejo intensivo (Figura 5 e 7), nota-se que com o manejo correto da cultura, existe a possibilidade do aumento de produtividade significativo, pois o potencial real de produção é muito maior que o que identificamos em campo.

A grande chave no sucesso de produção de cana-de-açúcar está nas definições, adoção e operacionalização das melhores técnicas e práticas de manejo visando potencializar a máxima produção da cultura.

Quando comparamos os resultados e conformação da curva de produtividade obtidos na modelagem sob manejo convencional, encontramos resultados muito semelhantes aos levantamentos por Galvani et al. (1997) onde em espaçamentos simples de 0,90 m à 1,20 m demonstram produtividade muito próximas sendo que espaçamentos acima de 1,20 m mostram uma queda de produtividade significativa conforme apresentado na Figura 8.



**Figura 8.** Porcentagem da queda de produtividade em relação ao espaçamento simples de 0,90 m entre fileiras (Fonte: dados obtidos de Galvani et al. (1997) – adaptado pelos autores).

Uma vez que o manejo e as operações mecanizadas em cana-de-açúcar constituem percentual importante no custo de produção e que estas operações ocorrem seguindo as fileiras e o seu caminhamento, a eficiência e a produtividade das máquinas, são proporcionais ao comprimento e a quantidade de cana por metro linear das fileiras, principalmente na colheita.

Sendo assim, calculamos a produtividade média expressa em quilogramas de colmos de cana por metro linear de fileira ( $\text{kg.m}^{-1}$ ) para o manejo convencional gerando os gráficos das

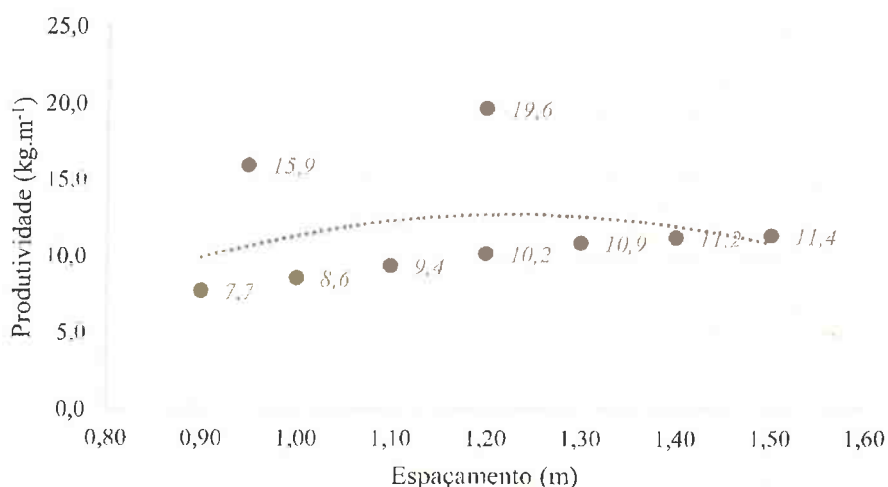
Figuras 9 e 10. As simulações indicam que a produtividade média de colmos por metro linear cresce com o aumento do espaçamento entre fileiras simples (tabela 2).

Nesse caso, a capacidade efetiva de colheita, ou produtividade das colhedoras de cana mensuradas em  $\text{t.h}^{-1}$  é maior em espaçamentos mais largos devido a maior quantidade de colmos por metro linear, quando consideramos a mesma velocidade de deslocamento da colhedora.

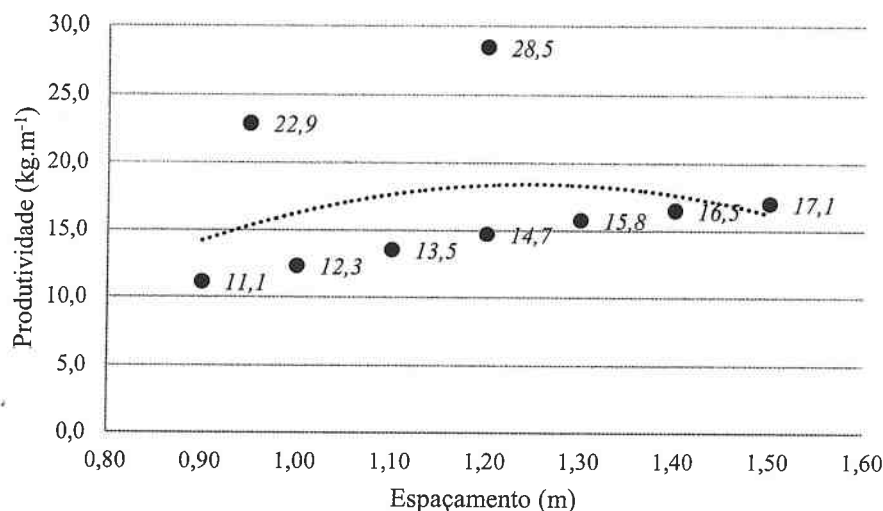
Podemos observar a produtividade de colmos por metro linear para todos os espaçamentos analisados nas Figuras 9 e 10 e na tabela 2.

**Tabela 2.** Comprimento de fileiras de cana-de-açúcar (m) em um hectare médio, e produtividade de colmos por metro de fileira ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ ), em cana de ano e cana de ano e meio, sob manejo convencional, em função do espaçamento entre fileiras, calculados pelos autores.

Espaçamento		Comprimento lineares	Tráfego linear	Produtividade média por metro colhido ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ )	
Fileira simples (m)	Fileira dupla (m x m)	Em um hectare (m)	Em um hectare (m)	Cana Ano	Cana Ano e meio
0,90		11.111,1	11.111,1	7,7	11,1
	1,4x0,5	10.526,3	<b>5.263,2</b>	<b>15,9</b>	<b>22,9</b>
1,00		10.000,0	10.000,0	8,6	12,3
1,10		9.090,9	9.090,9	9,4	13,5
	1,5x0,9	8.333,3	<b>4.166,7</b>	<b>19,6</b>	<b>28,5</b>
1,20		8.333,3	8.333,3	10,2	14,7
	1,2x1,2	8.333,3	<b>4.166,7</b>	<b>20,4</b>	<b>29,4</b>
1,30		7.692,3	7.692,3	10,9	15,8
1,40		7.142,9	7.142,9	11,2	16,5
	1,4x1,4	7.142,9	<b>3.571,5</b>	<b>22,4</b>	<b>33,0</b>
1,50		6.666,7	6.666,7	11,4	17,1
	1,5x1,5	6.666,7	<b>3.333,3</b>	<b>22,8</b>	<b>34,2</b>



**Figura 9.** Produtividade em quilogramas de cana por metro de fileira ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ ) em cana de ano, sob manejo convencional em função do espaçamento entre fileiras. Os pontos de  $15,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$  e  $19,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$  representam os espaçamentos “w” e duplo alternado respectivamente, pois nesses casos colhe-se duas fileiras concomitantemente. Considerando-se a colheita de duas fileiras de 1,20 m, 1,40 m e 1,50 m, seriam colhidos respectivamente  $20,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $22,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$  e  $22,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}$ .



**Figura 10.** Produtividade em quilogramas de cana por metro de fileira ( $\text{kg.m}^{-1}$ ) em cana de ano e meio sob manejo convencional em função do espaçamento entre fileiras. Os pontos de  $22,9 \text{ kg.m}^{-1}$  e  $28,5 \text{ kg.m}^{-1}$  representam os espaçamentos “w” e duplo alternado respectivamente, pois nesses casos colhe-se duas fileiras concomitantemente. Considerando-se a colheita de duas fileiras de 1,20 m, 1,40 m e 1,50 m, seriam colhidos respectivamente  $29,4 \text{ kg.m}^{-1}$ ,  $33,4 \text{ kg.m}^{-1}$  e  $34,2 \text{ kg.m}^{-1}$ .

Considerando essa premissa, de que a eficiência de colheita é maior pois a produtividade de colmos por metro em  $\text{kg.m}^{-1}$  é maior, observa-se que a colheita de espaçamentos duplos ou a viabilidade de colheita de duas fileiras de espaçamentos simples, trazem ganhos relevantes a produtividade das colhedoras pelo fato de estar processando maior quantidade de colmos por metro linear caminhado.

Nota-se que, a colheita de duas fileiras de espaçamentos simples permite que a capacidade e eficiência de colheita seja maior quando comparamos com os espaçamentos duplos análogos, pois além da produtividade de colmos por hectare ( $\text{t.ha}^{-1}$ ) ser maior, a produtividade de colmos por metro linear ( $\text{kg.m}^{-1}$ ) passa a ser ainda mais relevante. Para espaçamentos acima de 1,40 m a vantagem da colheita de duas fileiras expressa em  $\text{kg.m}^{-1}$  é ainda maior e mais vantajosa.

Como sabemos que o tráfego de máquinas nas áreas de produção é de extrema relevância, na Tabela 2, pode-se observar um comparativo entre o tráfego da colhedora na área quando realizado a colheita de espaçamentos simples, duplos (“w” e duplo alternado) e a colheita de

duas fileiras de alguns espaçamentos simples (1,20 m, 1,40 m, 1,50 m). Fica bastante claro que a colheita de duas fileiras (duplas ou simples) traz redução significativa de tráfego e todos os benefícios oriundos dessa prática.

Fica evidente que antagonicamente ao que foi obtido com relação à produtividade média dos canaviais em  $\text{t.ha}^{-1}$ , onde foi observado que quanto menor o espaçamento, maior a produtividade, quando essa análise leva em consideração a produtividade média de cana em quilogramas por metro linear, quanto maior o espaçamento entre fileiras, maior é a produtividade de cana por metro linear ( $\text{kg.m}^{-1}$ ) e maior a eficiência de colheita.

Esta tendência de maior massa de colmos por metro linear de sulcos, nos espaçamentos mais largos, também foi observada nos trabalhos realizados por Fabris et al. (2013) e relatada por Coleti (1994).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na revisão bibliográfica e nos resultados da modelagem matemática realizada, conseguimos identificar uma tendência comum

entre o enfoque teórico da simulação e as observações empíricas, especialmente aquelas de Galvani et al. (1997) e corroboradas pelas conclusões de Coleti (1994), que podem ser enumeradas:

- a) Espaçamentos reduzidos tem uma tendência de ter uma produtividade maior quando não considerados fatores externos de manejo e influência de mecanização, esses resultados foram obtidos em áreas experimentais e ou modelagens matemáticas.
- b) A cada 10 cm de aumento do espaçamento entre linhas, há uma redução de produtividade de 0,3% na faixa entre 0,90 m e 1,20 m, e de 1,0% a 5,4%, na faixa entre 1,20 m e 1,50 m, resultados que também consideram apenas áreas experimentais e modelos matemáticos.
- c) Ocorre uma produtividade “ótima” de equilíbrio no espaçamento simples de 1,20 m (diferença pequenas para os espaçamentos menores e significativa para os maiores). Esse espaçamento deveria ser melhor avaliado nos sistemas de produção atuais considerando-se o manejo e aplicação de mecanização do plantio a colheita.
- d) Quando comparamos as produtividades dos espaçamentos simples e duplos análogos, a produtividade do espaçamento simples é sempre maior que o seu semelhante em fileira dupla (ex.: simples de 1,20m > duplo alternado de 0,90X1,50m).
- e) Quando avaliada a produtividade por metro linear, nota-se que os espaçamentos maiores têm maior produtividade em  $\text{kg.m}^{-1}$ .
- f) A produtividade em  $\text{kg.m}^{-1}$  para espaçamentos simples é sempre maior que no espaçamento duplo análogo (com a mesma quantidade de metros lineares por hectare).
- g) Como para espaçamentos maiores a quantidade de cana por metro linear ( $\text{kg.m}^{-1}$ ) é maior, as eficiências da colhedora de cana mensurada em  $\text{t.h}^{-1}$  também são maiores devido a maior quantidade de matéria-prima processada pela máquina por metro linear de colheita (considerando a mesma velocidade de deslocamento da colhedora para todos os espaçamentos).
- h) Quando são consideradas a colheita de espaçamentos duplos e/ou duas fileiras de espaçamentos simples, essa tendência se repete, ou seja, nos espaçamentos maiores existe uma maior quantidade de cana por metro linear ( $\text{kg.m}^{-1}$ ) e as eficiências de colheita ficam ainda mais evidentes.
- i) Os espaçamentos reduzidos apresentam as vantagens de maior produtividade em cana planta (primeiro corte) pois há melhor tolerância a restrições do ambiente, menor incidência de competição com plantas daninhas, mas apresentam maiores restrições à colheita mecanizada.
- j) Essa vantagem de maior produtividade dos espaçamentos reduzidos em cana planta, diminui em cana soca com o avanço da idade do canavial, igualando-se no terceiro corte e diminuindo do quarto corte em diante quando comparada com espaçamentos acima de 1,40m.
- k) Espaçamentos simples de 1,40 m e 1,50 m entre fileiras tem produtividade média igual ou maior no ciclo de cinco anos de colheita quando comparados com espaçamentos reduzidos e duplos, principalmente devido a manejo e adoção de mecanização.
- l) Para a escolha do espaçamento, todos os fatores de produção devem ser considerados, pois apesar de diferenças muitas vezes significativas de produtividade entre espaçamentos reduzidos e espaçamentos maiores que 1,20 m, essa diferença matemática tende a se igualar quando todos os fatores de produção são levados em consideração, e essa mesma tendência é o que vem sendo observado em campo nas áreas de produção.

Modelos matemáticos são úteis para traçar cenários, gerar hipóteses e traçar prioridades de pesquisa, mas não suprimem as pesquisas de campo (Bernardes, 2008), especialmente aquelas em escala comercial, que são essenciais para averiguação empírica, e para testar as simulações sob as diversas interações entre os fenômenos que afetam a produtividade.

## 10. Espaçamentos de Plantio

Entretanto, como alertam Bull & Glasziou (1975), é muito difícil encontrarmos regras gerais na cultura da cana-de-açúcar, uma vez que há muitos fatores limitantes que variam enormemente entre os diversos locais de produção.

Sendo assim, as simulações devem ser testadas amplamente no campo, porém essas avaliações devem seguir metodologia e rigor apropriados e serem mensurados sempre considerando: os fatores de produção (disponibilidade hídrica, de nutrientes, radiação, etc.); as variáveis da planta (IAF, população de perfilhos e colmos e suas dimensões, taxa de crescimento, etc.); e das operações (intensidade de dano na colheita, eficiência de colheita, etc.), pois a interação desses três fatores é o que realmente acontece no dia-a-dia das Usinas e que tem influência direta na produtividade média dos canaviais.

## 5. REFERÊNCIAS

- ALLEONI, L.R.F.; BEAUCLAIR, E.G.F. Efeito do tipo de sulcador em diversos parâmetros de crescimento e na produtividade de cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.14, n.3, p. 24-27, 1996.
- ALVAREZ, I.A.; CASTRO, P.R.C. Crescimento da parte aérea de cana crua e queimada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.4, p. 1.069<sup>-1</sup>.079, 1999.
- BASILE FILHO, A.; CÂMARA, G.M.S.; CÉSAR, M.A.; PIEDADE, S.M.S.; MIRANDA, R.S. Produção e qualidade tecnológica de três cultivares de cana-de-açúcar, conduzidas sob espaçamento reduzido e tradicional de plantio em condições de cana de ano. IN: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 5.; Águas de São Pedro, 1993; **Anais...** Águas de São Pedro, 1993. p. 15<sup>-19</sup>.
- BERNARDES, M.S. Fotossíntese no dossel das plantas cultivadas. In: Castro, P.R.C.C.; Ferreira, S.O.; Yamanda, T. (Eds). **Ecofisiologia das plantas cultivadas**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1987. p. 13-48.
- BERNARDES, M.S. Modelos matemáticos. Ideótipo de cana: romantismo, idealização ou tomada de rumo. **Revista Opiniões: Açúcar e Álcool**, Ribeirão Preto, p. 70, jul./set., 2008.
- BERNARDES, M.S. Gerenciamento operacional. Batedor de pênalti. **Revista Opiniões: Açúcar e Álcool**, Ribeirão Preto, p. 66-68, abr./jun., 2010.
- BULL, T.A.; GLASZIOU, K.T. **Sugar cane**. In: EVANS, L. T. (Ed). **Crop physiology: some case histories**. Cambridge: Cambridge University Press, 1975. p. 51-72.
- COLETI, J.T. Uma avaliação de espaçamentos reduzidos em cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.12, n.4, p. 18-23, 1994.
- CONFALONE, A.E.; BERNARDES, M.S.; COSTA, L.C.; RIGHI, C.A.; DOURADO NETO, D.; MARTIN, T.N.; MANFRON, P.A.; PEREIRA, C.R. Exponencial modelo on soybean growth in Argentina and Brazil. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.14, n.3, p. 24-27, 1996.
- COPERSUCAR. **Redução de espaçamento na cultura da cana-de-açúcar**. Caderno Copersucar n. 13, Piracicaba, 1989.
- DIAS, F.L.F.; CASAGRANDE, A.A.; CAMPOS, M.S.; ANDRIOLI, I. Estudo agroecômico de sistemas de preparo de solo, em área de colheita mecanizada de cana crua. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.20, n.1, p. 26-29, 2001.
- DILLEWIJN, C. **Botany of sugar cane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 359 p.
- FABRIS, L.B.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; SANTOS, D.H.; SANTOS, G.S.; SILVA, P.C.G. Produtividade e desempenho de cana-soca cultivada em diferentes espaçamentos e doses de adubação nitrogenada em cobertura. **Revista Agrarian**, Dourados, v.6, n.21, p. 252-258, 2013.
- GALVANI, E.; BARBIERI, V.; PEREIRA, A.B.; VILLA NOVA, N.A. Efeito de diferentes espaçamentos entre sulcos na produtividade agrícola da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.56, n.1/2, p. 62-68, 1997.

- GOUDRIAAN, J. **Using the expolinear growth equation to analyze resource capture.** In: MONTEITH, J.L. et al. (Eds). *Resource capture by crops.* Nottingham: Nottingham University, 1994. p. 99<sup>1</sup>10.
- HUNSIGI, G. **Production of sugarcane: theory and practice. Resource capture by crops.** Berlin: Springer-Verlag, 1993. 245 p.
- IRVINE, J.E.; BENDA, G.T.A. Sugar cane spacing II. Effects of spacing on the plant. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 17.; Manila, 1980. **Proceedings...** Manila: ISSCT, 1980. p. 357-367.
- IRVINE, J.E.; RICHARD, C.A.; GARRISON, D.D.; JACKSON, W.R. Sugar cane spacing III. Development of production techniques for narrow rows. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 17.; Manila, 1980. **Proceedings...** Manila: ISSCT, 1980. p. 368-376.
- MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHL, J.I.; ARRUDA, H.V.; CIONE, J. Índices biométricos de duas variedades de cana-de-açúcar. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v.17, n.9, p. 1.323<sup>1</sup>.329, 1982.
- MATHERNE, R.J. Influence of interrow spacing and planting rate on stalk population and cane yield in Louisiana. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 14.; New Orleans, 1971. **Proceedings...** New Orleans: ISSCT, 1971. p. 640-645.
- MUCHOW; R.C.; SPILLMAN, M.F.; WOOD, A.W.; THOMAS, M.R. Radiation interception and biomass accumulation in a sugarcane crop under irrigated crop conditions. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.45, p. 37-49, 1994.
- SHIH, S.F.; GASCHO, G.J. Relationships among stalk length, leaf área and dry biomass of sugarcane. **Agronomy Journal**, Madison: The Society, v.72, n.2, p. 309-313, 1980.
- STUBBS, W.C. **Sugar cane: a treatise on the history, botany and agriculture of sugar cane, ande the chemistry and manufacture of its juice into sugar and other products.** New Orleans: State Bureau of Agriculture & Immigration, 1897. 298 p.
- VEIGA; F.M.; AMARAL, E. **Ensaio de espaçamento de cana-de-açúcar.** Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, Rio de Janeiro-RJ: O Ministério, v.8, p. 1-28, 1952.

**GUILHERME DE CASTRO BELARDO**

**MARCELO TUFÁILE CASSIA**

**ROUVERSON PEREIRA DA SILVA**

**PROCESSOS AGRÍCOLAS E MECANIZAÇÃO  
DA CANA-DE-AÇÚCAR**

1ª edição

**Jaboticabal – SP  
Editora SBEA  
2015**

B344p

Belardo, Guilherme de Castro.

Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-Açúcar / Guilherme de Castro Belardo, Marcelo Tufáile Cassia e Rouverson Pereira da Silva. –

1 ed. – Jaboticabal : SBEA, 2015

608 p. : il.

Inclui bibliografia

1. Saccharum spp. 2. Mecanização agrícola. 3. Produção agrícola. I. Belardo, Guilherme de Castro. II. Título.

ISBN 978-85-64681-06-4



9 788564 681064