

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^{-1} , podendo chegar a 300 t.ha^{-1} com um alto potencial de produção, a produtividade média dos canaviais brasileiros nas últimas décadas está estável em níveis próximos a 80 t.ha^{-1} ? 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^{-1} , 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 $1,00 \text{ m}$, 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⁻¹.

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 expolinar 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).

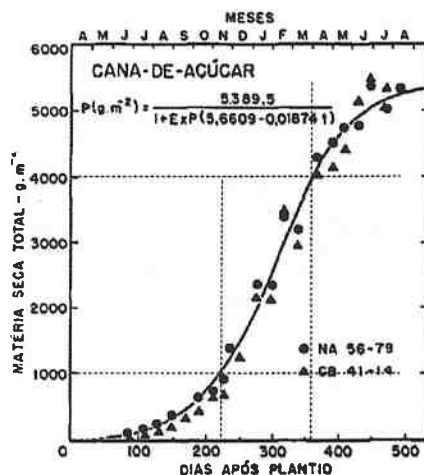
As simulações desse trabalho foram realizadas para duas situações de manejo (convencional e intensivo) e para dois modelos de plantio (cana de ano e ano e meio).

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⁻² e taxa de crescimento máxima na fase linear entre 21,4 e 22,7 g. m⁻².d⁻¹ 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⁻².d⁻¹ obtida por Muchow et al. (1994), valor similar ao relatado por Bull & Glasziou (1975), que observaram produtividade de colmos de 250 t.ha⁻¹.

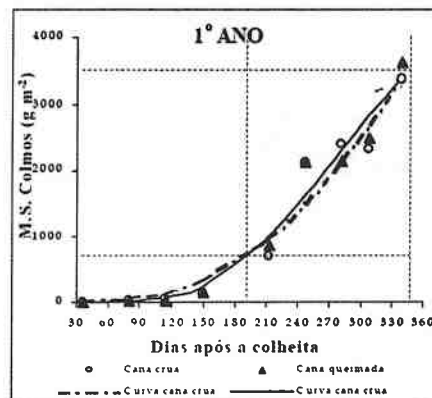
Esses números representam o real potencial da cana-de-açúcar que em situações ideais atingiram produtividades da ordem de 395 t.ha⁻¹ e 340 t.ha⁻¹, conforme cálculos de Hunsigi (1993) e dados efetivamente medidos a campo por Scarpari (2014, informação pessoal, IAC Ribeirão Preto - SP).

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/m².d

Machado et al., 1982



22,7 g/m².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	Linha dupla		Cana	Cana	Cana	Cana
(m)	(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

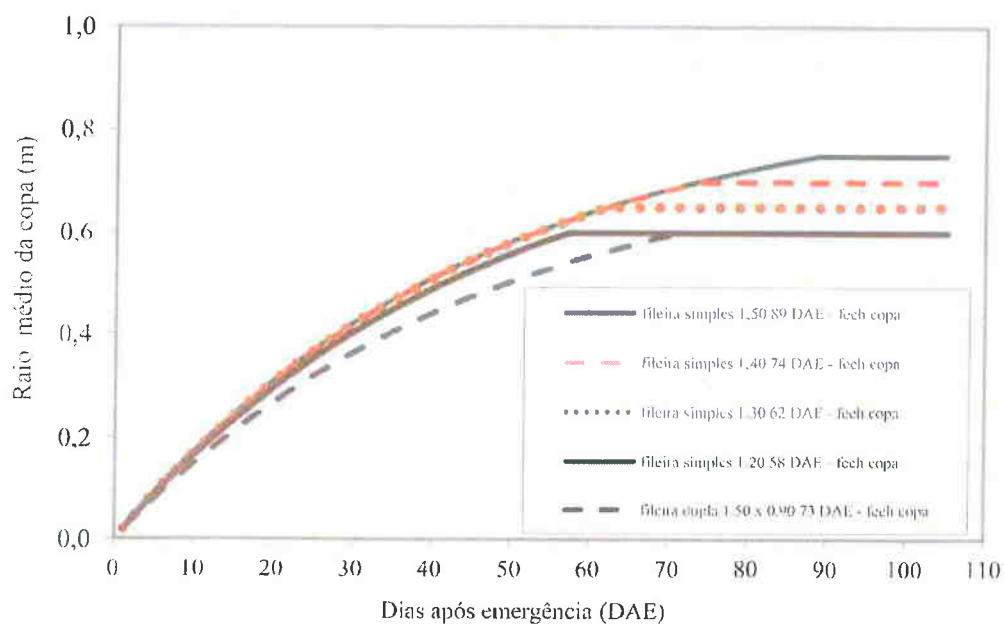


Figura 2. Evolução temporal do raio médio da copa, no sentido da entrelinha de cana-de-açúcar, em função do tipo de espaçamento e distância entre fileiras.

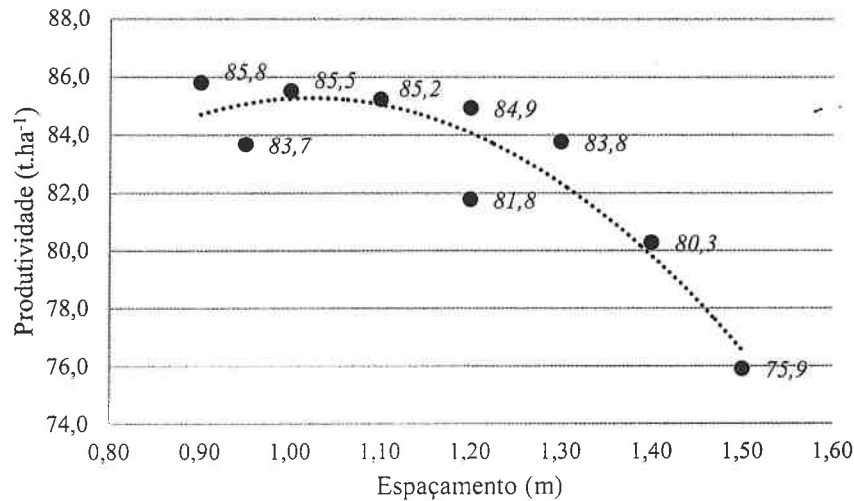


Figura 3. Produtividade estimada de cana de ano, sob manejo convencional, para espaçamentos simples entre fileiras de 0,90 m a 1,50 m, espaçamento “w” e duplo alternado, calculada por modelo expolinear. Os pontos de 83,7 t.ha⁻¹ e 81,8 t.ha⁻¹ representam os espaçamentos “w” e duplo alternado respectivamente.

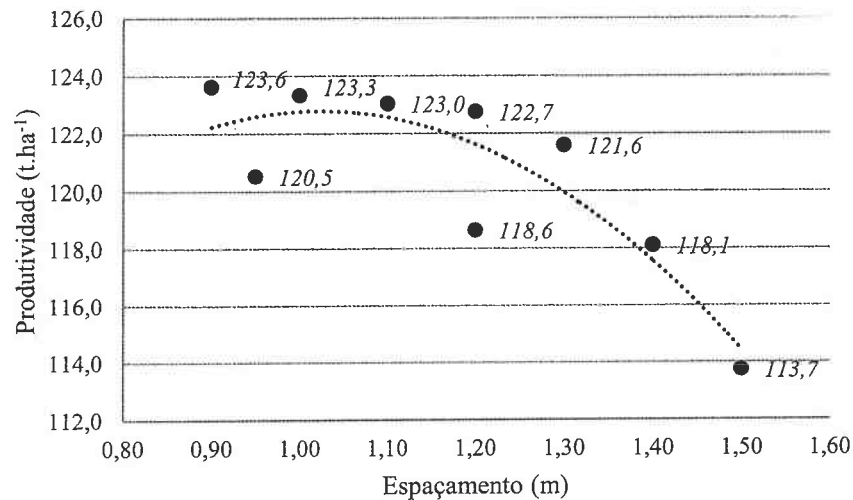


Figura 4. Produtividade de cana de ano e meio, sob manejo convencional, para espaçamentos simples entre fileiras de 0,90 m a 1,50 m espaçamento “w” e duplo alternado, calculada por modelo expolinear. Os pontos de 120,5 t.ha⁻¹ e 118,6 t.ha⁻¹ representam os espaçamentos “w” e duplo alternado respectivamente.

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⁻¹. Em espaçamentos duplos e simples acima de 1,20 m a tendência de queda de produtividade é maior e superior a 4 t.ha⁻¹, 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 espaçamentos 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.

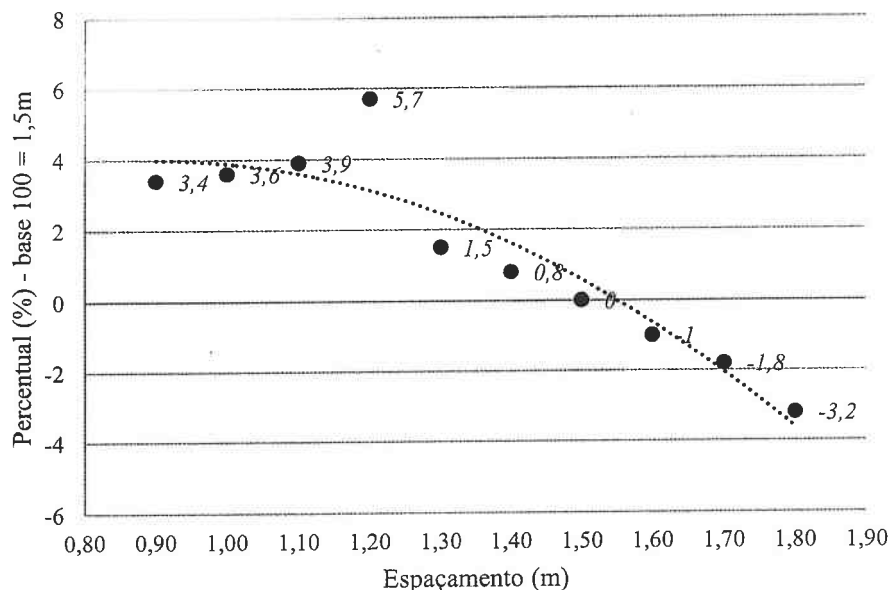


Figura 5. Desvio da produtividade média em função do espaçamento simples entre fileiras (para todas as variedades estudadas, em diferentes localidades) em relação ao espaçamento de 1,50 m (Fonte: Galvani et al. 1997, manipulado pelos autores).

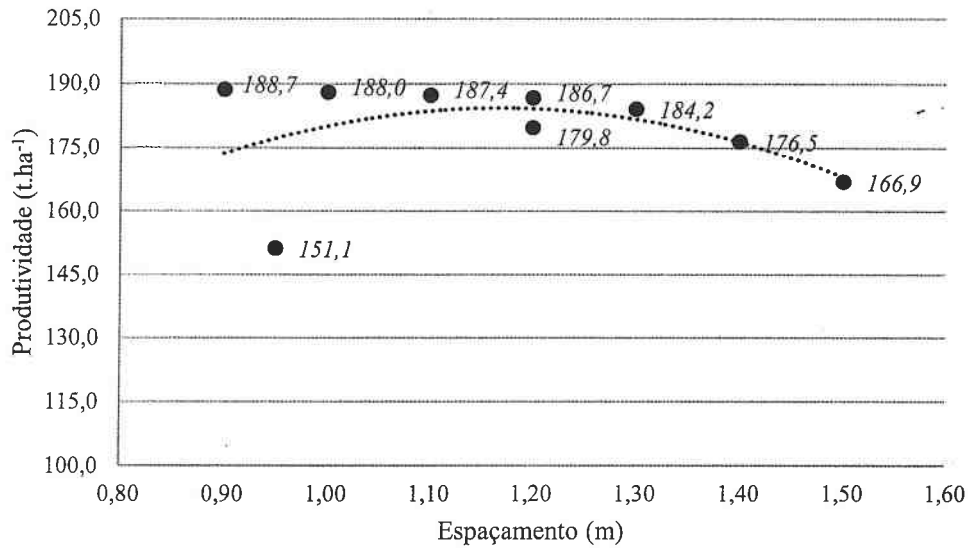


Figura 6. Produtividade de cana de ano, sob manejo intensivo, para espaçamentos simples entre fileiras, de 0,90 m a 1,50 m, espaçamento “w” e duplo alternado calculada por modelo expolinear. Os pontos de 151,1 t.ha⁻¹ e 179,8 t.ha⁻¹ representam os espaçamentos “w” e duplo alternado respectivamente.

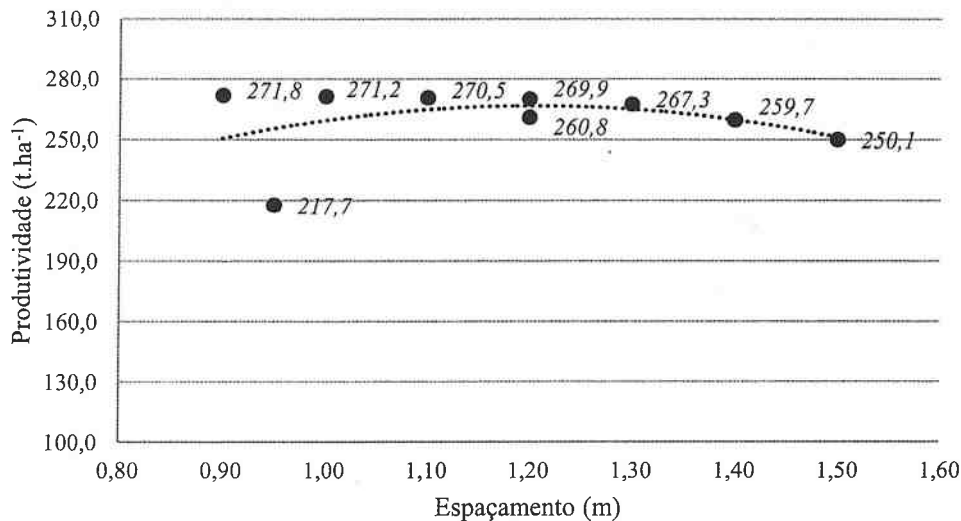


Figura 7. Produtividade alcançável de cana de ano e meio, sob manejo intensivo, para espaçamentos simples entre fileiras de 0,90 m a 1,50 m, espaçamento “w” e duplo alternado, calculada por modelo expolinear. Os pontos de 217,7 t.ha⁻¹ e 260,8 t.ha⁻¹ representam os espaçamentos “w” e duplo alternado respectivamente.

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.

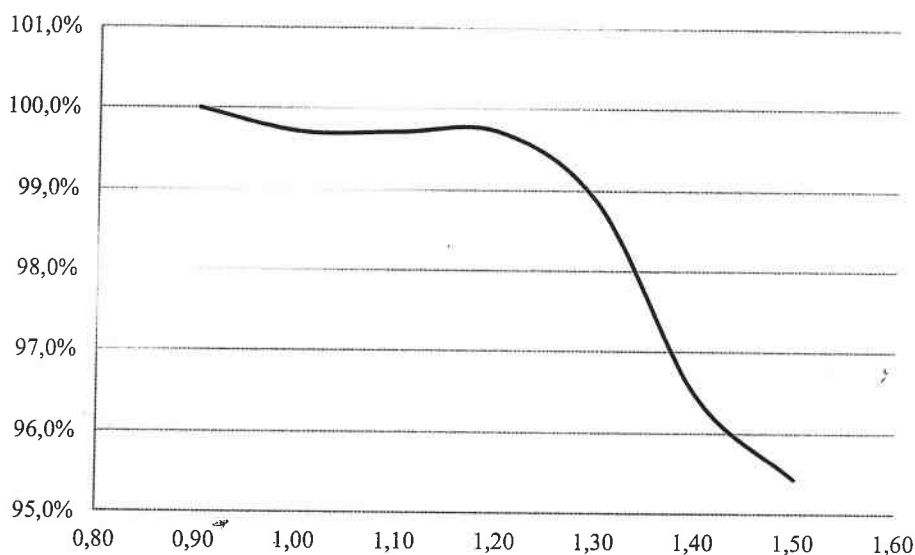


Figura 8. Porcentagem da queda de produtividade em relação ao espaçamento simples de 0,90 m entre fileiras (Fonte: dados obtidos de Galvani et al. (1997) – adaptado pelos autores).

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 (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 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 (kg.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 (kg.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	5.263,2	15,9	22,9
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	4.166,7	19,6	28,5
1,20		8.333,3	8.333,3	10,2	14,7
	1,2x1,2	8.333,3	4.166,7	20,4	29,4
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	3.571,5	22,4	33,0
1,50		6.666,7	6.666,7	11,4	17,1
	1,5x1,5	6.666,7	3.333,3	22,8	34,2

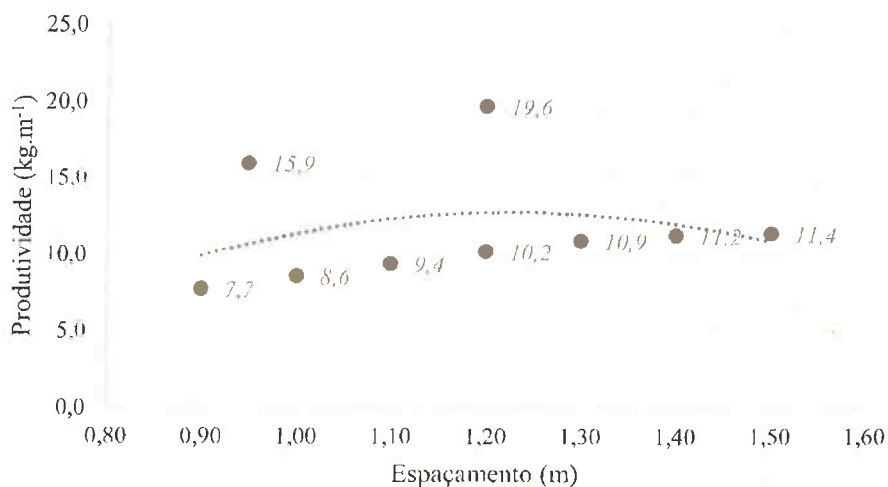


Figura 9. Produtividade em quilogramas de cana por metro de fileira (kg.m^{-1}) em cana de ano, sob manejo convencional em função do espaçamento entre fileiras. Os pontos de $15,9 \text{ kg.m}^{-1}$ e $19,6 \text{ kg.m}^{-1}$ representam os espaçamentos “w” e duplo alternado respectivamente, pois nesses 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 $20,4 \text{ kg.m}^{-1}$, $22,4 \text{ kg.m}^{-1}$ e $22,8 \text{ kg.m}^{-1}$.