

CORTE, TRANSBORDO E TRANSPORTE (CTT): ASPECTOS RELEVANTES E USO DA MODELAGEM PARA O CTT

MILAN,M.; ROSA, J.H.M.

. In: BELARDO,G.C. et al. Processos Agrícolas e Mecanização da Cana de Açúcar. Jaboticabal : SBEA,2015 p.415-428

1. INTRODUÇÃO

O setor agrícola, como qualquer outra atividade, deve ajustar as receitas e os custos de modo a garantir a rentabilidade do negócio. Uma análise crítica dos custos envolvidos e a definição das prioridades para minimizá-los, sem que isso afete a sustentabilidade do negócio, são formas de se evitar a perda da rentabilidade. O sistema mecanizado agrícola, conjunto de equipamentos, máquinas e implementos que realizam os processos de implantação, condução e retirada das culturas comerciais, é um ponto estratégico para a melhoria da rentabilidade, pois ele pode representar, dependendo da cultura, de 20 a 40% dos custos de produção.

No caso da cultura da cana de açúcar, a mecanização teve um grande impulso nos últimos anos e hoje está presente em todas as etapas do processo. Exemplos desse impulso são as operações mecanizadas de plantio e colheita, que até poucos anos atrás eram conduzidas predominantemente de forma semi-mecanizada¹. Em função das restrições legais quanto à queima prévia da cana-de-açúcar, escassez de mão de obra, exigências quanto às condições de trabalho e investimentos em bioeletricidade, o aumento do índice de mecanização na etapa de colheita, com a utilização de colhedoras automotrizes, foi expressivo. Considerando o centro-sul canavieiro², que responde por 88% da produção de cana-de-açúcar, o percentual de colheita mecanizada passou de 28% em 2000 para 80% em 2011 (PAES, 2011).

De acordo com o Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas – PECEGE (2012), a colheita é o principal componente do custo operacional de produção, correspondendo a cerca de 40% dos desembolsos na produção da matéria-prima e esta, por sua vez, corresponde por 60% do custo de produção do açúcar e etanol (CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-

¹ Parte da operação é realizada manualmente e parte de forma mecanizada. Ex.: A colheita semi-mecanizada envolve a colheita manual e o carregamento mecânico da cana inteira (colmo).

² Compreende os estados de: Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo.

DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CONSECAN/SP, 2006).

O planejamento operacional e econômico é uma ferramenta fundamental de apoio para a avaliação dos custos da mecanização, permitindo antecipar e analisar os resultados esperados, auxiliando nas tomadas de decisão. Porém, enquanto que em outras áreas da engenharia as especificações necessárias para realizar o planejamento do desempenho das máquinas são mais fáceis de serem obtidas e também mais acuradas, nas áreas agrícola e florestal essas especificações não mantêm um padrão. Isso é devido, principalmente, à quantidade e diversificação dos elementos envolvidos, muitos deles, inclusive, sem a possibilidade de controle, em especial aqueles relacionados às condições edafoclimáticas. Além disso, é necessário levar em conta as relações interdependentes observadas, no qual a alteração em uma determinada variável pode afetar outra, modificando a atividade do sistema como um todo. Dessa forma, os modelos computacionais aplicados ao dimensionamento de sistemas mecanizados, agrícolas e florestais, são ótimas ferramentas de gestão. O uso desses modelos traz inúmeras vantagens, desde se obter o conhecimento prévio do desempenho dos sistemas até a possibilidade de manipular cenários para testar situações de interesse.

2. MODELOS COMPUTACIONAIS APLICADOS A SISTEMAS MECANIZADOS AGRÍCOLAS

O desenvolvimento de um modelo computacional é realizado pela análise e entendimento das relações envolvidas de um problema, seguida da construção de um algoritmo, sequência lógica de instruções na qual os conceitos e relações do problema são ordenados. O algoritmo é transformado em um programa por meio da codificação das instruções, de acordo com as propriedades do programa/linguagem, permitindo ao computador interpretar a sequência de cálculos e decisões. O programa é verificado quanto a erros, durante e após a sua construção, e validado. Uma das formas de validação é o comparativo, intermediário e/ou final, dos resultados do programa com os dados reais de uma determinada situação. Após a verificação e validação, o modelo é aplicado na análise do problema em questão e no desenvolvimento de cenários e simulações, que permitem avaliar o problema de diversos ângulos, dentro das limitações impostas pelo algoritmo. Um exemplo de algoritmo para realizar o dimensionamento operacional e econômico de um sistema mecanizado é representado pelo fluxograma ilustrado na Figura 1.

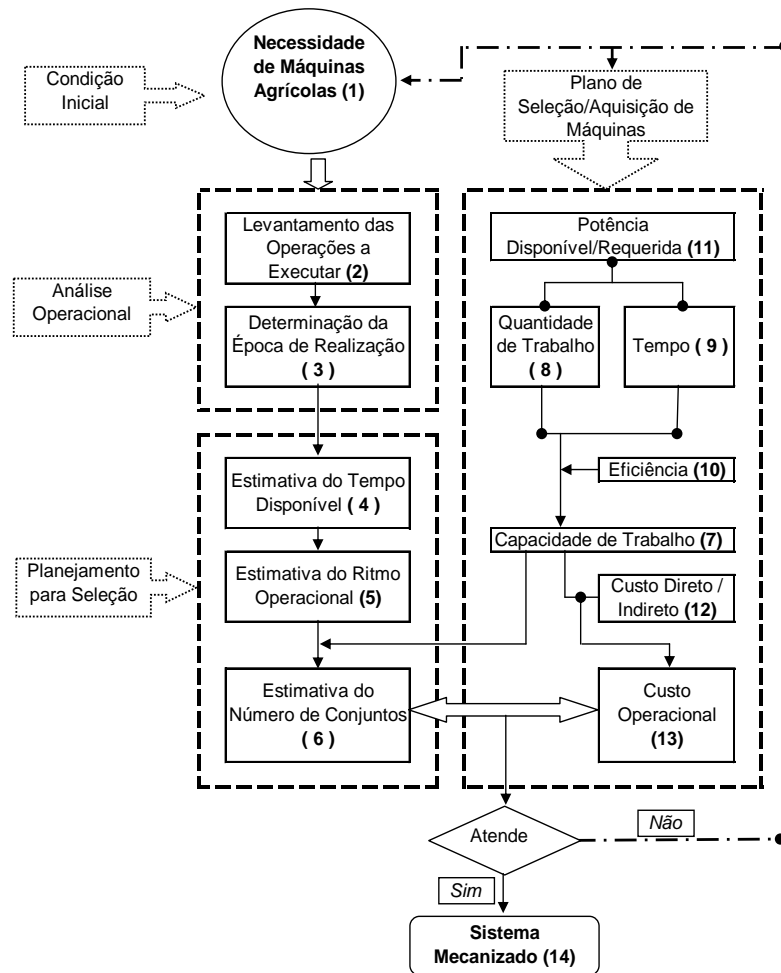


Figura 1 - Fluxograma para o dimensionamento operacional e econômico de sistemas mecanizados agrícolas

Fonte: Milan (2004)

De acordo com a Figura 1, o dimensionamento de um sistema mecanizado tem início pela necessidade em se adquirir máquinas (1), para atender uma nova área agrícola ou substituir uma frota existente, total ou parcialmente. As operações a serem executadas (2) e as respectivas épocas de realização são definidas (3) na análise operacional e essas informações são utilizadas na etapa de planejamento para seleção. No planejamento, determina-se o tempo disponível (4) e o ritmo operacional (5), quantidade de trabalho a ser realizada na unidade de tempo. Com base no ritmo operacional e na capacidade de trabalho da máquina (7), calcula-se o número de conjuntos necessários (6) para atender as condições definidas na análise operacional. A determinação da capacidade de trabalho é realizada com

base na quantidade de trabalho (8) que a máquina pode realizar na unidade de tempo (9), adequando-se a potência disponível, por exemplo, do motor do trator com a potência requerida (11) pelo implemento e a eficiência da operação (10). A associação entre a capacidade operacional e os custos diretos e indiretos (12) determina o custo operacional (13). Se o resultado se mostrar adequado, encerra-se o processo (14), caso contrário, as alternativas para viabilizar o sistema devem ser reavaliadas.

2.1 ANÁLISE OPERACIONAL

A análise operacional refere-se à definição do sistema de produção a ser adotado para atender as características e necessidades da cultura a ser implantada. O sistema de produção pode ser entendido como um conjunto de processos agrícolas sequenciais que viabilizam a sustentabilidade econômica e ambiental de uma cultura. Os processos são realizados cronologicamente em períodos distintos, respeitando as fases de desenvolvimento e produção das plantas e as condições climáticas. O Gráfico de Gantt é uma das formas de representar o resultado dessa análise, Figura 2.

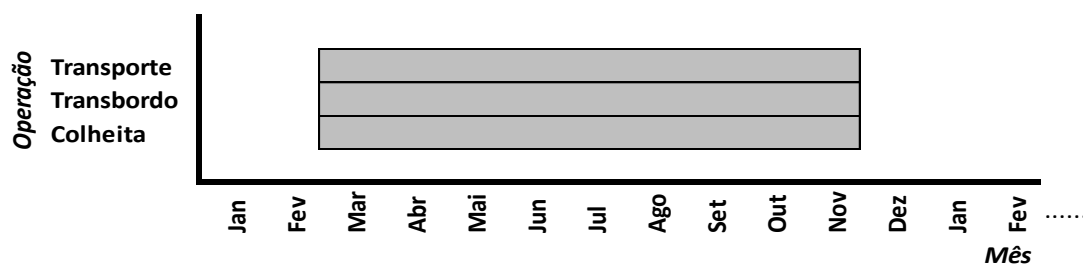


Figura 2 - Análise operacional do sistema de colheita mecanizada de cana (colheita, transbordo e transporte) para a região centro-sul (Br.)

2.2 PLANEJAMENTO PARA SELEÇÃO

A primeira etapa do planejamento é estimar o tempo disponível para cada operação com base nas condições propostas na análise operacional, equação 1:

$$TD = \{[NT - (NDF + NDUI)] \times (JT \times EG)\} \quad (1.)$$

Sendo:

TD = Tempo disponível, em horas (h), para realizar cada operação;

NT = Número de dias total no período previsto para a realização da operação;

NDF = Número de domingos e feriados previstos para ocorrer no período;

NDUI = Número de dias úteis impróprios ao trabalho das máquinas;

JT = Jornada de trabalho adotada em horas (h);

EG = Eficiência gerencial ou administrativa, em decimal.

Na equação (1), NT refere-se ao número total de dias no período previsto para realizar a operação. Desse total, subtrai-se o número de domingos e feriados (NDF) no período, uma decisão administrativa, e o número de dias úteis impróprios (NDUI). O NDUI corresponde aos dias em que a máquina não pode operar devido ao clima e/ou ao excesso de umidade do solo. Em termos de planejamento, os dias impróprios representam o ponto mais crítico, dada à incerteza associada a eles. As alternativas encontram-se entre dimensionar a frota para atender as condições mais críticas, o que traz como consequência a pouca utilização em anos normais e, conseqüentemente, um aumento nos custos, ou dimensionar a frota para anos favoráveis, reduzindo o investimento e aumentando o retorno, porém elevando os riscos de perdas da cultura, por não se realizar as operações dentro dos prazos estipulados, pontualidade das operações.

A jornada de trabalho diária (JT) é uma decisão administrativa realizada com base nas necessidades da organização e na legislação vigente. A eficiência gerencial (EG), leva em conta os tempos associados à administração e, portanto não pode ser atribuído ao trabalho das máquinas. Esses tempos envolvem o deslocamento de frentes, atrasos na entrega de insumos, erros na alocação das máquinas, falta de ordem de serviço, entre outros.

O ritmo operacional (RO), expressa a quantidade de trabalho a ser realizada no tempo disponível para cada operação, conforme equação 2:

$$RO = \frac{Ar}{TD} \quad (2.)$$

Sendo:

RO = Ritmo operacional em ha h⁻¹;

Ar = Área a ser trabalhada por operação, em ha;

TD = Tempo disponível, em horas (h).

A razão entre a demanda de trabalho, representada pelo ritmo operacional, e a capacidade de trabalho da máquina determina o número de conjuntos

necessários (equação 3). Se existirem conjuntos³ com as mesmas características técnicas, empregados em operações similares e em épocas coincidentes, o resultado final deve conter a somatória desses conjuntos para os períodos coincidentes.

$$NC = \frac{RO}{CT} \quad (3.)$$

Sendo:

NC = Número de conjuntos;

RO = Ritmo operacional em ha h⁻¹;

CT = Capacidade de trabalho em ha h⁻¹.

2.3 PLANO DE SELEÇÃO/AQUISIÇÃO DE MÁQUINAS

A tomada de decisão quanto à seleção/aquisição de uma determinada máquina agrícola está associada às suas características técnicas e a necessidade de potência para a realização das operações. Às características técnicas e a potência influenciam no custo operacional, razão entre a capacidade de trabalho e o custo horário. O custo operacional e o número de conjuntos a serem adquiridos compreendem a base para a tomada de decisão referente à necessidade de adquirir máquinas.

2.3.1 CAPACIDADE DE TRABALHO

A capacidade de trabalho de uma máquina expressa à quantidade de trabalho que ela pode realizar numa determinada unidade de tempo. A capacidade pode ser classificada, de acordo com a característica da operação em: de campo; produção; manipulação. A capacidade de campo é definida como a razão entre a quantidade de trabalho em termos de área por unidade de tempo como, por exemplo, hectares por hora. A capacidade de produção é a razão entre a quantidade de trabalho em termos de volume ou massa de produto na unidade de tempo como, por exemplo, toneladas por hora. A capacidade de manipulação, por sua vez, está associada à separação de materiais e expressa a razão em termos de volume ou massa por unidade de tempo. As capacidades de trabalho, de

³ Associação entre uma fonte de potência e um implemento/máquina. Ex.: Trator e transbordo, Trator e arado, Cavalos mecânicos e carroceria.

campo, produção e manipulação, podem ser classificadas em teórica, efetiva e operacional.

Quando a capacidade de trabalho é medida em área, a capacidade de campo teórica reflete o potencial que a máquina pode realizar, definida com base nas especificações do projeto do equipamento ou especificada para a realização da operação, equação 4:

$$CCT = \frac{LT \times VT}{10} \quad (4.)$$

Sendo:

CCT = Capacidade de campo teórica, em ha h⁻¹;

LT = Largura de trabalho especificada, em metros;

VT = Velocidade de deslocamento especificada, em km h⁻¹;

Vários fatores operacionais afetam a largura e a velocidade especificadas na CCT, sendo um deles a sobreposição nas passadas. Dessa forma, a capacidade de campo efetiva (CCE) representa a quantidade de trabalho efetivamente obtida pela máquina, realizando a operação para a qual foi projetada e nas condições de trabalho, equação 5.

$$CCE = \frac{LE \times VE}{10} \quad (5)$$

Sendo:

CCE = Capacidade de campo efetiva, em ha h⁻¹;

LE = Largura de trabalho efetiva, em metros;

VE = Velocidade de deslocamento efetiva, em km h⁻¹;

Durante a operação no campo, existem atividades auxiliares necessárias à operação, como por exemplo, manobras, pequenos ajustes ao longo da operação e reabastecimento de insumos. Essas atividades, embora essenciais para a operação, não produzem trabalho efetivo e a capacidade de campo operacional (CCO) expressa a influência dessas atividades auxiliares, equação 6:

$$CCO = CCE \times Ef \quad (6.)$$

Sendo:

CCO = Capacidade de campo operacional, em ha h⁻¹;

CCE = Capacidade de campo efetivo, em ha h⁻¹;

Ef = Eficiência, em decimal.

A classificação realizada para a capacidade de campo em teórica, efetiva e operacional, é utilizada para a capacidade de produção e de manipulação, com os mesmos princípios.

2.3.2 CUSTOS OPERACIONAIS⁴

O desempenho econômico das máquinas agrícolas envolve o cálculo dos custos direto, indireto e o operacional. Os custos diretos são aqueles atribuídos à posse e ao uso do equipamento, os indiretos são devidos a um dimensionamento inadequado, causando perdas na produtividade ou na qualidade do produto, e o operacional está relacionado com a capacidade de trabalho.

O custo direto ou horário é determinado pela soma dos custos fixos e variáveis, equação 7:

$$CH = CFH + CVH \quad (7.)$$

Sendo:

CH = Custo horário, em R\$ h⁻¹;

CFH = Custo fixo horário, em R\$ h⁻¹;

CVH = Custo variável horário, em R\$ h⁻¹;

Os custos fixos, equação 8, independem do uso da máquina e envolvem: depreciação (*), considerada como a perda de valor de um bem devido à idade, desgaste e obsolescência da máquina; juros (**), determinados por uma taxa alocada ao capital investido no equipamento, seja financiado ou próprio; alojamento, seguro e taxas (***), que contemplam, respectivamente, gastos com estrutura física para alojar as máquinas, com seguros para casos de acidentes/roubos e com taxas anuais que incidem sobre o equipamento, quando existirem.

⁴ O presente subitem aborda essencialmente custos diretos relacionados à maquinaria agrícola; os custos com operadores e estrutura de apoio não serão aqui considerados.

$$CFH = \frac{\left\{ VI \times \left[\left(\frac{1 - VF}{VUA} \right)^* + \left[\left(\frac{1 + VF}{2} \right) \times i^{**} \right] + FAST^{***} \right\}}{NHTA} \quad (8.)$$

* Depreciação; ** Juros sobre o capital; *** Alojamento, seguros e taxas

Sendo:

CFH = Custo fixo horário, em R\$ h⁻¹;

VI = Valor inicial, em R\$;

VF = Valor final, decimal em relação ao valor inicial;

VUA = Vida útil, em anos;

NHTA = Número de horas trabalhadas no ano;

i = Taxa de juros, em decimal;

FAST = Fator de alojamento, seguros e taxas, em decimal.

Os custos variáveis são associados ao uso, equação 9, e referem-se aos gastos com o combustível (*) e reparos e manutenção (**). O custo de reparo e manutenção é influenciado pelo valor inicial da máquina.

$$CVH = (CCb \times PL)^* + \left(\frac{VI \times FRM}{VUHe} \right)^{**} \quad (9.)$$

* Combustível; ** Reparos e manutenção

Sendo:

CVH = Custo variável horário, em R\$ h⁻¹;

CCb = Consumo de combustível, em L h⁻¹;

PL = Preço do combustível, em R\$ L⁻¹;

VI = Valor inicial, em R\$;

FRM = Fator de reparos e manutenção, em decimal;

VUHe = Vida útil estimada, em horas.

ASTA = Fator de alojamento, seguros e taxas, em decimal.

O custo operacional é obtido pela razão entre o custo horário da máquina e a capacidade de trabalho, expressa pela capacidade operacional de campo, produção ou manipulação. No caso da operação de colheita de cana, o custo operacional é relacionado com a massa colhida, equação 10:

$$COp = \frac{CH}{CPO} \quad (10.)$$

Sendo:

COp = Custo Operacional, em R\$ t⁻¹;

CH = Custo horário, em R\$ h⁻¹;

CPO = Capacidade de produção operacional, em t h⁻¹.

3. PLANEJAMENTO DE UM SISTEMA MECANIZADO DE COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR

Os sistemas de colheita podem ser divididos basicamente em manual, semi-mecanizado e mecanizado e diferenciam-se de acordo com a participação de máquinas no processo. Dentre as máquinas disponíveis para colher mecanicamente a cana-de-açúcar, as colhedoras autopropelidas, popularmente denominadas de combinadas ou cana picada, são as mais utilizadas. Elas realizam o corte, a limpeza parcial da matéria-prima, o fracionamento dos colmos em rebolos e o carregamento da cana picada (rebolos) em veículos de carga.

Um esquema de um sistema típico de colheita mecanizada é apresentado na Figura 3. A partir de uma determinada condição de canavial (1), a colhedora (2), promove o corte, a limpeza e o fracionamento dos colmos que são carregados no transbordo que acompanha a colhedora. O transbordo, composto por um trator e carreta(s), após atingir determinada carga (3a), “transbordo cheio”, se desloca até um ponto fora do talhão, local onde é feita a transferência do material colhido para um veículo de transporte, caminhão (4a). Ao atingir a capacidade de carga do veículo de transporte, este se desloca até a unidade industrial (5), Usina, descarregando a matéria-prima para o processamento. Tanto o transbordo (3b) quanto o caminhão (4b), retornam aos respectivos pontos de carregamento e o ciclo se repete ao longo da safra.

A sinergia operacional entre os subsistemas de colheita, transbordo e transporte é fundamental para que a entrega da cana seja feita de forma constante e regular, de acordo com a demanda estabelecida pela unidade industrial. No caso

do sistema mecanizado, essa sinergia é ainda mais importante, tendo em vista a inexistência de pátio para o estoque de cana, prática esta comum no sistema semi-mecanizado. No sistema mecanizado armazenar a cana antes do processamento não é aconselhável, dada à característica da matéria-prima que chega à indústria. A deterioração da cana é mais rápida devido a maior área de exposição, cana em rebolos (picada).

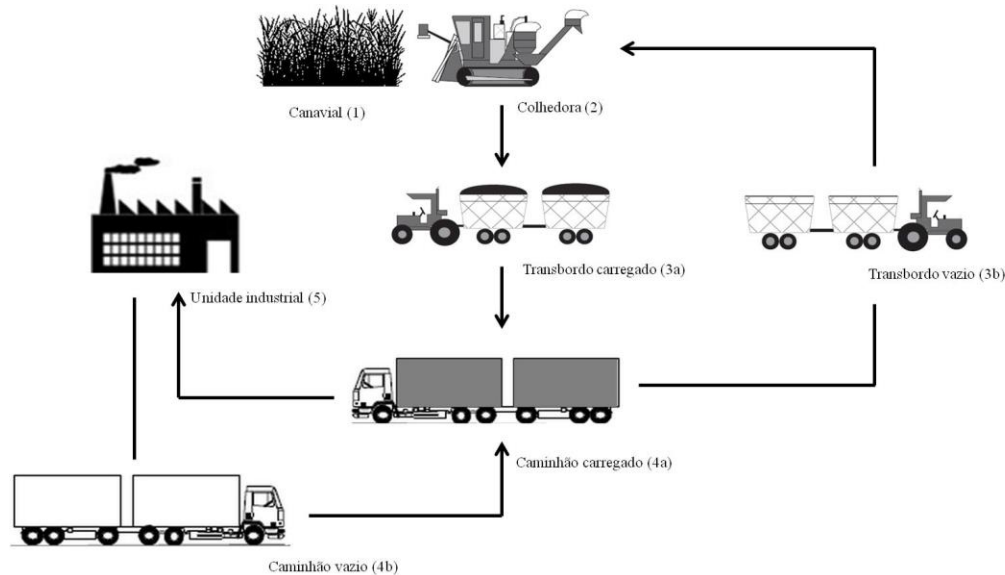


Figura 3 - Esquema de um sistema de colheita, destacando-se os subsistemas de colheita, transbordo e transporte.

3.1 MODELO APLICADO AO DIMENSIONAMENTO E GERENCIAMENTO DE UM SISTEMA DE COLHEITA MECANIZADO

O fluxograma da Figura 1 e o esquema do sistema de colheita apresentado na Figura 3 em conjunto com as relações apresentadas neste capítulo são a base para o desenvolvimento de um modelo, simplificado, para planejar a colheita mecanizada de cana-de-açúcar, abrangendo os subsistemas de colheita, transbordo e transporte. Esse modelo, desenvolvido em planilha EXCEL®, é dividido em duas partes, sendo que uma se refere à alimentação de dados, onde são definidas as premissas delimitadas de acordo com a caracterização de sistema agrícola, e outra aos resultados, no caso, operacionais e econômicos.

A estrutura de entrada de dados no modelo é apresentada no Quadro 1 e está associada às etapas de análise operacional e planejamento para a seleção.

Como se observa, as linhas de 1 a 10 (QD1_L1⁵ a QD1_L10) referem-se aos dados gerais do sistema agrícola, desde a área a ser colhida (QD1_L1) até o preço da tonelada de cana (QD1_L10). Na parte operacional (QD1_L11 a QD1_L21), a entrada de dados deve ser realizada com base nas características dos equipamentos a serem utilizados. O importante é que os dados sejam os mais reais possíveis, caso contrário, os resultados não serão representativos da situação.

Por uma questão de simplificação, a entrada de dados do conjunto trator-transbordo e do transporte, cavalo mecânico e carrocerias, foram concebidos de forma integrada. Por esse motivo, os dados relacionados com os pneumáticos (QD1_L31-L37) referem-se somente ao subsistema de transporte (caminhão e carrocerias). As velocidades, do transbordo e transporte (QD1_L12), representam a situação de um ciclo e devem ser consideradas como a média ponderada para as distâncias para os percursos do veículo vazio e carregados.

⁵ Ao longo do texto a sigla QD1_L1 significa o número do quadro, QD1_, e a linha a que se faz referência no quadro, L1.

Entrada							
Linha		Variável	Sigla	Unid	Valor		
1	Sistema Agrícola	Área	Ar	ha	32.000,00		
2		Dias de safra (Núm. dias totais - NT)	DSf	n	240		
3		Domingos e feriados	NDF	n	0		
4		Dias úteis impróprios	NDUI	n	30		
5		Jornada de trabalho	JT	h	24,00		
6		Eficiência gerencial	EG	%	60,00		
7		Espaçamento da cana	Esp	m	1,50		
8		Num. Fileiras colhidas por passada	NFCP	n	1		
9		Produtividade agrícola	PrA	t ha ⁻¹	78,00		
10		Preço da cana	PrC	R\$ t ⁻¹	65,00		
11		Variável	Sigla	Unid	Colheita	Transbordo	Transporte
12	Operacional	Velocidade de trabalho	VTr	km h ⁻¹	4,00	6,00	35,00
13		Eficiência de campo	Efc	%	60,00	70,00	70,00
14		Consumo de combustível*	CC	L h ⁻¹ / L km ⁻¹	40,00	12,00	1,04
15		Perdas na colheita	PeC	%	4,50	—	—
16		Número de unidades de carga	NUC	n	—	2	2
17		Capacidade de carga individual	CCI	t ha ⁻¹	—	12,00	35,00
18		Capacidade total de carga	CTC	t ha ⁻¹	—	24,00	70,00
19		Raio médio de descarga	RMD	km	—	0,15	30,00
20		Tempo transferência de carga	TTC	min	—	4,00	40,00
21		Arredonda. número de máquinas	ANM	dec	0,20	0,20	0,20
22	Econômico	Valor inicial	VI	R\$	900.000,00	300.000,00	570.000,00
23		Valor final	VF	%	10,00	25,00	30,00
24		Valor Final	VF	R\$	90.000,00	75.000,00	171.000,00
25		Vida útil estimada	VUAe	ano	5	10	10
26		Vida útil estimada*	VUHe	horas / km	12.000,00	12.000,00	500.000,00
27		Taxa de juros	i	%	5,00	5,00	5,00
28		Fator alojamento, seguros e taxas	FAST	%	2,00	2,00	2,00
29		Preço do combustível	PC	R\$ L ⁻¹	2,30	2,30	2,30
30		Fator de reparos e manutenção	FRM	%	100,00	90,00	90,00
31		Pneus	—	—	—	—	—
32		Número de pneus por veículo	NPV	n	—	—	34
33		Durabilidade do pneu	DPn	km	—	—	80.000,00
34		Valor unitário do pneu	Vup	R\$	—	—	1.400,00
35		Recapagens por pneu	RecP	n	—	—	2,00
36		Durabilidade da recapagem	DurR	km	—	—	70.000,00
37		Valor unitário recapagem	VURec	R\$	—	—	420,00

* A unidade “km” é relacionada ao subsistema “Transporte”

Quadro 1 - Entrada de dados do sistema agrícola, operacional e econômico, considerando os subsistemas corte, transbordo e transporte.

Os resultados obtidos pela aplicação do modelo ao cenário são ilustrados no Quadro 2. As linhas 1 e 2 referem-se, respectivamente, à quantidade de cana a ser colhida, calculada pelo produto da área e produtividade (Quadro 1L1; QD1_L9), e à quantidade de cana efetivamente colhida já descontadas as perdas de colheita (QD1_L15).

O tempo disponível estimado para a colheita (QD2_L3) é de 3.024,0 horas, o que equivale a um ritmo operacional de 10,58 hectares por hora (QD2_L5). A partir das características operacionais referentes à velocidade de trabalho da colhedora, espaçamento de plantio, número de fileiras colhidas por passada e eficiência de campo, obtém-se uma capacidade de campo operacional (QD2_L6) de 0,36 hectares por hora, que associada com o ritmo operacional (QD2_L5), resulta na necessidade de 29,39 colhedoras. Com base no critério de arredondamento, (QD1_L21) são necessárias 30 colhedoras para atender a demanda (QD2_L13).

O número de unidades de transbordo e transporte necessários para atender uma colhedora é determinado pela relação entre a capacidade de produção operacional (QD2_L7) da colhedora, produto da CCO (QD2_L6) pela produtividade agrícola (QD1_L9) descontando-se as perdas (QD1_L15), com as respectivas capacidades de produção dos subsistemas de transbordo (QD2_L7) e transporte (QD2_L7). As capacidades de produção dos subsistemas são determinadas por meio da relação entre a capacidade de carga total da unidade de transporte (QD1_L18) com o tempo de ciclo (QD2_L10). O tempo de ciclo (QD2_L10) é obtido pela somatória dos tempos de carregamento, deslocamento e descarregamento considerando-se também a eficiência (QD1_L13), visto que no ciclo ocorrem perdas na capacidade devido aos tempos auxiliares, necessários à operação.

Resultados								
Linha		Variável	Sigla	Unid	Valor			
1	Operacional	Quant. cana total	QCT	t	2.496.000,00			
2		Quant. cana colhida	QCC	t	2.383.680,00			
3		Tempo disponível	TD	h	3.024,00			
4			Variável	Sigla	Unid	Colheita	Transbordo	Transporte
5		Ritmo operacional	RO	ha h ⁻¹	10,58	—	—	
6		Cap. campo operacional	CCO	ha h ⁻¹	0,36	—	—	
7		Cap. produção operacional	CPO	t h ⁻¹	26,82	16,61	10,92	
8		Tempo de carregamento	TCar	h	—	0,89	2,11	
9		Tempo de deslocamento	TDe	h	—	0,05	1,71	
10		Tempo de ciclo	TCic	h	—	1,01	4,49	
11		Num. de colhedoras	N	n	29,39	—	—	
12		Relação trans./colhed.	RTransCol	anos	—	1,61	2,46	
13		Num. equipamentos inteiro	NEI	R\$ ano ⁻¹	30	60	90	
14		Excedente de máquinas	ExMaq	%	2,06	26,41	24,64	
15		Horas/Dist safra*	TTSf	h ou km	88.888,89	100.476,22	2.043.154,29	
16		Horas/Dist equip. safra*	TESf	h ou km	2.962,96	1.674,60	22.701,71	
17		Vida útil planejada	VUHp	anos	4,05	7,17	10,00	
18	Econômico	Depreciação anual	DPA	R\$ ano ⁻¹	200.000,00	31.398,82	39.900,00	
19		Juros anuais	JRA	R\$ ano ⁻¹	24.750,00	9.375,00	18.525,00	
20		Aloj. Seguro Taxas	ASTA	R\$ ano ⁻¹	18.000,00	6.000,00	11.400,00	
21		Custo fixo anual	CFA	R\$ ano ⁻¹	242.750,00	46.773,82	69.825,00	
22		Custo fixo unitário*	CFH	R\$ h ⁻¹ / R\$ km ⁻¹	81,93	27,93	3,08	
23		Custo combustível*	CCb	R\$ h ⁻¹ / R\$ km ⁻¹	92,00	27,60	2,21	
24		Custo Rep. Manut.*	CRM	R\$ h ⁻¹ / R\$ km ⁻¹	75,00	22,50	1,03	
25		Custo pneus*	CPn	R\$ km ⁻¹	—	—	1,00	
26		Custo pneu 1a vida*	CPnV	R\$ km ⁻¹	—	—	0,60	
27		Custo pneu recapado*	CPrec	R\$ km ⁻¹	—	—	0,40	
28		Custo variável*	CVr	R\$ h ⁻¹ / R\$ km ⁻¹	167,00	50,10	4,24	
29		Custo total*	CT	R\$ h ⁻¹ / R\$ km ⁻¹	248,93	78,03	7,32	
30				R\$ t ⁻¹	9,28	4,70	6,27	
31		Investimento	Inv	R\$ (milhões)	27,00	18,00	51,30	
32		Custo das perdas	Cper	R\$ (milhões)	7,30	—	—	

* A unidade “km” é relacionada ao subsistema “Transporte”

Quadro 2 - Resultados obtidos para o sistema de colheita com base nos dados (cenário) de entrada.

Para as condições propostas, a relação entre colhedora/unidade de transporte é de duas para o subsistema de transbordo (QD2_L12) e três para o subsistema de transporte (QD2_L12), resultando, portanto, em 60 conjuntos de trator-transbordo (QD2_L13) e 90 conjuntos cavalo-mecânico/carrocera (QD2_L13). Considerando os respectivos valores iniciais, o investimento necessário para atender a frente de CTT proposta é de aproximadamente R\$ 96 milhões (QD2_L31). O dimensionamento proposto apresenta um excedente de máquinas em torno de 25% (QD2_L14) no que diz respeito ao transbordo e transporte e de 2,06% de colhedoras (QD2_L14). Na Figura 4, o excedente em

termos de equipamentos é apresentado junto com o número de equipamentos necessários e os respectivos investimentos, estes calculados com base nos valores iniciais dos equipamentos (QD1_L22).

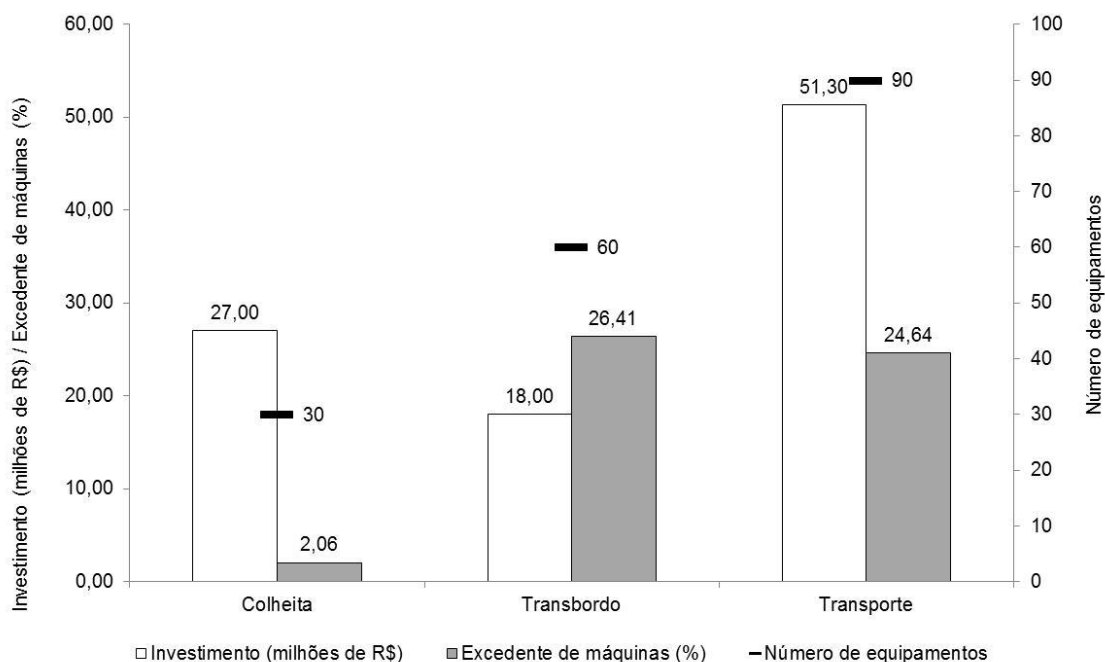


Figura 4 - Número de equipamentos (n), investimento (milhões de R\$) e excedente de máquinas (%), considerando o cenário proposto.

Neste cenário, as colhedoras e transbordos devem trabalhar ao longo da safra um total de aproximadamente 88 mil horas e 100 mil horas (QD2_L15) o que representa pouco mais de 2.900 horas e 1.675 horas (QD2_L16)⁶, respectivamente, por equipamento na safra. Tais parâmetros, quando relacionados com a vida útil estimada (QD1_L26), 12 mil horas, correspondem a uma vida útil (planejada) em anos (QD2_L17), de 4,05 para colhedoras e 7,07 para transbordos. Estes resultados mostram que ambos os tipos de máquinas terão uma vida menor em anos do que a estimada (QD1_L25) de 5,0 e 10,0 anos, o que implica em um tempo menor para a depreciação.

No caso do subsistema de transporte, os caminhões deverão percorrer aproximadamente 2 milhões de quilômetros na safra (QD2_L15) ou o equivalente a 22,7 mil quilômetros por caminhão (QD2_L16). Como a vida útil foi estimada em 500 mil quilômetros, a vida planejada para tais equipamentos será de 22 anos (QD2_L17), bem superior aos 10 anos estimados (QD1_L25). Os caminhões não irão percorrer uma quilometragem suficiente para diminuir a vida útil estimada e,

⁶ Considerando que os equipamentos são utilizados somente durante o período de colheita.

portanto, nesse caso, considera-se que os mesmos estarão obsoletos ao final de sua vida útil estimada/planejada de 10 anos (QD2_L17).

O custo total do sistema de colheita, (Figura 5), corresponde a 20,25 R\$ t⁻¹, e a colheita representa 46% deste total ou 9,28 R\$ t⁻¹. Desse valor, um terço, aproximadamente, são custos fixos e dois terços são custos variáveis. O transporte intermediário da matéria-prima, representado pelo subsistema de transbordo, responde por 23% dos custos totais, enquanto que o de transporte 31%.

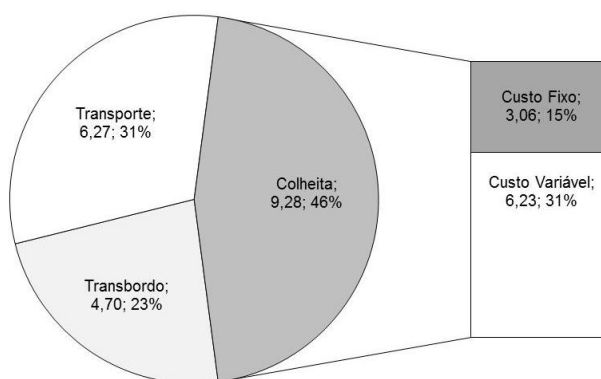


Figura 5 - Custo de colheita (R\$ t⁻¹ e %) por subsistema: colheita (fixo e variável), transbordo e transporte.

A utilização do modelo permite simular cenários como, por exemplo, a relação entre o CTT e as participações relativas dos subsistemas, de acordo com a distância do talhão à Usina (Figura 6). À medida que se aumenta o raio médio do transporte, o custo do CTT aumenta juntamente com a participação relativa. De aproximadamente 10% de participação inicial ele atinge 40% com aproximadamente 50 km de raio médio. Observa-se também que o custo do sistema de colheita aumenta linearmente e que ocorrem aumentos pontuais em determinadas distâncias, que representam uma maior necessidade no número de unidades de transporte, no caso de conjuntos de cavalo-mecânico/carroceria, por colhedora.

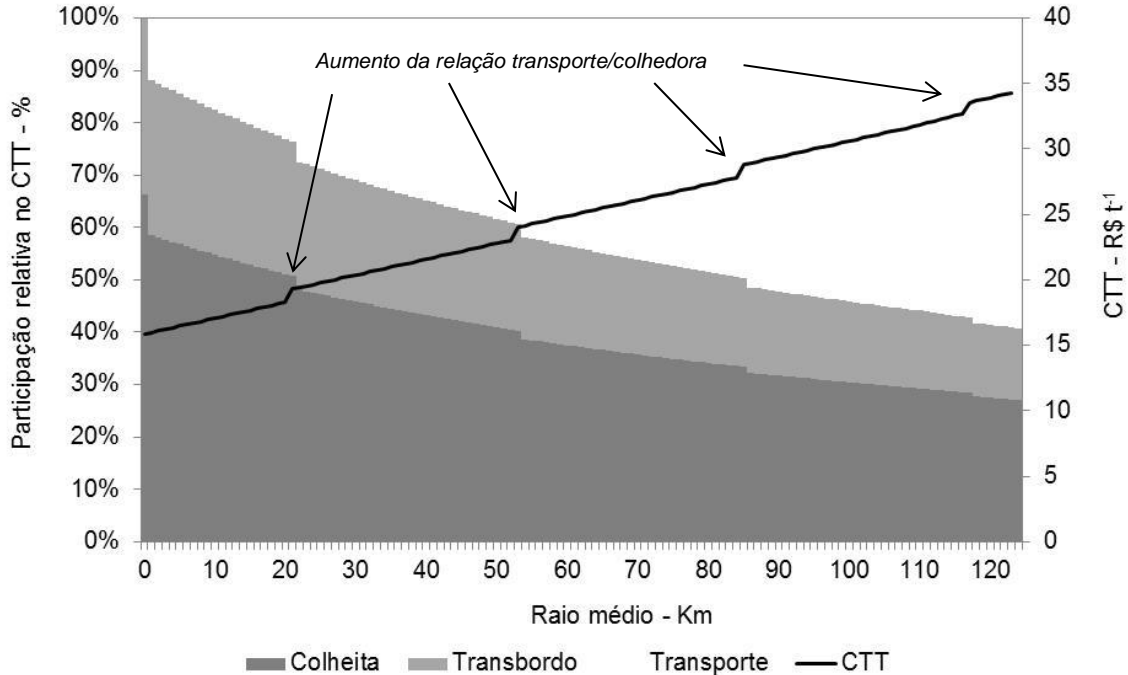


Figura 6 - Evolução do CTT ($R\$ t^{-1}$) e participação relativa (%) dos subsistemas (colheita, transbordo e transporte), mediante variações no raio médio de transporte (km).

Para o cenário proposto, a área máxima que uma colhedora pode atender é de 1.088,64 hectares, operando 2.962,96 horas. Caso haja um aumento da área (Figura 7), acima de 1.088,64 hectares, existe a necessidade de aquisição de uma segunda máquina, fazendo com que o custo de produção suba, devido ao aumento do custo fixo. A partir deste ponto, à medida que ocorra um incremento na área de colheita, o custo diminui devido, novamente, à diluição dos custos fixos até o ponto no qual se faz necessário à aquisição de uma terceira máquina e assim sucessivamente. À partir de 4500 hectares os incrementos nos custos com a aquisição de novos equipamentos não são mais tão significativos.

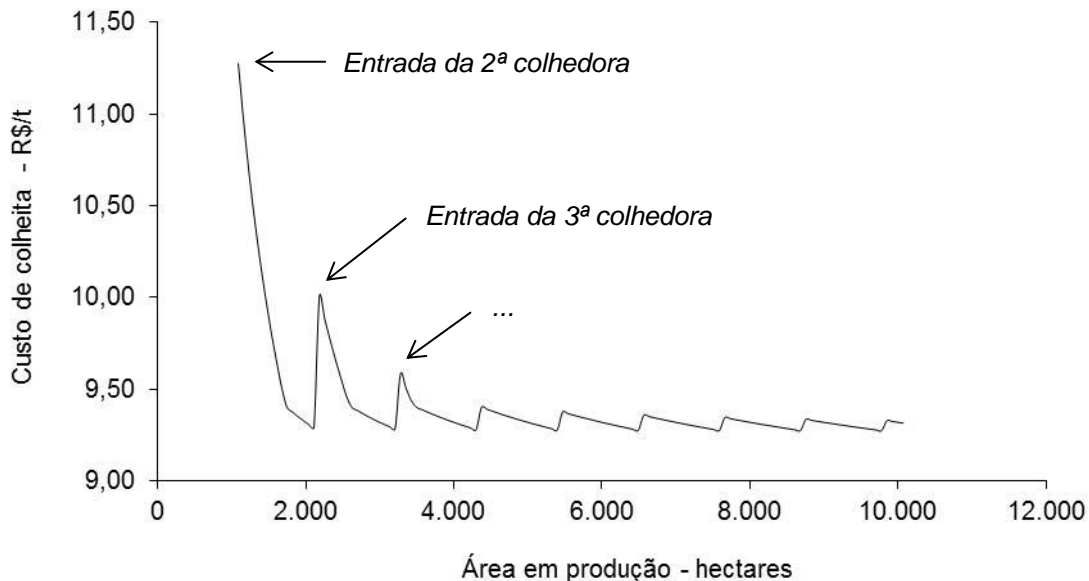


Figura 7 - Custo de colheita (R\$ t⁻¹) em função de variações na área em produção (hectares).

O uso de modelos no planejamento permite analisar um sistema com suas inter-relações e desenvolver cenários, os quais, de outra forma, seriam muito difíceis de serem obtidos. Os modelos fazem parte do planejamento dentro do ciclo PDCA⁷, a ferramenta fundamental da administração científica. O planejamento é efetuado com base no modelo (P) e durante a safra (D), se realiza o acompanhamento (C) e a promoção de eventuais ações corretivas (A), de forma a corrigir os rumos ou a introdução de aperfeiçoamentos no sistema. Dessa forma, o modelo auxilia sobremaneira na identificação dos pontos críticos, nas melhorias do sistema e na sustentabilidade de uma organização.

4. REFERÊNCIAS

ASABE. Agricultural machinery management data ASAE D497.7. In: _____. **ASABE Standards**. St. Joseph, 2011. p. 1-8.

CARREIRA, M.L. **Desempenho operacional, econômico e energético do transporte de cana de açúcar: um estudo de caso**. 2010. 80p. Dissertação (Mestrado Ciências, Área de concentração: Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

⁷ PDCA: P (Plan – Planejar); D (Do – Fazer); C (Check – Checar); A (Action – Ação corretiva)

CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de instruções**. Piracicaba, 2006. 112p.

HUNT, D. **Farm Power and Machinery Management**. Iowa State University Press, Ames, Iowa. Sixth edition, 1973

MIALHE, L.G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1974. 301 p.

MILAN, M. **Gestão sistêmica e planejamento de máquinas agrícolas**. 2004. 100 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

PAES, L.A.D. Levantamento dos níveis de impurezas nas últimas safras. In: IMPUREZAS E QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2011, Sertãozinho. **Anais...** Sertãozinho, 2011.

PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: Acompanhamento da safra 2012/2013 na região Centro-Sul**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2012. 47p. Relatório apresentado à Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Edição dos autores. Piracicaba, 2009. 333p.

ROSA, J. H. M. **Avaliação do desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em espaçamento duplo alternado**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.