**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Plantio mecanizado de cana-de-açúcar: aspectos operacionais e econômicos

Cilene de Oliveira

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Máquinas
Agrícolas

**Piracicaba
2012**

Cilene de Oliveira
Tecnólogo em Logística e Transportes

Plantio mecanizado de cana-de-açúcar: aspectos operacionais e econômicos
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **MARCOS MILAN**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Máquinas
Agrícolas

Piracicaba
2012

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Oliveira, Cilene de

Plantio mecanizado de cana-de-açúcar: aspectos operacionais e econômicos /
Cilene de Oliveira. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de
2011. - - Piracicaba, 2012.
107 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Cana-de-açúcar 2. Custo de operações 3. Máquinas agrícolas 4. Mecanização
agrícola 5. Modelagem de dados I. Título

CDD 633.61
O48p

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

*À meus pais: Maria Elisa de Oliveira e José Roberto de Oliveira;
e em memória póstuma à minha avó, Carmem Rumim de Oliveira,
Dedico.*

“Para tudo há um tempo, para cada coisa há um momento debaixo do céu: tempo de nascer e tempo de morrer; tempo de plantar e tempo de arrancar o que se plantou.” (Ecle 3, 1-2)

AGRADECIMENTOS

À DEUS.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-CAPES, pela Bolsa de estudo concedida.

À meus pais Maria Elisa de Oliveira e José Roberto de Oliveira, pelo apoio durante esta etapa da minha vida e família.

Ao Prof. Dr. Marcos Milan, pela orientação, paciência, compreensão, estímulo, confiança, altruísmo, estrutura fornecida e exemplo de profissionalismo.

À todos os professores do Departamento de Engenharia de Biosistemas, em especial ao Prof. Dr. Tomaz Caetano Cannavan Ripoli e ao Prof. Dr. José Paulo Molin.

Aos professores, Prof. Dr. Luís Antonio Daniel, Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva e Prof. Dr. Thiago Libório Romanelli, pelas sugestões apresentadas no exame de qualificação.

À Divisão de Atendimento à Comunidade, Seção de Promoção Social e Moradia Estudantil, em especial à Áurea Ozana Custódio Toledo e Solange Calabresi de Couto Souza.

Aos colaboradores do Departamento de Engenharia de Biosistemas.

Aos colaboradores da Biblioteca Central.

Aos meus amigos Thiago Pedro da Luz, Amanda Lourenção, Mariana Aparecida Adriano, Amáron Jones Nascimento da Silva, Reginaldo Keller Fernandes e Daniel Celso Daltin, pessoas especiais em minha vida.

Às amigas Sabrina Mieko Ogasawara Viana, Carla Andréia Germano, Edinéia Dotti Mooz, Larissa Leite Tossetti, Karla Villaça e Natalie Verónika Rondinel Mendoza, pelo convívio durante o Mestrado.

À todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a minha formação acadêmica e pessoal, durante o Mestrado.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	17
1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 Sistemas de plantio de cana-de-açúcar no Brasil	24
2.1.1 Principais características associadas ao sistema de plantio de cana-de-açúcar	26
2.1.1.1 Época de plantio	27
2.1.1.2 Espaçamento	28
2.1.1.3 Profundidade	29
2.1.1.4 Sulcação	29
2.1.1.5 Quantidade de mudas	29
2.1.1.6 Cobrição	30
2.1.1.7 Custos operacionais	30
2.1.1.8 Potência	30
2.1.1.9 Consumo de combustível	31
2.1.1.10 Reparos e manutenção	32
2.1.1.11 Eficiência	32
2.2 Plantio mecanizado de cana-de-açúcar	33
2.3 Plantadoras de cana-de-açúcar	34
2.3.1 Ensaio de plantadoras de cana-de-açúcar	40
2.4 Construção de modelos de simulação	40
2.4.1 Modelos de simulação aplicados em sistemas agrícolas	42
2.4.2 Modelos de simulação aplicados no sistema de produção agrícola da cana-de-açúcar ..	52
3 MATERIAL E MÉTODOS	57
3.1 Caracterização do sistema de plantio	57
3.2 Desempenho operacional	58
3.2.1 Número de plantadoras	58
3.2.2 Ritmo operacional	58

3.2.3 Capacidade de campo operacional da plantadora	59
3.2.4 Consumo de mudas no plantio	61
3.2.5 Capacidade de produção operacional da plantadora	61
3.2.6 Número de transbordos.....	61
3.3 Desempenho econômico.....	62
3.3.1 Custo operacional do conjunto de plantio	62
3.3.2 Custo horário do conjunto de plantio	63
3.3.2.1 Custo horário do trator.....	63
3.3.2.2 Custo horário da plantadora.....	65
3.3.3 Custo do transbordo.....	66
3.3.4 Custo horário do transbordo	66
3.3.4.1 Custo horário do trator.....	66
3.3.4.2 Custo horário da carreta.....	67
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1 Desenvolvimento do modelo	69
4.1.1 Verificação do modelo	71
4.1.2 Validação do modelo	71
4.2 Cenário- Base (CB)	74
4.3 Análise de sensibilidade	76
4.4 Cenários	77
4.4.1 Plantio.....	77
4.4.1.1 Época de plantio	80
4.4.1.2 Eficiência operacional	81
4.4.1.3 Espaçamento	83
4.4.1.4 Velocidade média operacional	84
4.4.1.5 Consumo de mudas.....	86
4.4.2 Transbordo	87
4.4.3 Custos da operação	88
5 CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS.....	93
ANEXOS	103

RESUMO

Plantio mecanizado de cana-de-açúcar: aspectos operacionais e econômicos

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar no mundo, e a cultura possui grande importância para o agronegócio nacional. A área plantada é de aproximadamente 8,4 milhões de hectares e a recente demanda por etanol tem contribuído por novas áreas de expansão, além da particularidade do canavial ser renovado periodicamente. O plantio é uma das primeiras operações no sistema de produção agrícola e afeta as operações subsequentes, bem como a produtividade da cultura. Embora o sistema de produção agrícola da cana-de-açúcar seja altamente mecanizado, a operação de plantio foi praticamente a última em ter a opção da mecanização total. No Brasil o plantio é predominantemente semi-mecanizado, mas recentemente tem ocorrido a mudança para o mecanizado. Entretanto, a operação é influenciada por diversas variáveis, tais como as características técnicas e econômicas das máquinas utilizadas na operação, as particularidades de cada propriedade agrícola como o tamanho da área, a jornada de trabalho, o espaçamento, a velocidade operacional, a distância do talhão de plantio, dentre outros, que afetam o desempenho econômico e o dimensionamento do número de conjuntos necessários na operação, tanto para o transporte de mudas quanto para o plantio. Dessa forma, o objetivo geral desse trabalho foi avaliar o desempenho operacional e econômico do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, e o objetivo específico analisar o comportamento das variáveis e as suas relações e inter-relações no custo operacional do sistema. Para análise do comportamento dessas variáveis, e seus respectivos efeitos nos custos, foi criado um modelo, em planilha eletrônica, Excel®, que se baseou no ciclo operacional entre o transporte de mudas e o plantio no talhão, limitando-se assim o grau de abrangência do estudo. O modelo foi verificado, validado, e utilizado na análise das variáveis por meio da construção de cenários. Conclui-se, que o modelo permitiu avaliar o desempenho operacional e econômico do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar. Com base nos resultados, a capacidade de carga da plantadora é a variável de maior impacto no custo operacional do plantio e existe uma área máxima que uma plantadora pode atender conforme o ritmo operacional, em que a área depende das características do sistema proposto.

Palavras-chave: Mecanização agrícola; Modelo; Máquinas agrícolas; Custo operacional

ABSTRACT

Mechanized planting of sugarcane: operational and economic aspects

Brazil is the largest producer of sugarcane in the world, the crop has great importance for the country's agribusiness. The planted area is approximately 8.4 million hectares, and the recent demand for ethanol has contributed to an expansion into new areas, in addition to the sugarcane crop being renewed periodically. Planting is one of the first operations in any agricultural production system and thus affects subsequent operations, as well as the yield. Although the agricultural system of sugarcane production is highly mechanized, the planting operation was virtually the last to have the option of total mechanization. In Brazil the planting is predominantly semi-mechanized, but recently there has been a shift to a fully mechanized planting. However, the operation is influenced by several variables, such as technical and economic characteristics of the machines used in the operation, the particularities of each agricultural property such as the size of the area, the work day, the spacing, the operation speed, the distance of plot planting, among others, that affect economic performance such as scale and the number of sets required in the operation, both for the transport of seedlings and the planting. This way, the general objective of this study was to evaluate the operational performance and economic system of mechanized planting of sugar cane, and the specific objective analyze the behavior of the variables and their relations and inter-relations in operational cost of the system. For analysis of the behavior of these variables, and their respective effects on costs, was created a model in an electronic spreadsheet, Excel®, which was based on operational cycle time between the transport of seedling and planting the grove, limiting the degree of coverage of the study. The model was verified, validated, and used in the analysis of variables through scenario building. The model allowed to evaluate the operational and economic performance of the system of mechanized planting of sugarcane. Based on the results, the load capacity of the planter is the variable of greatest impact on the operational cost of planting and there is a maximum area that a planter can attend, as the operational rate, in that area depend on the characteristics of the proposed system.

Keywords: Agricultural mechanization; Model; Agricultural machinery; Operational cost

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Principais regiões produtoras de cana-de-açúcar no Brasil.....	21
Figura 2 -	Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no Brasil, áreas aptas ao cultivo.....	23
Figura 3 -	Ciclo operacional do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar abrangendo o transporte de mudas e o plantio. PAB- Ponto de abastecimento de mudas de cana-de-açúcar.....	57
Figura 4 -	Fluxograma do modelo	70
Figura 5 -	Consumo de combustível do conjunto de plantio de cana-de-açúcar: CB- Cenário- Base; A -Ripoli et al. (2007); B- Ripoli et al. (2007); C- Ripoli et al. (2007).....	72
Figura 6 -	Custo operacional (Cop) do conjunto de plantio no sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar (R\$ ha ⁻¹): CB-Cenário-Base; A -Ripoli et al. (2007); B-Ripoli et al. (2007);C- Ripoli et al.(2007); D-Garcia (2008).....	73
Figura 7 -	Distribuição dos custos (%) para o Cenário-Base (CB): 7a – Conjunto de plantio e transbordo; 7b-Conjunto de plantio; 7c-Transbordo; DPA-(Depreciação anual); JRA-(Juro anual); ASTA-(Alojamento seguro e taxa anual); CRM-(Custo com reparo e manutenção anual); CCB-(Custo com combustível anual).....	75
Figura 8 -	Análise de sensibilidade para o conjunto de plantio, sendo A-eficiência operacional; B- velocidade operacional; C-capacidade de carga; D-juro anual; E-valor final ; F- vida útil horas; G-consumo de combustível.....	76
Figura 9 -	Custo operacional (Cop) da plantadora conforme o tamanho da área plantada.	77
Figura 10 -	Custo fixo anual (Cfa) e Custo variável (Cv) de um conjunto de plantio em função do número de horas trabalhadas.....	78
Figura 11 -	Custo fixo horário (Cfh) e Custo variável (Cv) do conjunto de plantio em função do número de horas trabalhadas.....	79
Figura 12 -	Custo operacional (Cop) do conjunto de plantio e da plantadora em função dos números de horas trabalhadas.....	80
Figura 13 -	Custo operacional (Cop) da plantadora conforme época de plantio de <i>cana de ano</i> em comparação ao plantio de <i>cana de ano e meio</i> (CB).....	81
Figura 14 -	Custo operacional (Cop) do conjunto de plantio em relação a eficiência	

	operacional no sistema.....	82
Figura 15 -	Custo operacional (Cop) da plantadora conforme a eficiência operacional no Cenário-Base (70%) e o Ideal (100%).....	83
Figura 16 -	Custo operacional (Cop) do conjunto de plantio em função dos diferentes tipos de espaçamento para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar.....	84
Figura 17 -	Custo operacional (Cop) do conjunto de plantio em função da velocidade operacional utilizada no plantio.....	85
Figura 18 -	Número de conjuntos (Ncp) de plantio em função da velocidade operacional utilizada no plantio.....	86
Figura 19 -	Consumo de mudas em relação ao tipo de espaçamento utilizado no plantio.....	87
Figura 20 -	Custo do transporte (Ctr) e capacidade operacional de transporte (Ctrr) em função da distância de ciclo do transbordo.....	88
Figura 21 -	Custo do transporte (Ctr) e capacidade operacional de transporte (Ctrr) em função da velocidade operacional do ciclo do transbordo.....	88
Figura 22 -	Custos do Cenário-Base (CB) referente aos sistemas mecanizados utilizados em função da área plantada.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Custo com reparos e manutenção, conforme faixa de potência do trator....	65
Tabela 2 -	Principais resultados do Cenário-Base.....	74
Tabela 3 -	Dados de entrada no Cenário-Base, utilizado no modelo.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP- Agência Nacional do Petróleo
ASAE-*American Society of Agricultural Engineering*
ASABE-*American Society of Agricultural and Biological Engineers*
BNDES- Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
COAGRO- Cooperativa Agroindustrial do Estado do Rio de Janeiro
CONAB- Companhia Nacional de Abastecimento
CTC- Centro de Tecnologia Canavieira
FORTRAN- *Formula Translation System*
GASP- *General Activity Simulation Program*
GPSS- *General Purpose Simulation System*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMECC- Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica
MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NIPE- Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético
PHP- *Hypertext Preprocessor*
PRAPAG- Software para Planejamento Racional de Máquinas
PROLOG- *Programmation em Logique*
SIMSCRIPT- *Modeling and Simulation Tools*
SIMIO- *Simulation Modeling Framework based on Intelligent Objects*
SIMLIB- *Simulation Libray*
SISTEC- Simulador do Sistema de Transporte de Cana

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes para o agronegócio nacional e o Brasil é o maior produtor mundial. Em termos de produção estima-se que, para a safra 2011/12, a previsão total de cana processada será de 572 milhões de toneladas, em uma área estimada de 8,4 milhões de hectares (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2011).

A cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene e por isso demanda ser renovada periodicamente, devido principalmente a queda na produtividade. Para o ano de 2011/12 estima-se que para a renovação dos canaviais seja de 575 mil ha na região Sudeste, 88 mil ha para a região Centro-Oeste e 90 mil ha na região Sul do país. O total da área de expansão em todo o país deve ficar em 697.770 ha (CONAB, 2011).

A produção da cana-de-açúcar sofreu na safra 2011/2012, as consequências das adversidades climáticas e financeiras e, com isso, o mercado econômico sofre com a instabilidade entre a oferta e demanda dos produtos oriundos da cana-de-açúcar. Para sanar esse problema o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social- BNDES, criou um programa de financiamento (Prorenova), exclusivamente para aumentar a produção de cana-de-açúcar no país, visando à renovação e implantação de novos canaviais.

Em decorrência da demanda constante por etanol, que ocasiona o aumento de novas áreas de expansão, e a necessidade de renovação do canavial, a operação de plantio está em foco por melhorias e mudanças. A operação de plantio é uma das operações no sistema de produção agrícola, sendo determinante para o sucesso ou fracasso do investimento, pois seu manejo irá refletir nas operações subsequentes da cadeia produtiva, em termos de produtividade, qualidade e custo.

O sistema de plantio da cana-de-açúcar no Brasil é predominantemente semi-mecanizado, ou seja, utiliza processo manual e mecânico em suas etapas. Entretanto, recentemente, apresenta como opção a mecanização total, em que a máquina executa simultaneamente todas as operações (abertura dos sulcos, aplicação de fertilizantes, distribuição das mudas, aplicação de defensivos e fechamento dos sulcos). Diversos fatores permitiram a oferta do plantio mecanizado no Brasil, sendo possível destacar os principais: falta de oferta de mão-de-obra no setor sucroalcooleiro; a mecanização da operação da colheita; a busca constante pela redução de custos operacionais; a evolução tecnológica de máquinas específicas para a operação, dentre outros.

Salienta-se que a operação agrícola é influenciada por diversas variáveis, que afetam o desempenho do sistema e o dimensionamento do número de conjuntos necessários na

operação, como: o tamanho da área; a jornada de trabalho; a eficiência operacional; a distância do talhão de plantio; a velocidade da operação; o preço do combustível; os tipos de mudas da cana-de-açúcar utilizada.

Umas das principais variáveis que compõem o sistema são formadas pelas máquinas envolvidas na operação, tanto para o plantio quanto para o transporte de mudas. Atualmente, existe uma grande oferta de máquinas e equipamentos agrícolas, que o mercado nacional apresenta aos produtores, com diversos modelos, diferentes capacidades, custos de aquisição, para cada tipo de mudas utilizadas, cana inteira, rebolo e micro-rebolo, dentre outros.

Somente uma análise holística do sistema de plantio mecanizado pode verificar como o comportamento dessas variáveis e suas inter-relações influenciam diretamente os custos finais da operação. Conhecido tais comportamentos é possível estabelecer estratégias gerenciais que possam garantir maior eficiência na operação e redução dos custos. Nesse contexto, o objetivo geral desse trabalho é avaliar o desempenho operacional e econômico do sistema de plantio mecanizado da cana-de-açúcar e o objetivo específico é verificar o comportamento das variáveis e suas relações e as inter-relações no custo operacional desse sistema.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo e também o primeiro no mundo na produção de açúcar e o etanol proveniente da cultura da cana, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA (2011).

A cana-de-açúcar é uma planta tropical semi-perene e a zona intertropical do planeta oferece condições de temperatura e umidade adequadas para o seu desenvolvimento na fase vegetativa (SOARES, 2000). No Brasil existem duas macro-regiões produtoras de cana-de-açúcar: a Centro-Sul que abrange os Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e a Norte-Nordeste, que abrange os Estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão, Pará, Amazonas, Acre e Territórios (MIALHE, 2012). A figura 1 apresenta as principais regiões produtoras de cana-de-açúcar no Brasil.

Figura 1 - Principais regiões produtoras de cana-de-açúcar no Brasil

Fonte: Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético-NIPE (Unicamp), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE e Centro de Tecnologia Canavieira (2010).

Estima-se que exista cerca de 420 unidades agroindustriais no Brasil, distribuídas em produtoras de açúcar, etanol e unidades mistas (BRASIL, 2011).

Com uma área cultivada total estimada em 8,4 milhões de hectares, o estado de São Paulo apresenta 52,2% (4.370 mil ha) desse total, seguido de Minas Gerais com 8,87% (742,65 mil ha), Goiás com 8,1% (678,42 mil ha), Mato Grosso do Sul 5,70% (480, 86 mil

ha), Alagoas 5,45 % (463, 65 mil ha) e Pernambuco 3,89% (326, 11 mil ha). Em termos de expansão da área plantada com cana-de-açúcar, o maior percentual está concentrado na região Sudeste, responsável por 38,04%. O estado de São Paulo foi o estado que teve maior aumento, acrescentando 265.44 ha a área existente. Em Minas Gerais o aumento foi de 117.54 ha. No Centro-Oeste também foi significativo o aumento de plantio, Goiás com 110. 763 ha, Mato Grosso do Sul 73.498 ha e Mato Grosso 15.704 ha. O total da área de expansão em todo o país deve ficar em 697.770 ha. Quanto à renovação prevista para a safra de 2011/12 será inferior a previsão inicial das unidades produtoras, devido às adversidades climáticas e dificuldades financeiras. As estimativas para a região Sudeste são de 575.000 ha, região Centro-Oeste 88.000 ha e região Sul 89.000 ha (CONAB, 2011).

Com o advento do zoneamento agroecológico no setor sucroalcooleiro no Brasil, foi possível quantificar a possibilidade de expansão em termos de área , assim como o zoneamento agroambiental do estado de São Paulo , maior estado produtor da cultura da cana.

De acordo com o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (2009) o objetivo geral do zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar para a produção de etanol e açúcar foi fornecer subsídios técnicos para formulação de políticas públicas visando a expansão e produção sustentável de cana-de-açúcar no país. A área de estudo compreendeu todo território nacional, com exceção as áreas que abrangem o Bioma Amazônia, Pantanal e Bacia do Alto Paraguai. As estimativas do estudo demonstraram que o país dispõe de cerca de 64,7 milhões ha de áreas aptas a expansão do cultivo com cana-de-açúcar, destes 19,3 milhões de ha foram considerados com alto potencial produtivo, 41,2 milhões ha como médio e 4,3 milhões de baixo potencial para o cultivo. Esses resultados revelaram que o país não precisa incorporar áreas novas e com cobertura nativa ao processo produtivo, podendo expandir a área de cultivo sem afetar as terras utilizadas para a produção de alimentos (Figura 2).

Figura 2- Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no Brasil, áreas aptas ao cultivo
Fonte: MAPA (2009).

Para a safra de 2011/12 a previsão total de cana moída será de 571, 471 milhões de toneladas, com queda de 8,4% em relação à safra de 2010/11 que foi de 623, 905 milhões de toneladas. A produtividade média brasileira está estimada em 68,3 kg ha⁻¹ para a safra 2011/12, também menor comparada à safra de 2010/11 que foi de 77, 4 kg ha⁻¹ (CONAB, 2011).

Estima-se que a produção de açúcar para a safra 2011/12 será de 36,9 milhões de toneladas e de etanol em 22.857,6 bilhões de litros, 17,2% menor que a produção da safra de 2010/11 (CONAB, 2011).

O consumo nacional e internacional de etanol vem aumentando a cada ano. Os programas para produção e uso de biocombustíveis no mundo é um exemplo da corrida dos diversos países no mundo para a inserção do uso de biocombustível em suas respectivas matrizes energéticas. Diversos países têm metas e projetos para o consumo de etanol. Nos

Estados Unidos a mistura de etanol é diferente em cada estado, Minnesota apresenta maior nível de mistura 10% de etanol na gasolina. O Canadá também apresenta 10% de mistura de etanol na gasolina. A União Européia deverá ter 20% de fontes de energia renováveis em sua matriz em 2020. A China apresenta mistura de 10% de etanol em 6 regiões e pretende difundir para o restante do país (MAPA, 2011).

O aumento de áreas para o plantio de cana-de-açúcar e renovação dos canaviais é um fator determinante para atender a demanda do consumo de etanol. Com esse intuito o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, criou o Prorenova, um financiamento para aumentar a produção de cana-de-açúcar no país, para a renovação e implantação de novos canaviais. Principalmente pelo fato de que fatores climáticos podem interferir na produção da cana-de-açúcar, o que ocorreu na safra de 2011/2012. Com um orçamento de R\$ 4 bilhões, em que o valor máximo para apoio na forma indireta automática é de R\$ 20 milhões por cliente, limitando-se para R\$ 50 milhões por grupo econômico. Esse financiamento cria uma condição fundamental para aumentar a produtividade da lavoura da cana-de-açúcar no Brasil e diminuir as incertezas de produção para abastecimento do setor industrial, e as instabilidades para a produção de etanol e açúcar.

2.1 Sistemas de plantio de cana-de-açúcar no Brasil

Coleti e Stupiello (2006) afirmam que a operação de plantio de cana-de-açúcar é essencial para o sucesso do ciclo da cultura, sendo que as decisões gerenciais nesta etapa terão consequências em todo o ciclo da cultura.

Existem diversas etapas relacionadas com o planejamento de plantio, desde o dimensionamento de recursos humanos e de máquinas, até a logística a ser empregada, é uma grande responsabilidade que deve ser realizada com critérios, pois representa o sucesso de todo um investimento, em que o resultado esperado é a lucratividade da empresa (NUNES JR., 2008).

Alguns fatores contribuíram para o aumento da mecanização no sistema de produção agrícola da cana-de-açúcar, como a proibição da queima nos canaviais, principalmente a antecipação dessa proibição no estado de São Paulo, e o efetivo cumprimento das normas regulamentadoras do mercado de trabalho agrícola no Brasil, como exemplo, a Norma Regulamentadora NR 31, que também alterou o perfil da mão-de-obra no setor (MORAES, 2007).

Somente a partir dos anos 90, com a crise no setor sucroalcooleiro, a mecanização ressurge como forma de redução de custos, a introdução da colheita mecanizada ganha

espaço, assim como a facilidade de importação de máquinas devido a economia no momento, trazendo oportunidade para o plantio mecanizado, em que no século XXI surge a oferta de equipamentos nacionais e adaptados para plantio mecanizado (COLETI ; STUPIELO, 2006).

Segundo Ripoli et al. (2007), no Brasil existem três tipos de sistemas de plantio da cana-de-açúcar: o plantio manual, o semi-mecanizado e o mecanizado.

Mialhe (2012) define o sistema de plantio de cana-de-açúcar sob duas perspectivas: em função do tipo de cana-semente utilizada e em função da deposição da cana-semente no sulco de plantio. Em relação ao tipo de cana-semente, o autor esclarece que existe o sistema de plantio com colmo integral, rebolos de 3-4 gemas, rebolos de 1 gema e de gema individualizada. E quanto a deposição das mudas de cana no sulco, o autor esclarece que existe o sistema de plantio manual, semi-mecanizado e mecanizado, sendo que o mecanizado pode ser semi-automático ou inteiramente automatizado.

Em poucas regiões do Brasil, com grande declividade, onde não há possibilidade de se utilizar máquinas, emprega-se o sistema de plantio manual, composto somente de etapas manuais e com tração animal (RIPOLI et al., 2007). O sistema de plantio manual foi o mais utilizado na lavoura canavieira até meados do século XX em que era utilizada em áreas declivosas da região Norte-Nordeste, com a denominação de plantio em *rego corrido* e *plantio de estouro*. Nesse sistema a capacidade de trabalho de um homem é de 0,067 ha/h , com um tempo total de 45 horas de jornada por hectare plantado e a distribuição manual dos rebolos e do fertilizante no sulco é utilizado 1,2 homem-dia/ha (MIALHE, 2012).

Brieger e Paranhos (1964) esclarecem que no sistema de plantio semi-mecanizado, as mudas quando são levadas ao campo, por carreta ou caminhão, entrarão no talhão no sentido das fileiras, onde a operação de sulcação é realizada por sulcadores, sendo seguido por 2 a 6 homens que vão retirando as canas da carroceria e as distribuindo nas fileiras de sulcos, cruzando a base da cana com a ponta seguinte. Essa maneira é feita devido as gemas das bases serem velhas e as gemas das pontas serem jovens, com isso, existe maior uniformidade na brotação. Em seguida à distribuição, outra equipe de operários, percorrem os sulcos, e com facões desinfetados, cortam os rebolos de aproximadamente 3 gemas. Após esta operação denominada de “picamento”, as mudas serão cobertas com aproximadamente 8 cm de terra, pois dependerá o tipo e o preparo de solo e as condições climáticas da época. A cobertura deve ser feita em seguida ao plantio, devido ao ressecamento do sulco, sendo que a cobertura pode ser procedida utilizando-se *planet* com enxadinhas próprias que amontoam a terra, cultivadores de discos, ou tratores leves equipados com implemento para cobrir 2 sulcos, simultaneamente , caminhando as rodas do trator por dentro dos sulcos.

Ripoli et al. (2007) informam que o plantio convencional ou semi-mecanizado é erroneamente denominado de manual. Os autores resumem que nesse sistema envolvem operações manuais e mecanizadas em suas etapas que são: sulcação mecanizada (com duas ou mais hastes), onde é aplicado simultaneamente defensivo e fertilizante; distribuição das mudas manualmente; fracionamento e alinhamento das mudas dentro do sulco manualmente; cobertura (fechamento) dos sulcos, mecanicamente.

Mialhe (2012) apresenta que no sistema semi-mecanizado normalmente utiliza-se cerca de 25 a 30 pessoas por frente, consumindo-se de 10 a 15 homens/dia para plantio de 1 ha. Utilizam-se trator pesado tracionando sulcador-adubadora, operando no terreno em que houve o preparo do solo de pré-plantio, caminhão de transporte de mudas, com 6 pessoas sobre a carga, operando numa faixa de terreno sem sulcar denominada de banquetas, distribuindo as mudas em 5 sulcos adjacentes de cada lado do percurso e nos 2 sulcos restantes, e trator médio (37- 45 kW) equipado com implemento cobridor de sulco e pulverizador .

No sistema de plantio mecanizado a operação é realizada pela plantadora, que executa todas as operações, sulcação, aplicação de fertilizantes, distribuição das mudas, aplicação de defensivos e cobertura dos sulcos (RIPOLI et al., 2007).

Mialhe (2012) ao definir o sistema de plantio mecanizado em função da deposição das mudas nos sulcos, divide o sistema de plantio conforme o tipo de plantadoras: semi-automática e automática. A plantadora semi-automática é uma máquina que exige a mão-de-obra para o manuseio dos órgãos de propagação vegetativa (colmos ou rebolos), e a plantadora automática é uma máquina que executa todas as operações (abertura do sulco, deposição do adubo, distribuição das mudas, fechamento do sulco e pulverização com fungicida/inseticida) em uma só passada, sendo a mão-de-obra utilizada apenas como operador do trator e da máquina (MIALHE, 2012).

2.1.1 Principais características associadas ao sistema de plantio de cana-de-açúcar

Diversos fatores afetam qualitativamente e quantitativamente a operação de plantio mecanizado. Janini (2007) apresenta algumas variáveis agronômicas que afetam diretamente a qualidade e seu rendimento produtivo. O autor refere-se a fatores endógenos (tamanhos dos colmos, idade das gemas, reserva energética, posição das gemas, repouso dos colmos, e variedades) e fatores exógenos (densidade do solo, umidade do solo, densidade de plantio, profundidade de plantio, danos mecânicos e cobrimento).

Mialhe (2012) cita os principais aspectos tecnológicos associados ao plantio de cana-de-açúcar, sendo a escolha de variedades, o preparo do solo, o espaçamento de plantio, a forma e dimensões do sulco de plantio e os sistemas de plantio.

2.1.1.1 Época de plantio

A época de plantio em diferentes regiões produtoras de cana no Brasil sofre variações devido às condições mesológicas. Entretanto, deve-se estabelecer épocas de plantio que permitam obter os melhores rendimentos agrícolas e industriais, em decorrência da colheita. Também deve-se compreender que o calor e umidade são principais fatores que garantem a germinação e desenvolvimento da cultura. Estas condições ocorrem no estado de São Paulo entre janeiro a março, todavia, na região nordeste, os estados de Pernambuco e estados adjacentes, a cana é plantada entre junho a setembro (época das chuvas), enquanto em Alagoas a cana é plantada em setembro a dezembro (BRIEGER; PARANHOS, 1978).

Existem duas principais épocas de plantio de cana-de-açúcar conforme sua maturação: o plantio de “18 meses” ou de (*cana de ano e meio*), realizado entre os meses de janeiro a maio, e o plantio de “12 meses” ou de (*cana de ano*), que ocorrem entre os meses de setembro a outubro (COLETI; STUPIELO, 2006).

Para Bassinello, Stolf e Limo Filho (1982) na região do estado de São Paulo é recomendado o plantio de *cana de ano e meio*, devido às condições de clima (calor e umidade). Porém, em situações específicas também planta-se a *cana de ano*, estes mesmos autores revelam as vantagens e as desvantagens em seu plantio. As vantagens da *cana de ano* seriam: rápido retorno do investimento; maior utilização da terra; aproveitamento do adubo da cultura anterior; maior número de cortes, e as desvantagens: exige rápido preparo de solo; a época de plantio coincide com o período de safra; apresenta menor rendimento agrícola em cana planta; exige solos férteis; exige variedades que florescem pouco e que tenham crescimento e amadurecimento rápidos; ocorre maior competição da cultura com as ervas daninhas; não favorece a colheita no início da safra, etc.

Com esse intuito, Silva, Landell e Campana (2001) estudaram o comportamento de doze genótipos de cana-de-açúcar no sistema de produção de *cana de ano*, a fim de subsidiar a escolha adequada por melhores opções, visto o plantio de *cana de ano* ter um período de crescimento vegetativo menor, as produções no primeiro corte também são reduzidas. Dentro das condições de estudo, os autores encontraram variedades indicadas para o plantio no ciclo *cana de ano* e a variedade que apresentou melhores condições de desenvolvimento durante o estresse hídrico ocorrido nesse ciclo. Outra pesquisa anterior revela a preocupação de se

encontrar variedades adequadas para o plantio de *cana de ano*, principalmente pela necessidade de fornecer matéria-prima para a indústria, em curto prazo, obrigando a muitos produtores a plantar em setembro-outubro, como mostra, Bovi, Cione e Camargo (1983), ao estudarem o comportamento de variedades de cana-de-açúcar cultivadas no estado de São Paulo, em relação ao plantio efetuado no período de setembro-outubro, na região de Piracicaba.

2.1.1.2 Espaçamento

O espaçamento do plantio é uma das variáveis mais pesquisadas nos sistemas de plantio da cana-de-açúcar, pois essa variável tem forte relação com os sistemas mecanizados que estarão trafegando nos talhões durante todo o processo de produção da cana-de-açúcar. Normalmente os plantios podem apresentar vários tipos de espaçamento, conforme relatam Coleti e Stupielo (2006), com bitolas das entrelinhas variando de 1 a 1,6 m, além do espaçamento combinado, que combinam linhas duplas distanciadas de 0,4 a 0,5 m entre si e 1,4 m entre as duplas, para favorecer a colheita mecanizada.

Ripoli et al. (2007) caracterizam o espaçamento de plantio como a distância entre sulcos ou fileiras de plantio, adjacentes, e afirmam que no Brasil são utilizados três tipos, o uniforme onde a distância entre sulcos são constantes no talhão, o alternado, em que a distância entre os sulcos é variável entre dois valores e o combinado, quando a distância entre sulcos, possui uma combinação entre faixas, com espaçamento uniforme e alternado.

Benedini e Conde (2008) afirmam que embora as reduções das distâncias entre os sulcos resultem em ganhos de produtividade, o espaçamento ideal entre os sulcos no plantio da cana-de-açúcar dependerá do sistema de colheita a ser empregado. Na colheita mecanizada existe um intenso tráfego de colhedoras, tratores transbordos ou caminhões transbordos, onde o aumento de produtividade decorrente do menor espaçamento gera, em contrapartida, maior compactação do solo e pisoteio das soqueiras.

Campos, Milan e Siqueira (2008) ao analisar as variáveis críticas no processo de produção da cana-de-açúcar constataram que os espaçamentos irregulares entre os sulcos ofereceram maior criticidade, independentemente de qual sistema de plantio utilizado. O problema de espaçamento irregular entre os sulcos durante a operação de sulcação gera consequências negativas para todas as operações subsequentes.

Mialhe (2012) explica que as maiores produtividades são obtidas com espaçamentos de 0,60 a 1,0 m, em quase todas as regiões canavieiras do mundo. Entretanto, no Brasil tem se recomendado espaçamento de 1,30 a 1,50 m para áreas mecanizáveis. Ainda segundo este

mesmo autor na região Centro-Sul, desde a década de 80, o espaçamento padrão nas Usinas é de 1,40 m, escolha essa que ocasiona o pisoteio das soqueiras de cana-de-açúcar.

2.1.1.3 Profundidade

A profundidade também interfere na qualidade do plantio da cana-de-açúcar, e Coleti e Stupielo (2006) afirmam que a profundidade de plantio deve situar-se entre 25 a 30 cm. Sulcos com profundidade superior a 30 cm oferecem risco de assoreamento em determinados situações.

2.1.1.4 Sulcação

Mialhe (2012) esclarece que a conformação do sulco de cana-de-açúcar depende de dois fatores: a disponibilidade de diferentes tipos de sulcadores e o tipo de sistema de plantio. Distinguem-se três tipos básicos de sulcos: sulco convencional em “V”; sulco trapezoidal ou base larga e sulco erguido.

Lopes, Milan e Coelho (1995) estudaram a determinação de padrões de qualidade em operações agrícolas mecanizadas da cana-de-açúcar, sendo uma das operações a sulcação (plantio). Na operação de sulcação foram escolhidos determinados parâmetros para avaliação da qualidade: profundidade do sulco (cm); largura da parte superior (boca) do sulco (cm); largura da base do sulco (cm); espaçamento entre sulcos (cm) e quantidade de terra mobilizada pela ponta do sulcador (cm). A média da profundidade do sulco encontrada na pesquisa supracitada foi de 35,6 cm, valor este acima do padrão recomendado de 30 cm.

2.1.1.5 Quantidade de mudas

A quantidade de gemas por metro de sulco nos espaçamentos depende da variedade e da qualidade da muda, pois a muda está sujeita a danos mecânicos desde o corte no viveiro até a cobertura do sulco (COLETI, 1987)

Barbieri (1981) citado por Coleti e Stupielo (2006) confirmam que a quantidade de mudas no sistema de plantio de cana-de-açúcar ideal é entre 10 a 12 gemas/m viáveis.

Nogueira e Alonso (2007) afirmam que a lavoura canavieira é provavelmente a que mais utiliza mudas para plantio por unidade de área, em torno de 8 a 15 t ha⁻¹, dependendo do diâmetro e comprimento dos entre nós ou do sistema de plantio. Os autores esclarecem que os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar tem disponibilizado variedades cada vez mais produtivas e resistentes as principais doenças e pragas, com maior potencial de sacarose, e adaptadas as condições de manejo.

A CONAB (2011) cita que para o sistema semi-mecanizado o consumo de mudas por ha é em média de 15 toneladas enquanto que para o sistema de plantio mecanizado é em média de 20 toneladas, podendo ultrapassar 20 toneladas se a colheita de mudas for mecânica.

2.1.1.6 Cobrição

Coleti e Stupielo (2006) afirmam para a quantidade de terra sobre o reboło normalmente oscila entre 5 a 10 cm, podendo ter alterações em função da variedade utilizada e da época de plantio.

Normalmente os rebolos são cobertos com uma camada de 7 cm, e deve ser rapidamente compactada. Entretanto devido o tipo de solo e as condições climáticas, podem ocorrer uma variação na espessura dessa camada (BEAUCLAIR; SCARPARI, 2007).

2.1.1.7 Custos operacionais

As variáveis dentro do sistema mecanizado agrícola envolvem conhecimentos das áreas de biologia, engenharia e economia, além de fatores externos como solo e clima, afirma Milan (2004). O autor salienta ainda que o sistema mecanizado é um ponto estratégico para redução de custos, que pode representar entre 20 a 40% dos custos de produção.

Segundo Banchi, Lopes e França (2005) a determinação dos custos agrícolas, dos equipamentos motorizados ou dos implementos é uma ferramenta que minimiza os gastos e otimiza os processos. O cálculo dos custos baseado nas características técnicas tem como finalidade a avaliação mecânica e operacional de cada equipamento e seu gerenciamento. Dessa forma, essa ferramenta permitirá encontrar os gastos e o custo por período de trabalho (R\$ h⁻¹ ou R\$ m⁻¹) de cada equipamento, modelo e classe operacional.

Banchi e Lopes (2008) pesquisaram uma frota com 500 equipamentos motores e 1.000 implementos (equipamentos não motores) e 80% de colheita mecanizada de cana-de-açúcar e chegaram à conclusão que a mecanização agrícola no setor sucroalcooleiro tem um índice muito alto, e que deve ser observado com atenção em um planejamento agrícola, pois a mecanização apresentou nesse estudo 69% dos custos.

2.1.1.8 Potência

Em termos de utilização dos sistemas mecanizados nas operações agrícolas uma das dúvidas freqüentes é o acoplamento adequado entre os tratores e as plantadoras, que no Brasil baseia-se principalmente em dados fornecidos pelos fabricantes e em alguns casos por ensaios de campo. De maneira geral, a potência é uma das formas de estimar a eficiência na

transformação de uma fonte química (combustível) de energia em energia mecânica. Ressalta-se que esta é uma das características técnicas mais importantes e que mais se utiliza na escolha de um determinado modelo de trator (RIBAS et al., 2010).

A *American Society of Agricultural and Biological Engineers* - ASABE determina a potência disponível na barra de tração de tratores por meio de um fluxograma, tendo como origem a regra .86 (“thumb rule”) ASABE (2011).

Ripoli et al. (2007) utilizaram para determinar a força de tração exigida para o conjunto mecanizado (trator+plantadora) a metodologia de Mialhe (1996) e para determinação da potência do motor foi utilizado a referência da ASABE (1983).

2.1.1.9 Consumo de combustível

O custo do combustível é uma das variáveis que tem maior peso no custo total em sistemas mecanizados. Mialhe (1974) afirma que é difícil estimar o consumo de combustível em tratores devido às variáveis de carga a que é submetido durante as operações em campo.

Diversas equações são utilizadas para estimar o consumo de combustível em tratores, dentre elas as de Whitney (1988); Bernardes, Balastreire e Milan (1998), Tachibana (1998), Molin e Milan (2002), Grisso, Kocher e Vaughan (2004), Kim, Bashford e Sampson (2005), Grisso, Vaughan e Roberson (2008), Romanelli (2008), ASABE (2011), Kim, Kim e Kim (2011).

Banchi, Lopes e Sales (2006b) indicam que no setor sucroalcooleiro nos gastos com mecanização, os custos com combustíveis podem aproximar-se de 28% desse total, representando 13% do valor do custo de produção de uma saca de açúcar. Ressaltam ainda, que existem duas formas de estimar o consumo conforme a característica do equipamento, máquinas que tem horímetro, o consumo é demonstrado em L/h e máquinas com hodômetro, é em L/km.

Para a operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar Banchi et al. (2009) apresentam resultados que determinaram o consumo de combustível para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar, por meio do software SISMA, por meio do módulo de Manutenção Básica do Programa. Os dados referem-se pela relação da quantidade de combustível abastecido e o período trabalhado, calculado pela diferença da leitura dos dados do horímetro/hodômetro no momento do abastecimento, em relação a faixa de potência do trator de pneu.

2.1.1.10 Reparos e manutenção

Outra variável importante na composição dos custos operacionais em sistemas mecanizados é o custo referente a reparos e manutenção, que estão relacionados com o tempo de uso das máquinas.

Teixeira (1995) teve como objetivo determinar uma equação para estimar o comportamento dos custos de reparos e manutenções, para tratores agrícolas de pneus, com potência na faixa entre 86,00 à 106,60 kW, nas atividades agrícolas para a cultura da cana-de-açúcar, onde foram analisados os relatórios de custos operacionais de oito anos de uma empresa agrícola do Estado de São Paulo, com intervalo de 227 à 15.535 horas acumuladas de operação. Utilizou-se de diversos métodos de análise quantitativa, regressão linear, exponencial, logarítmica, potência, polinomiais de segundo e terceiro grau e não linear. Como resultado, o comportamento dos custos teve maior acurácia pelo modelo da função potência, sendo que ajuste posterior por regressão não linear, respeitando-se o modelo anterior, permitiu melhorar a precisão, sendo adotado como resposta final.

Os custos com reparos e manutenção é composta por: peças próprias, mão-de-obra própria, peças aplicadas por terceiros, mão-de-obra realizada por terceiros, rateios com peças e rateios com mão-de-obra, em que analisa-se da vida útil do equipamento (horas trabalhadas ou km percorridos), em que a determinação, o monitoramento e a análise das curvas com custos com reparos e manutenção proporcionam aos gestores ações que reduzam os gastos (BANCHI; LOPES; SALES, 2006a).

Os autores supracitados acima em um estudo com tratores de pneus de 27 unidades sucroalcooleiras, analisaram os custos com reparos e manutenção de 921 equipamentos, com datas de fabricação de 2000 a 2007, sendo utilizado o índice IPA-OG Máquinas Agrícolas dos Dados da Fundação Getúlio Vargas. A metodologia utilizada pelos autores foi baseada da *American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ASABE), por meio do padrão S495 e S496.

A CONAB (2010) também apresenta dados de vida útil ano, vida útil horas e valor residual de máquinas agrícolas específicas para a cultura da cana-de-açúcar.

2.1.1.11 Eficiência

O desempenho operacional dos sistemas mecanizados agrícolas abrange aspectos quantitativos expressos pelas capacidades e rendimentos operacionais e aspectos qualitativos do trabalho realizado. O aspecto qualitativo é avaliado por meio de parâmetros de eficiência operacional (MIALHE, 1974).

Segundo Balastreire (1987) para plantadoras a eficiência de campo (%) utilizada está em um intervalo de 50 a 85%.

Gonçalves et al. (1993) pesquisaram sobre a metodologia de avaliação e classificação de tempos trabalhados e parados de máquinas agrícolas com base no sistema gerencial. E com isso propuseram uma nova classificação das eficiências no uso de máquinas agrícolas.

Milan (2004) define a eficiência gerencial como um fator de correção para a jornada de trabalho da empresa, que é decorrente das perdas de tempo em relação a erros administrativos.

2.2 Plantio mecanizado de cana-de-açúcar

Ripoli et al. (2007) expõem que todas as operações envolvidas no sistema de produção agrícola da cana-de-açúcar podem ser totalmente mecanizadas. Somente nos últimas décadas que a operação de plantio da cana-de-açúcar começou a ter a opção da mecanização total.

A introdução do plantio mecanizado no Brasil baseou-se no modelo australiano, e com isso, encontrou dificuldades devido às diferenças nos sistema de produção. O insucesso da introdução do modelo de plantio mecanizado no Brasil nas décadas de 80 e 90 deveu-se principalmente pela disponibilidade de mão-de-obra, e pelo conceito do plantio convencional, que difere do plantio mecanizado e por isso requer uma programação e execução diferente do sistema de plantio convencional (PARDINHO, 2008).

Coletti (1987) afirma que as principais vantagens do sistema de plantio mecanizado são: a abertura do sulco é simultâneo a colocação da muda e seu fechamento, não ocorrendo a exposição do sulco aberto, eliminando problemas de ressecamento, formação de torrões grandes e perda de adubo por chuvas intensas; o repasse não é necessário; os caminhões não transitam dentro dos talhões, evita-se com isso a compactação excessiva do solo; não há necessidade de trator para cobertura; menor mão-de-obra por área plantada.

Para o planejamento do plantio mecanizado, Bononi e Rosa (2007) citam que se deve saber qual a variedade a ser plantada, pois determinadas variedades não se adaptam com o tipo de plantio mecanizado por possuírem gemas muito grande, em que pode-se ser danificadas e ocorrer a não brotação, perdendo-se assim o plantio. A distância da muda também é um fator que deve ser considerado, pois esse transporte é normalmente feito com tratores transbordos, em que não é aconselhável percorrer longas distâncias.

Estudos comparativos entre o sistema de plantio mecanizado e o sistema de plantio convencional (semi-mecanizado) foi avaliado por Janini (2007) em termos de aspectos agrônômicos, econômicos, ergonômicos e operacionais desta etapa do processo de produção

de cana-de-açúcar. Como um dos resultados desse estudo, foi constatado que no tratamento mecanizado as perdas de gemas viáveis ocasionadas pelos processos mecânicos e o tamanho médio dos rebolos resultaram em uma quantidade muito baixa de gemas viáveis por rebolo, e a densidade de mudas do plantio mecanizado foi maior que o convencional.

Marques, Serra e Marques (2007) também compararam o desempenho do sistema de plantio semi-mecanizado com o mecanizado, de plantio de inverno de cana-de-açúcar na região de Presidente Prudente, SP, com relação a dois parâmetros morfológicos com grande influência na produtividade, número de perfilhos por metro e altura dos perfilhos. Para o plantio mecanizado foi utilizado a plantadora semi-automática marca CIVEMASA, modelo PCSA 2/2. Na situação estudada, conclui-se que no plantio mecanizado ocorreu maior uniformidade de brotação e também ocorreu maior altura de perfilhos. Estes resultados permitiram estimar que a massa de cana (km cana/ha)-aos 82 dias após o plantio foi 70% maior no plantio mecanizado. Em termos de mão-de-obra, também foi possível verificar nesse estudo que enquanto no plantio convencional teve uma equipe de 17 a 20 trabalhadores, no mecanizado a plantadora de cana semi-automática utilizou apenas seis trabalhadores (quatro para alimentar os reservatórios, o operador e o tratorista).

Cebim (2008) estudou o plantio mecanizado de cana-de-açúcar em que avaliou o desempenho operacional e econômico de uma plantadora de cana, onde os ensaios de campo compararam os sistemas de plantio semi-mecanizado com o mecanizado. Os resultados apresentados nesse estudo foram que a densidade de plantio foi de $8,4 \text{ t ha}^{-1}$ e $11,1 \text{ t ha}^{-1}$, para o plantio convencional e mecanizado, a produtividade de $88,9 \text{ t ha}^{-1}$ e $77,4 \text{ t ha}^{-1}$ e os custos operacionais de $77,60 \text{ R\$ ha}^{-1}$ e $216,20 \text{ R\$ ha}^{-1}$ respectivamente.

2.3 Plantadoras de cana-de-açúcar

A introdução das plantadoras possibilitou a mecanização total das operações de plantio, que executa o sulcamento, a adubação, o plantio, e a cobertura em uma única vez (BRIEGER; PARANHOS, 1964).

Na Austrália, no início da década de 70, foi desenvolvido um modelo de plantadora de cana, no qual teve êxito entre os pequenos produtores. O Brasil iniciou-se praticamente a partir de 1977, com a produção de modelos similares, que na época tinha quatro fabricantes (STOLF; FERNANDES; FURLANI NETO, 1984).

Silva (2001) define plantadora como máquina destinada ao plantio de culturas que se reproduzem por meio de órgãos vegetativos. As plantadoras são de projetos específicos, sendo normalmente utilizadas para uma única espécie.

O primeiro relato de introdução de plantadoras mecânicas no Brasil foi em 1970, em Campos, RJ, no qual produzia plantadoras de cana inteira, com inserção dos colmos, para uma linha única de plantio (COLETI; STUPIELO, 2006).

No sistema mecanizado, têm-se a utilização de três tipos de plantadoras: a) as que utilizam mudas inteiras, dispostas em carretas que fazem parte das plantadoras, trabalham, além do tratorista, com quatro operadores e um controlador do fluxo de rebolo; b) as que empregam mudas inteiras em depósitos da própria plantadora. Além do tratorista, trabalham quatro operadores e um controlador de fluxo de rebolos; c) e as que usam rebolos provenientes de colheita mecânica, utilizando apenas um controlador de fluxo e o tratorista (RIPOLI et al., 2007).

Silva (2001) informa que as plantadoras de cana inteira abrem o sulco, cortam-nas em rebolos do tamanho necessário, tratam os com fungicidas ou inseticida, colocam-no sulco, depositam os adubos nas laterais do sulco, cobrem e compactam o solo sobre os rebolos. Estas máquinas possuem uma plataforma onde se alojam dois operadores que retiram as canas inteiras do depósito, colocando-as no mecanismo de corte. O autor também informa o funcionamento da plantadora que utiliza mudas de rebolos, em que os rebolos ficam armazenados num depósito, tendo uma esteira na sua parte inferior. Esta arrasta os rebolos até uma outra esteira, sendo os mesmos elevados. Depois eles caem em um tubo, sendo direcionados para o fundo do sulco. Podem-se aplicar fertilizantes granulados ou líquidos, e fungicidas. Estas máquinas plantam duas linhas, abrindo e fechando o sulco de plantio.

Mialhe (2012) explica que o desenvolvimento das plantadoras no Brasil segue duas tendências no projeto de máquinas em função de manuseio do propágulo: automática, em que ocorre manuseio inteiramente mecânico da cana-semente e semi-automática onde o manuseio do propágulo combina com ações mecânicas e manuais. As plantadoras automáticas de cana-de-açúcar podem ser agrupadas em função de:

- Fonte de potência:
 - Plantadora automotriz: equipada com sistema de autopropulsão;
 - Plantadora rebocada: equipada com sistema de acoplamento a tratores agrícolas.
- Configuração dos elementos constituintes (plantadoras rebocadas):
 - Plantadora automática integral: com todos os componentes montados em chassi único;
 - Plantadora automática articulada: com componentes agrupados em chassi subdivididos por articulação de movimentos limitados;

-Plantadora automática montada em carreta: com componentes montados em chassi único de carreta transportadora de rebolos.

O autor ainda define as plantadoras automáticas automotrizes como máquinas de grande porte, para 2 ou 3 linhas, equipadas com reservatório de rebolos com capacidade de 7-10 toneladas visando reduzir frequência de reabastecimentos, com transmissão hidrostática, potência de 130 a 160 kW. O único modelo disponível no Brasil é o modelo SMA 10000 “Tropicana”. As plantadoras automáticas são definidas como máquinas cuja constituição geral poder ser descrita por 6 distintos sistemas, com funções específicas: sistema de mobilização do solo, constituído de órgãos responsáveis pela abertura, deposição dos rebolos e fechamento do sulco (subsolador, sulcador, caixa de deposição, cobridores e roda adensadora); sistema de provimento de rebolos, constituídos pelos órgãos que armazenam e fazem o suprimento de rebolos aos sistema de singularização e dosagem (reservatório de mudas, esteira transportadora, mecanismo de báscula do reservatório); sistema de singularização e dosagem de mudas, composto por órgãos que separam, individualizam, fazem a ordenação orientada e regulam a quantidade de mudas lançados no sistema de mobilização do solo (esteiras com dispositivos separador de duplos, tambor de garras ou ranhuras de transporte, esteiras de transporte alinhado); sistema aplicador de defensivo, composto por pulverizador convencional (reservatório de defensivo, bomba, filtros, bicos) ou por imersão das mudas em reservatório de defensivo; o sistema aplicador de fertilizantes, constituído pelos componentes de uma adubadora convencional (de fertilizante sólido ou líquido) e sistema de suspensão e acoplamento, composto pelo chassi (integral ou subdivido) da máquina ao qual se acoplam os rodados e o sistema de engate no trator.

Stolf, Fernandes e Furlani Neto (1984) relataram algumas modificações da plantadora Planimasa, com objetivo de melhorar o seu desempenho operacional, fornecendo sugestões, referente ao seu manejo adequado e o resultado do seu rendimento operacional em condições de campo. Estes autores também estudaram o índice de germinação do método mecanizado, em relação ao método convencional de plantio. Para as modificações da plantadora, utilizou o protótipo Planimasa, com dimensões semelhantes as das similares Don e Toft-275 de origem Australiana. Na ocasião e no estudo foram sugeridas algumas modificações para o protótipo, e quanto ao índice de germinação entre o método mecanizado e convencional de plantio não foram encontradas diferenças significativas.

Na safra de 1988/1989, a DMB, utilizando-se de um projeto industrial da Coopersucar, fabricou e lançou no mercado canavieiro a sua primeira plantadora de cana picada. Era uma máquina simples, com capacidade de 4 toneladas de mudas, mas as vendas não foram

significativas na época, posteriormente, no ano de 2004 em parceria com o Centro Tecnologia Canavieira, foi aprimorado o projeto inicial, resultando no ano de 2006, a plantadora PCP 6000. Até 2008 foram vendidas 120 plantadoras nos principais estados produtores de cana (PARDINHO, 2008).

Chaney, Parish e Sistler (1986) desenvolveram e testaram um sistema de controle automático em uma plantadora semi-automática, no estado da Lousiana, Estados Unidos. A plantadora necessita de dois a quatro operadores para alimentar e controlar a taxa de alimentação de cana. O sistema de controle automático tinha como hipótese a não participação de operadores, dessa forma foram testados três tipos de sensores, sendo um sistema de sensor de pressão, sensor de massa e fotocélulas. Como um dos resultados, o sistema de sensor de pressão mostrou-se mais efetivo, indicando com isso a possibilidade de eliminar o operador durante o plantio.

Parish, Chaney e Baker (1989) avaliaram os tipos mais comuns de plantadoras mecânicas, utilizados nos Estados Unidos, com base na uniformidade e danos nos colmos, e compararam o desempenho dessas plantadoras mecânicas utilizando diferentes tipos de auxílios para o plantio. Outro objetivo foi comparar plantadoras semi-automáticas e automáticas e então determinar se a economia da operação automática compensa algum desempenho de troca. Oito plantadoras foram avaliadas. A primeira etapa foi determinar a qualidade da cana para plantio, pois a operação de colheita e abastecimento pode causar substancial dano nos colmos. Após determinar a qualidade da cana no pré-plantio, foi mensurada a uniformidade do plantio. O plantio manual obteve maior uniformidade do que o plantio mecânico.

Sharma e Singh (1990) apresentam uma plantadora de cana automática tracionada, que foi projetada e desenvolvida no Instituto Indiano de Pesquisa Canavieira. Todas as operações envolvidas no plantio, abertura de sulco, colocação das mudas da cana, aplicação de defensivos e fertilizantes e o fechamento dos sulcos, foram realizadas em uma única vez. Durante os ensaios de campo, a plantadora apresentou a capacidade de trabalho de 2,5 ha / dia com 8 horas de trabalho. Os custos de operação foram comparados com o sistema convencional de plantio, apresentado 61% mais barato que o convencional, também como um dos resultados relevantes, foi à quantidade de mão-de-obra, que para o sistema de plantio convencional houve a necessidade de 17 colaboradores/dia que utilizam tração animal com um arado, enquanto que utilizando a plantadora necessitou-se de apenas dois operadores por dia.

Farooq, Ahmad e Majid (1992) discorreram sobre o desenvolvimento mecânico das plantadoras da cana-de-açúcar de alguns países produtores da cana, tais como Índia e Austrália, e mostraram alguns modelos de plantadoras existentes até então. Segundo os autores são classificados três tipos de plantadoras mecânicas de cana, sendo as plantadoras de rebolos, as distribuidoras de cana e as plantadoras de cana inteira, tendo modelos semi-automáticos, automático nos três tipos descritos pelos autores.

Srivastava (1995) apresenta o desenvolvimento de uma plantadora na Índia que abre os sulcos, corta a cana inteira e distribui nos sulcos, com aplicação de fertilizantes e agroquímicos, e cobre os sulcos. Na Índia a operação de plantio é considerada árdua e de trabalho intenso. O plantio mecânico foi inserido a partir de 1957 com a importação de plantadoras australianas, mas devido às condições do país, as adaptações mecânicas foram demandadas. A plantadora requereu 40% menos energia e custos, comparada com o método tradicional de plantio de cana-de-açúcar na Índia. Os danos das gemas foram mínimos. Fertilizantes e agroquímicos foram aplicados satisfatoriamente. A germinação foi melhor e mais rápida quando os colmos foram plantados pela plantadora e como consequência houve um aumento significativo na produtividade por área.

Yadav et al. (2004) apresentaram melhorias no projeto e desenvolvimento da plantadora de cana-de-açúcar por meio de um financiamento do Banco Mundial no ano de 2000 no projeto NAPT "A mecanização da produção de cana para a agricultura irrigada intensiva", na Índia. Os objetivos gerais do projeto foram avaliação, refinamento, e comercialização de trator montado para plantadora de cana. Os objetivos específicos desse projeto foram extensas avaliações, refinamentos e desenvolvimento de modelos mais adequados para comercialização. As descobertas incluídas neste documento foram baseadas nos ensaios realizados no campo e modificações necessárias foram realizadas nos projetos da plantadora. Dois modelos foram desenvolvidos, de uma linha e duas linhas. O Instituto de Pesquisas da Cana-de-açúcar da Índia projetaram a plantadora enquanto que a Khalsa a fabricou, nos Laboratórios foram avaliados os mecanismos internos, como a determinação da força do corte, a medição dos mecanismos de fertilizantes dentre outros ensaios no campo.

Patil, Dave e Yadav (2004) avaliaram o desempenho de dois diferentes modelos de plantadoras de cana inteira na Índia. Um modelo foi Khalsa PE-630 fabricado pela Punjab Meerut Engenharia e outro modelo foi ITI, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas da Cana-de-açúcar da Índia. Os testes relatados referem-se a calibração, a determinação dos danos das gemas, a qualidade do corte, comprimentos dos colmos, taxa de aplicação de fertilizante. Os testes no campo avaliaram profundidade do sulco, sobreposição, a velocidade da operação, a

capacidade de campo teórica, a capacidade de campo atual, e a eficiência de campo. A cana-de-açúcar é a cultura mais importante da Índia. Tradicionalmente a cana-de-açúcar sempre foi plantada manualmente, entretanto para reduzir os custos de plantio, o trabalho, e a colocação adequada de fertilizantes, as máquinas de cana-de-açúcar para a finalidade do plantio tem sido desenvolvidas na Índia. Estas máquinas são basicamente de dois tipos, as que são alimentadas por rebolos, que podem ser cortadas manualmente ou mecanicamente, e as alimentadas por cana inteira e posteriormente cortadas com tamanhos pré-determinados. Existem aproximadamente 10 a 15 fabricantes de plantadoras de cana-de-açúcar no país, que fabricam diferentes modelos.

Ripoli et al. (2007) apresentaram as capacidade de algumas plantadoras de cana-de-açúcar em ensaio de campo. Reforçam os autores que as variáveis velocidade e condições de terreno devem estar bem ajustados, pois uma pequena variação altera a capacidade.

Perticarrari (2009) revela que as plantadoras no Brasil aprimoraram-se a partir da década de 90. O autor enumerou diversos desafios que devem ser analisados não apenas nas plantadoras, mas no próprio sistema de plantio mecanizado, que envolvem a logística operacional, a qualidade das mudas, os aspectos fitossanitários, aspectos agrônômicos, a sistematização, o preparo do solo, e as operações de plantio (sulcação, distribuição, dosagem, cobrição). O autor apresenta a evolução das plantadoras pelo Centro de Tecnologia Canavieira durante os anos:

- 1989: ensaios de campo com a plantadora Dedini 4000;
- 1993: importação da plantadora Bonel-Australiana para análise de desempenho;
- 1995: análise de um distribuidor de rebolos;
- 1996: primeiro protótipo da plantadora CTC;
- 1997: avaliação da plantadora australiana Austoft;
- 1998: primeira plantadora CTC;
- 2001: análise da plantadora de cana com aplicação de torta de filtro CTC/Usina São Martinho;
- 2003: parceria entre CTC/Santal no desenvolvimento de uma plantadora;
- 2004: parceria entre CTC/DMB no desenvolvimento de uma plantadora.

Ripoli e Ripoli (2010) estudaram cinco plantadoras de cana-de-açúcar disponíveis no mercado brasileiro, das marcas Civemasa, Santal e DMB, onde as variáveis pesquisadas foram a velocidade efetiva, a capacidade efetiva, a força de tração na barra, a potência na

barra, o consumo de combustível e os custos, confrontando essas variáveis com o sistema de plantio semi-mecanizado. A conclusão do estudo foi de que em termos de custos efetivos o sistema mecanizado é significativamente mais barato que o sistema semi-mecanizado.

2.3.1 Ensaios de plantadoras de cana-de-açúcar

Mialhe (2012) esclarece que no Brasil trabalhos sobre ensaios de plantadoras de cana-de-açúcar referem-se apenas aos estudos de Stolf et al. (1981) e Ripoli et al. (2007). Não existe normalização de metodologias (Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT) para a categoria de máquinas agrícolas. Entretanto, o autor afirma que o ensaio de plantadora de cana-de-açúcar, pode seguir a orientação determinada por 4 princípios básicos no ensaio de máquinas agrícolas (MIALHE, 1996): especificidade, reprodutibilidade, comparabilidade e confiabilidade.

2.4 Construção de modelos de simulação

A simulação em modelos no sentido amplo pode ser definida como a técnica de representar um sistema dinâmico de um modelo, a fim de obter informações sobre o sistema por meio de experimentações com a abordagem do modelo. A simulação digital é uma ferramenta amplamente utilizada para estudar uma variedade de fenômenos: sistema de produção, fluxo de tráfego, transporte, sistemas administrativos, sistemas sociais e econômicos, etc. (DAHL, 1968).

Berends e Romme (1999) afirmam que existem diversas formas de simulação que podem ser distinguidas e cada um dessas é utilizada para uma área científica, distinguindo entre tipos e aplicações. A mais básica distinção é entre a simulação física e a matemática. A simulação física implica a experimentar objetos reais que funcionam como modelos de um subconjunto da realidade, enquanto que a matemática é expressa por fórmulas, que podem ser: analíticas e numéricas. A analítica busca uma solução ótima do sistema, e a numérica lida com o comportamento do sistema e não com a busca de uma solução ótima. Dentro da simulação numérica, há ainda dois desdobramentos: a determinística e a estocástica. A determinística que requer valores fixos de parâmetros, e a estocástica que necessita de algum tipo de função de distribuição como entrada para variáveis.

Naylor et al. (1971) apresentam que para o planejamento de experiências de simulação da construção de um modelo, são necessárias nove etapas no processo: formulação do problema; coleta e processamento de dados reais; formulação de um modelo matemático; estimativa de parâmetros para as características operacionais, por meio de dados reais;

avaliação do modelo; formulação de um programa de computador; validação; projeto de experiências de simulação e análise dos dados obtidos na simulação.

A fase de simulação consiste em desenvolver um modelo matemático adequado para a linguagem computacional, representado por um modelo de diagramas. Isso fornece informações adequadas ao tipo e forma de dados requeridos (BALA, 1977).

A construção de um algoritmo refere-se na seqüência lógica de instruções onde são fornecidos os conceitos e relações que envolvem o problema (MILAN, 2004).

Para a construção e o desenvolvimento do algoritmo, a criação de um fluxograma permite dar suporte para a elaboração do algoritmo (MIALHE, 1974).

Beckett e Hurt (1967) afirmam que ao elaborar um programa a partir de um fluxograma, é mostrado a ordem em que os cálculos do programa devem ser realizadas, as etapas lógicas a ser tomadas, as informações necessárias como os dados, e os resultados a serem escritos. O fluxograma mostra como a informação flui, e como os cálculos devem ser feitos, permitindo servir como ponto de partida para elaboração de um programa real de computador.

Milan (2004) caracteriza que o fluxograma é uma técnica de análise operacional que emprega diagramas para indicar a direção de fluxo de materiais ou os caminhos seguidos numa seqüência de operações. Normalmente, os fluxogramas são utilizados nas seguintes situações: a) levantamento de métodos, condições ou situações existentes; b) planejamento de atividades ou operações a realizar; c) programação de modificações a introduzir num método de trabalho. A elaboração de um fluxograma é feita seguindo alguns passos, como: primeiramente, execução de um diagrama de blocos, onde são caracterizadas as etapas a percorrer na realização da operação analisada, segundo, o preparo do fluxograma, onde as etapas são relacionadas de forma ordenada, conforme direções preestabelecidas; e terceiro a elaboração do mapa de/para, focalizando os aspectos quantitativos do diagrama de fluxo.

A utilidade de programação ocorre quando se têm algum conhecimento dos componentes funcionais de um computador e sabe-se sobre um fluxo de dados e instruções da máquina. Os componentes básicos de um programa podem ser resumidos de acordo com suas funções: uma unidade de entrada, onde é possível ler informações em uma unidade de armazenamento, que é referida como a memória de informações do computador; a unidade armazenamento ou memória, com dados e resultados intermediários, onde estão disponíveis quando necessário pelo computador; a unidade aritmética e de controle dirige todas as operações do computador de acordo com o programa e executa os cálculos, sendo que esta

unidade inclui a lógica e a capacidade de instruções de modificação do computador; a unidade de saída, onde exhibe os resultados de forma legível (BECKETT; HURT, 1967).

O modelo desenvolvido deve também ser verificado e validado. Bala (1977) afirma que a validação é o processo que determina como o modelo relaciona-se com o sistema real, sendo que se o sistema real não existir, a validação do modelo é baseado em um julgamento subjetivo.

Kleijinen (2010) define a verificação de modelos como uma forma de determinar se um programa computacional de simulação está executando conforme o planejado, e a validação para determinar se o conceito do modelo está de acordo com a representação precisa do sistema em estudo. Entretanto, o autor ressalta que na validação, o modelo não pode assumir resultados perfeitos, uma vez que por definição nenhum modelo é a simplificação do real.

2.4.1 Modelos de simulação aplicados em sistemas agrícolas

Diversos autores criaram e desenvolveram modelos de simulação em sistemas mecanizados no decorrer da década de sessenta até os dias atuais, mostrando a importância do tema de estudo.

Link e Bockhop (1964) propõem um modelo matemático para dimensionamento de máquinas agrícolas, entretanto os autores salientam que algoritmos computacionais fossem desenvolvidos, e que procedimentos de simulação seriam muito úteis na resolução desses problemas.

Chancellor (1969) propõem um sistema para otimização e seleção de máquinas agrícolas, com enfoque na análise econômica, onde era possível verificar as vantagens e desvantagens econômicas de tratores de pequeno e grande porte. O autor afirma que os custos não devem basear-se apenas em custos fixos e variáveis para encontrar uma otimização, e com isso propõem um sistema no qual calculava-se custos fixos, de energia e o tempo.

Para obter a melhor decisão dentre as diversas variáveis que existem em um sistema de produção, Bender e Harris (1973) propuseram analisar o sistema não apenas pelo método tradicional de custo - benefício, mas utilizaram a metodologia da programação linear. A programação linear é uma ferramenta matemática que auxilia os tomadores de decisão diante de um grande número de possibilidades e diversos tipos de restrições, buscando uma melhor decisão no sistema produtivo. No estudo em questão, os autores propuseram como exemplo, qual a quantidade de arroz e trigo que deveria ser produzida (plantada) em uma determinada área para se maximizar o lucro. Por meio de um gráfico, eles determinaram um ponto ótimo,

mas conforme o tamanho e a complexidade do problema utilizaram um sistema de equações e computadores para solucionar o sistema em questão.

Faidley, Misener e Hughes (1975) construíram um modelo, em linguagem de programação BASIC. O modelo foi uma adaptação do trabalho de Harold Hughes (HUGHES, 1973) e Hughes e Holtman (1973). Com o intuito de auxiliar na seleção de máquinas agrícolas e os custos envolvidos no sistema mecanizado, visto que para os cálculos é necessário o uso de computadores devido à quantidade de variáveis existentes e, com isso, satisfazer a demanda de máquinas agrícolas no decorrer do ano, diante de diversas operações que ocorrem no sistema de produção, existindo a necessidade de quantificar o número de máquinas e os custos envolvidos, tais como custo fixo anual e custos variáveis. O modelo permite por meio de entradas de dados quanto à potência requerida, ao tipo de operação, a energia teórica, a energia efetiva, ao tempo, e as máquinas, sendo que em cada tópico, existem diversas variáveis que são analisadas, e simular os dados de saídas conforme as entradas, que no caso de estudo foram a potência requerida, o número de máquinas e os custos. Particularmente foi estimada a potência requerida por meio de um fluxograma.

Verma, Barga e Ballard (1976) simularam as diversas atividades para o planejamento da colheita de feno, utilizando um simulador chamado GPSS (*General Purpose Simulation System*). As entradas padrão do GPSS são divididos em quatro etapas: Dinâmico, Equipamento, Estatística e Operacional. Foram levantadas as atividades da colheita de feno, ou as operações no sistema, para posterior entrada de dados no simulador. Para os autores, o planejamento é a fase mais importante na operação de colheita de foragem. Salientam que durante o planejamento, problemas com a disponibilidade de trabalhadores, do clima, de equipamentos, da configuração do campo e os ciclos de transporte devem ser identificados. A coordenação das atividades na operação, desde trabalhadores e máquinas devem ser programados em comum com as outras atividades. Estas atividades podem ser simuladas para concluir um plano operacional efetivo, antes da colheita, fornecendo respostas a possíveis problemas futuros.

Uma das finalidades para a construção de modelos é obter “insights” sobre o comportamento do sistema. Modelos devem ser úteis para prever o efeito da variação dos parâmetros sobre o resultado do sistema, segundo afirmam Vedak e Young (1976), que também descreveram brevemente modelos para colheita, especificamente para amendoim, um modelo de simulação utilizando discreto-evento para três sistemas de colheita de amendoim utilizando o SIMSCRIPY II 5. Com objetivo de demonstrar o uso em estudos de sensibilidade, e discutir as áreas onde a pesquisa na colheita seria necessária. Pode - se

comparar os três sistemas de colheita de amendoim (mais comum) no campo por diversos anos para determinar o melhor método, entretanto, os modelos de sistemas no computador fornecem um excelente método para inicial comparação sem o alto custo de testes em campo. Estes modelos podem ser usados para estudos de sensibilidade enquanto dados sobre número de anos e varias condições de pesquisa são disponibilizados. Para um sistema de engenharia agrícola, é necessário a definição clara do problema, identificar as alternativas, e objetivamente avaliar as alternativas do sistema. Quando se modela operações com máquinas, reforçam que é importante checar os parâmetros de entrada para decisão em um período de tempo, pois o desempenho depende do crescimento da planta, dos parâmetros de clima, condições em campo, de recursos humanos e de máquinas. Os dados de entrada foram divididos em: desempenho das máquinas, dados de campo, da cultura, e do clima. Nesse estudo, os autores concluíram que o modelo no computador foi capaz de comparar os três métodos de colheita de amendoim, sendo esses modelos usados efetivamente para observar a influência de vários parâmetros no processo de colheita de amendoim, e como esses modelos de simulação requerem extensivos dados de clima, é importante possuir esses dados. Também concluíram que precisam de mais estudo para obter a distribuição de quebras de máquinas, os efeitos da data de colheita e as condições meteorológicas na produtividade e perdas na cultura.

Hughes e Holtman (1976) elaboraram um modelo para seleção de máquinas, levando em conta o indicador do tempo nas operações. O modelo foi dividido em quatro partes: (a) determinar a potência requerida para o sistema; (b) a seleção de trator; (c) a seleção de máquinas para as operações e (d) análise dos custos. Foi utilizado o programa computacional FORTRAN. O método para estimar a potência requerida para um conjunto particular de operações é dado pelo clima e pelo tipo de solo. Para o número e tamanhos de tratores necessários, é necessário o conhecimento da potência requerida, essa estimativa foi baseada em Hughes (1973). A seleção de máquinas está relacionada com o tamanho da máquina e da velocidade de operação, pois existem diversas combinações, que depois de encontrado a combinação ideal, calcula-se o custo fixo anual (depreciação, juros e taxas). Os autores reconhecem que as características das operações devem ser organizadas subconjuntos das operações, para se concluírem durante os tempos específicos, e reconhecem que as máquinas devem ser selecionadas como um sistema do que individualmente.

Elliot, Lembke e Hunt (1977) construíram um modelo de simulação para a previsão de dias disponíveis para o preparo de solo. Um modelo baseado no balanço hídrico do solo foi desenvolvido. O clima tem uma influência considerável sobre a umidade do solo, portanto do número de dias favoráveis no campo. A aplicação do modelo mostrou que o tipo de solo é um

parâmetro importante que afeta o trabalho de campo. O potencial diário de evaporação foi estimado segundo o método de Thornthwaite (1948) e para o cálculo potencial de evapotranspiração com auxílio de um computador e pela técnica do gráfico baseado em Palmer e Havens (1958) em dois tipos de solo do estado de Illinois, Estados Unidos. Dados do clima de 10 anos de Champaign-Urbana foram utilizados como entradas no modelo. Pelo modelo proposto foi possível verificar as interações de diversas combinações, proporcionando estimativas favoráveis de dias de trabalho, principalmente para plantio de milho e soja no estado de Illinois.

Parsons e Holtman (1977) desenvolveram um modelo de simulação para sistemas de produção de milho, empregando a simulação de eventos orientados para avaliar realisticamente as interações entre os diversos subsistemas. O modelo desenvolvido utilizou dois tipos de entrada: 1- os valores de parâmetros específicos do modelo para descrever atributos físicos do sistema e específicas políticas e procedimentos, e 2 - valores diários dos Estados Unidos. Dados do clima são gerados diariamente, e vários parâmetros são atualizados, tais como, a umidade do solo, grau de crescimento diário da cultura etc., com isso, mostrando se as condições são necessárias para o trabalho diário, se sim, são simulados os cenários, se não, as atividades de campo não serão simulados. O modelo analisou e compreendeu vários aspectos do sistema de produção de milho. O ano-safra foi composto por seis períodos de operações: 1- período de preparo do solo no outono; 2- período de preparo do solo no inverno; 3- pré-plantio ou período de preparo do solo na primavera; 4- período de plantio; 5-pós-colheita e 6-período de colheita. O modelo simulou a operação de colheita, utilizando o programa de simulação GASP IIA (*General Activity Simulation Program*). Os modelos servem para refinar com detalhes os sistemas, mas devem ser melhorados. O software GASP IIA, mostrou-se muito complexo e com isso indicou que o GASP IV também não ajudaria significativamente, por isso, outras técnicas serão necessárias.

Scarborough e Hunt (1977) propuseram um modelo de custos baseados nas distâncias e tempos decorrentes das operações (preparo do solo, plantio e colheita), conforme o tamanho e o formato dos talhões, servindo como base um talhão retangular. Foi feito um modelo matemático para envolver as diversas variáveis do sistema. Os custos foram divididos em fixos e operacionais.

Chen, Willits e Sowel (1978) construíram um modelo de simulação para descrever o envasamento mecânico de plantas em recipientes. O modelo foi concebido para analisar as relações existentes no sistema operacional e para avaliar o efeito das alterações e / ou

melhoramentos sobre o sistema. O modelo foi construído na linguagem SIMSCRIPT II. 5 Para a validação do modelo foi utilizado dados reais do sistema em estudo.

Wright, Bowling e Clark (1979) descrevem um programa de simulação computacional, desenvolvido em linguagem FORTRAN, para colheita, limpeza e a produção do suco de sorgo sacarino para produção de xarope, incluindo a estimativa da quantidade de xarope produzido. O programa é separado por processos (colheita, transporte, processo de preparação, separação e moagem, processo de xarope e produtos sólidos). O modelo computacional pode ser utilizado para determinar o efeito de vinte e cinco variáveis de entrada, levando-se em conta principalmente o tamanho da área, máquinas, operacional.

Kolarik, Bowers e Case (1979) construíram um modelo de simulação que considera a análise de disponibilidade e custos associados com a disponibilidade, no estudo de máquinas agrícolas. O modelo (FMACS) possui dois níveis (sistema e subsistema), o modelo foi desenvolvido em GASP IV, que considera os requisitos de utilização, várias condições de trabalho, aspectos operacionais, detecção e falhas no sistema, serviço, reparos e manutenção, e os custos associados com a operação. Os dados de saída do modelo é resumido por ano e por período de simulação.

Chen, Sowell e Jones (1979) apresentaram a familiarização com a programação de eventos e conceitos de interação no processo de modelagem utilizando o SIMSCRIPT II.5 e GASP IV, como exemplo os autores mostraram um sistema de ordenha.

Singh e Holtman (1979) construíram um algoritmo para um sistema de máquinas baseado nas operações específicas em campo, assim como o calendário das operações, as relações da capacidade das máquinas, potência do trator e dos implementos, dentre outros fatores. O algoritmo especifica o tamanho e o número de cada componente, prepara detalhadamente a programação semana a semana, fornece a distribuição de trabalho necessária, calcula as necessidades de combustível para cada operação, e faz análise detalhada dos custos de conjunto de máquinas selecionadas. O algoritmo foi desenvolvido para avaliar e comparar sistemas de produção de diversas culturas, na região de Michigan, nos Estados Unidos. As culturas foram milho, soja, feijão, trigo e alfafa utilizando plantio direto, escarificador e arado de aiveca. O algoritmo foi desenvolvido em linguagem FORTRAN IV. Os dados de entrada foram divididos em três grupos: a) dados para calcular o tempo requerido no campo; b) dados para calcular a disponibilidade do tempo no campo e c) dados para a análise dos custos.

Edwards e Boehlje (1980) construíram um modelo para simular a realização das operações em campo. Dez conjuntos de máquinas foram comparados por diversos parâmetros para determinar o custo mínimo fixado em diversas condições.

Kumar e Goss (1981) criaram um programa para simular a colheita de alfafa, nos Estados Unidos, denominado como “ Simulação da colheita da semente de Alfafa-ASHSIM”.Este programa , que possui vinte sub-rotinas e seis funções, pode também ser utilizado para otimizar o custo da colheita dependendo das diversas máquinas, trabalho e outros custos de entrada, como também otimizar o número de colhedoras e velocidade das colhedoras.

Bingner et al. (1982) desenvolveram um modelo de simulação para análise do sistema de transporte de tabaco, para simular as interações entre o operacional e os equipamentos. O modelo de simulação desenvolvido baseou-se na linguagem FORTRAN IV com GASP IV, sendo projetado e verificado pela Universidade de Kentucky, Lexington. O modelo foi composto por quatro componentes básicos: trabalho, equipamentos, campo e o celeiro. Os dados de entrada referem-se aos quatro componentes. O modelo apresenta diversas formas de dados de saída, sendo tabelas, histogramas, e formulários de monitoramento. O modelo serve como auxílio as futuras decisões, permitindo escolher as várias operações e quando ocorrem, determinando-se estratégias, que podem afetar a eficiência no sistema de produção. O modelo pode mostrar como a estratégia afeta o sistema, mas cabe ao gerente decidir quais mudanças devem ser implementadas.

Chen e McClendon (1984) implementaram um modelo de simulação para ajudar o usuário na seleção de programação de plantio da soja. Este modelo considerou efeitos de larguras de equipamentos e a área plantada. Atrasos de plantio e colheita devido a chuvas foram incluídos. Os custos de operação foram incluídos a fim de determinar o retorno econômico. Os valores obtidos pelo modelo de relações desejadas de área plantada por unidade de equipamento em diferentes condições climáticas foram consistentes. A produtividade foi determinada com dados de quatro anos da Universidade do Estado do Mississippi. Os custos das operações foram incluídos para determinar o retorno ao produtor. O modelo foi executado com dados de clima de vinte anos e com isso foi possível determinar o melhor período de plantio dentro das condições escolhidas. O modelo de simulação consistiu em sub-rotina plantio e sub-rotina colheita.

Khan, Chaudhry e Sherif (1984) realizaram um programa de computador em linguagem FORTRAN IV, para gerenciamento da maquinaria agrícola, com o objetivo de determinar a relação entre o tamanho ideal de propriedade e a potência requerida para

diversas culturas, utilizando diferentes tamanhos de tratores, e assim determinar o desempenho econômico.

Swain e Ojha (1985) na Índia, construíram um algoritmo baseado em análise network em aplicações simples de programação dinâmica em linguagem FORTRAN II, para determinar a combinação otimizada entre a produção e o custo com máquinas agrícolas, tendo como justificativa a substituição da mão-de-obra pela mecânica e os custos inclusos nos produtos agrícolas. O modelo habilita os agricultores ou gestores a selecionar uma combinação ideal conforme o tamanho da propriedade, a disponibilidade de facilidades e outras limitações físico- econômicas.

Chen e MacClendon. (1985) desenvolveram um modelo de simulação para a cultura da soja e trigo, para verificar o retorno econômico do plantio e da colheita, na região sudoeste dos Estados Unidos, em que o trigo é plantado no outono depois da colheita da soja e o trigo é colhido na primavera seguido do plantio de soja. O modelo considera os atrasos do plantio e da colheita devido às chuvas. Foram utilizados dados históricos climáticos. O modelo foi desenvolvido em linguagem de programação FORTRAN, com um programa principal e nove sub-rotinas. Por meio das combinações de tamanho total de área, máquinas e equipamentos e dados das operações foi possível verificar as melhores estratégias em termo de retorno financeiro.

No Chile, os autores Hetz e Esmay (1986), propuseram um modelo para selecionar máquinas para a produção de trigo. O tamanho requerido pelas máquinas e os custos associados são preditos para propriedade de até 250 hectares de área. Os objetivos específicos do projeto foram desenvolver um modelo computacional para simular o sistema de seleção de máquinas agrícolas para a produção de trigo e comparar diferentes sistemas de produção, incluindo trigo, aveia e lentilhas. Além dos requisitos das máquinas, o modelo irá fornecer dados sobre custos das máquinas, operacional, tempo e combustível.

Giniger et al. (1988) desenvolveram um modelo computacional de simulação para o manejo da cultura do tomate em estufa. O modelo de gestão baseia-se no modelo de produção, no qual irá determinar um cronograma de produção projetado para fornecer um rendimento contínuo, otimizar a utilização do espaço da estufa, e prever as taxas de produção ao longo do ano. Os resultados da simulação são dependentes de dois parâmetros de entrada, primeiro o número desejado das faixas da cultura e as datas de colheita da primeira produção.

Laurel (1988) afirma que para a análise do planejamento de máquinas um programa computacional pode ser uma opção viável, pois desta maneira as decisões de planejamento podem ser feitas para maximizar o lucro e minimizar os custos, particularmente para pequenas

propriedades nos países em desenvolvimentos. O autor desenvolveu um programa computacional para seleção de máquinas agrícola para pequenas propriedades. O programa foi desenvolvido baseado nos seguintes fatores: tração e patinagem; resistência rolamento; transferência de peso; depreciação; custos com reparos e manutenção e custos com combustíveis. Salienta ainda, que o lucro obtido depende o nível de investimento em máquinas.

Aderoba (1989) também apresenta um modelo baseado em seleção de máquinas agrícolas direcionado a países em desenvolvimento, levando-se em conta a disponibilidade de mix de máquinas, a pontualidade das operações e as limitações de capital investido.

Zhao et al. (1989) desenvolveram um programa computacional de simulação para determinar o tamanho de semente ideal em uma máquina cortadora.

Randhawa e Olsen (1990) descrevem um modelo de simulação para o planejamento e concepção de um sistema de colheita de madeira. A linguagem de programação utilizada foi o FORTRAN, sendo os resultados simulados, plotados em gráficos. O sistema de modelagem em simulação denomina-se LOGSIM, sendo que o modelo pode apresentar treze processos. Cada um dos processos pode empregar diferentes tipos de máquinas. O programa LOGSIM lida com até noventa máquinas, divididas em quarenta e duas classes de máquinas. Os autores afirmam que o modelo representa uma versátil ferramenta para avaliar e comparar sistemas alternativos e avalia a produtividade das melhorias das máquinas. No caso de estudo o sistema oferece um potencial grande em melhorias no planejamento e operação no processo de colheita de madeira.

Lal et al. (1991) descrevem a estrutura, lógica e técnicas de programação no modelo de simulação em Programação Lógica (PROLOG) com estruturas de dados com objeto orientado para operações agrícolas. O modelo simula diversos sistemas de produção estimando o trabalho baseado nos recursos disponíveis na propriedade agrícola (Máquinas e Trabalho) e o clima diário.

Ofoche, Abe e Hikida (1991) afirmam que o uso de simulação em computador tem ampla aplicação em engenharia agrícola, principalmente em testes com projetos e de desempenho. Melhorias no desempenho de máquinas agrícolas são realizadas por meio dos resultados obtidos durante a execução das simulações. Os autores estudaram o desempenho de um secador de grão por meio de um modelo de simulação. Eles afirmam que a simulação em computador teve três vantagens nesse estudo: a) economia em varias ordens, em termos de tempo e custo; b) importantes variáveis, que, na prática, estão sujeitas a variações incontroláveis, pode ser mantida constante. Além disso, quando novas verdades são

aprendidas sobre o processo de secagem, seria uma simples questão de incorporá-los ao modelo de simulação, e c) mudanças podem ser calculadas em termos quantitativos, como exemplo, a temperatura dos grãos, que não é fácil mensurar ou até mesmo impossível mensurar no experimento, pode ser calculada.

Chen, Ahmad e Willcutt (1992) com a operação de colheita e transporte de algodão, desenvolveram um modelo de simulação. O sistema contém colhedoras, contêiner de algodão e transbordo de algodão. O modelo denominado de COTSIM foi desenvolvido em linguagem de programa FORTRAN 77 em SIMLIB. Quatro exemplos foram comparados em termos de retorno e custos com base em diferentes datas iniciais de colheita, número de colhedoras e transbordos.

Isik e Sabanci (1993) criaram um modelo computacional para a seleção de máquinas e tratores agrícolas conforme o tamanho adequado, a potência requerida, o tamanho da propriedade, os métodos de cultivo, as propriedades do solo e condições climáticas. O modelo foi desenvolvido para minimizar o custo total das máquinas agrícolas e tratores. A linguagem de programa utilizada foi o *Visual Basic*. Como uma das conclusões dos autores, foi que houve variação conforme o tamanho da propriedade e os métodos de cultivo, e esclarecem que esse tipo de modelagem é necessário para o planejamento de produção, pela acurácia e conhecimento prévio antes da compra de máquinas e tratores agrícolas.

Silva (1996) elaborou um modelo computacional para estudar e selecionar métodos de dimensionamento de tratores, equipamentos e operações agrícolas, para facilitar e agilizar as tarefas de dimensionamento e diminuir custos. Para o modelo foi utilizado o programa Visual Basic e para o banco de dados o Microsoft Access. O modelo mostrou-se que pode servir de apoio didático, auxiliar os profissionais da área agrônômica e correlatas, a efetuarem trabalhos de planejamento de operações agrícolas.

Tachibana, Milan e Mourão Filho (1999) desenvolveram um modelo empírico para avaliar o desempenho operacional e econômico de um sistema mecanizado em operações de pulverização, o modelo foi elaborado no software Excel 97. A metodologia dos custos dos equipamentos agrícolas baseou-se em Balastreire (1987), os conceitos de capacidade de campo, Mialhe (1974), e em dados obtidos em campo. O estudo foi realizado para atender as características de uma propriedade agrícola localizada no município de Botucatu, SP, com 1.536 ha plantados, totalizando 312.000 plantas de limão. Os levantamentos de dados foram realizados no período de 10/08/1997 até 23/9/1997, em talhões com idades superiores a 6 anos em relevos plano e ondulado. O autor conclui que na propriedade 90% dos talhões tinham custos de 36,00 US\$ ha⁻¹, enquanto que na situação otimizada reduziu-se para 21,00 US\$ ha⁻¹,

uma redução média de aproximadamente 42% dos custos. A análise de sensibilidade realizada indicou o número de jornadas diárias, a vida útil e o preço inicial do conjunto mecanizado, como os fatores que mais influenciaram o custo operacional.

Tachibana e Milan (2002) desenvolveram um algoritmo para simular o desempenho econômico e operacional de sistemas mecanizados na aplicação de defensivos para culturas perenes, mais precisamente laranja (*Citrus sinensis* L.Osbeck), devido à importância econômica da cultura para o Brasil, e os custos de mecanização envolvidos na operação de pulverização. Dessa vez, foi desenvolvido um algoritmo com as informações gerais da operação, sendo utilizado o programa *Visual Basic 6.0*. A metodologia para os cálculos operacionais e econômicos basearam-se em Mialhe (1974); Gago (1986), ASAE (1996); Tachibana (1998). O modelo foi validado comparando-se os valores com dados de referências bibliográficas do assunto abordado e de uma propriedade agrícola. O modelo foi mostrado-se eficiente para a simulação de operações de aplicação de defensivos.

Baio et al. (2004) desenvolveram e utilizaram um modelo de programação linear binária para auxiliar na seleção de pulverizadores agrícolas de barras, baseado no menor custo horário do equipamento. Nesse trabalho foi considerado uma propriedade agrícola hipotética situada na Região de Ribeirão Preto-SP, com 1.000 hectares de milho e soja. Utilizou-se informações técnicas referentes a vinte modelos de pulverizadores disponíveis no mercado, sendo quatro autopropelidos, oito de arrasto e oito do tipo montado. A análise de sensibilidade dos componentes dos custos operacionais mostrou que as taxas de reparo e depreciação foram os fatores que mais interferiram na variação ao custo horário ao conjunto trator-pulverizador. O modelo matemático contribuiu por processar o problema de otimização em menor tempo de resposta.

Matos (2007) desenvolveu um modelo para dimensionamento operacional e econômico de sistemas mecanizados com consideração da pontualidade e as suas influências na renda líquida do processo em sistemas de produção, na cultivar da soja. Esse modelo foi verificado e validado, no qual mostrou-se eficiente para uso das operações agrícolas.

Mercante et al. (2010) propuseram o uso de um software denominado de PRAPAG, como uma ferramenta de escolha de máquinas e implementos agrícolas, onde é possível apresentar o menor custo por área ou por quantidade produzida fazendo o planejamento de aquisição das máquinas para a propriedade agrícola sob a perspectiva técnico-econômico. O software proporciona maior rapidez, segurança e confiabilidade ao processo de seleção e aquisição de conjuntos mecanizados agrícolas, e também determina os custos envolvidos com a mão-de-obra empregada.

Klaver et al. (2011) desenvolveram um programa computacional para calcular a força e potência requerida na seleção de máquinas e implementos agrícolas nas operações agrícolas. A linguagem de programação utilizada foi PHP (*Hypertext Preprocessor*) versão 5.0. O usuário seleciona o tipo de operação e implemento utilizado, em seguida o modelo de trator, o tipo de solo, velocidade de operação, largura e profundidade de trabalho do implemento. Após a entrada dos dados, o programa exibe o resultado da potência exigida na barra de tração e no motor do trator (potência bruta) nas unidades de kW e cv. O programa desenvolvido permite executar tarefas para cálculos de demanda de potência de máquinas e implementos em diversas operações agrícolas, de forma simplificada.

Baio e Santos (2011) desenvolveram um programa computacional para seleção de máquinas agrícolas, denominado *Select*. O objetivo do programa é minimizar os possíveis erros nos cálculos de capacidade de campo operacional e seus custos. Para o desenvolvimento do programa, os autores basearam-se nas metodologias de Mialhe (1974), Harrigan e Hotz (1994), Hunt (1995), ASAE (1998), Hanna (2002), Baio et al. (2004). O uso do programa segue seis etapas: 1) cadastro das características da propriedade, custos financeiros e de insumos; 2) cadastro da frota; 3) cadastro das operações mecanizadas conforme o tipo da cultura; 4) associação das operações mecanizadas com a frota; 5) simulações e 6) relatórios. O programa visou três tipos de usuários, o gerente agrícola, o consultor técnico em vendas e acadêmicos em ciências agrárias.

2.4.2 Modelos de simulação aplicados no sistema de produção agrícola da cana-de-açúcar

No caso específico da cana-de-açúcar, a modelagem da produção agrícola vem sendo aprimorada no Brasil e em outros países produtores de cana, embora o uso de modernas ferramentas de gestão não seja suficiente para garantir o sucesso do empreendimento, pois também deve-se atentar para o sistema de previsão de rendimentos e a acuidade na formação de cenários, todavia, a utilização conjunta desses recursos tende a fornecer melhores alternativas para a condução de uma empresa produtora de cana (BEAUCLAIR, 2004).

Hahn (1994) utilizou um software de simulação para a operação de transporte de cana-de-açúcar para a Usina, o software denomina-se SISTEC (Simulador do Sistema de Transporte de Cana), implementado em Turbo Pascal, utilizando-se do pacote de simulação SIMAO, que desenvolvido na Inglaterra, e aperfeiçoado no IMECC (Instituto de Matemática Estatística e Ciências da Computação) da Universidade Estadual de Campinas. O SISTEC é uma ferramenta de análise do sistema de transporte de cana no período de um dia, que teve

como objetivo minimizar o número de sistemas mecanizados em operação por meio da previsão do desempenho do sistema para diversas configurações da Usina, dos pontos de colheita. O simulador possui uma interface com usuário por meio de menus e possui saída gráfica dos principais parâmetros de interesse. O modelo apresenta com alguns dados de saída, a quantidade de cana transportada de cada frente durante o dia, tempo perdido pelos caminhões nas filas de cada frente de corte e na Usina, tempo ocioso no sistema, e tempo durante a Usina permaneceu sem cana para moagem

Marenha et al. (1995) desenvolveram um modelo de simulação para análise do fluxo de cana em uma usina, simulando dinamicamente os efeitos das variáveis de entrada e os parâmetros de desempenho como o tempo médio de espera e o tamanho da fila. O modelo teve como um dos propósitos apresentar a eficiência do fluxo de material na usina.

Iannoni e Morabito (2002) analisaram o desempenho do sistema de recepção da cana na Usina São Martinho, localizada na região de Ribeirão Preto, SP, da balança até as moendas. O modelo construído foi de simulação discreta, utilizando o Arena®. Nesse modelo o sistema de recepção de cana na usina é considerado um sistema fechado. Os dados coletados na usina referem-se ao tipo de cana, tipo de caminhão, número de caminhão, à carga transportada por cada caminhão, à origem da cana (própria ou de terceiros) e aos instantes de entrada e saída de cada caminhão do sistema de recepção de cana. Os dados foram analisados pelo software estatístico *Best-Fit*. O modelo foi validado e construído cenários alternativos para a análise.

Marques, Serra e Marques (2005) desenvolveram um algoritmo para a implantação convencional de lavouras canavieiras, procurando-se desenvolver um programa para a otimização da implantação de canaviais, de modo racional e econômico, com as variáveis da necessidade de fornecimento contínuo e homogêneo, da matéria-prima para a indústria e, também, a grande diversidade de produtividade nos cortes, para cultivares diferentes e variados números de cortes em áreas e situações diferentes. Utilizou-se o programa Borland Delphi, para desenvolver a programação lógica e, para o dimensionamento da área a ser plantada anualmente. O modelo pode simular diferentes tipos de plantio para diferentes cultivares de cana-de-açúcar. O programa pode ser ampliado e englobar um banco de dados com as unidades agrícolas de uma usina, setores, talhões e cultivares plantados para otimizar a lucratividade e manter um fornecimento de matéria-prima homogêneo para a indústria.

Rangel et al. (2008) desenvolveram um modelo de simulação para avaliar a relação do custo do frete no corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar em uma usina sucroalcooleira em uma região do estado do Rio de Janeiro com a distância do fornecedor de

cana-de-açúcar até a usina. A usina de estudo é a COAGRO (Cooperativa Agroindustrial do Estado do Rio de Janeiro). Foram analisados 3325 (três mil e trezentos e vinte e cinco) fundos agrícolas fornecedores da usina COAGRO, distribuídos na distância de 80 km. O modelo desenvolvido baseou-se na metodologia de Freitas Filho (2008) e Sargent (2007). O modelo de simulação computacional foi desenvolvido na linguagem Arena® versão 12. Os resultados foram validados em referências e informações em usinas locais permitindo determinar o impacto do frete nos custos operacionais direto do corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar.

Mundim (2009) desenvolveu uma ferramenta computacional em simulação estocástica, que permitisse representar o despacho de caminhões para o transporte de cana-de-açúcar pelo método de despacho estático e dinâmico, também comparou duas formas de análise para a administração da frota de caminhões na usina, em que uma utilizou-se a adoção de desengate de composições na usina e outra com a descarga direta das composições de carga conforme utilizadas na lavoura. O sistema limitou-se as operações de colheita e transporte de cana-de-açúcar picada desde as áreas de produção até a mesa receptora de matéria-prima na usina, envolvendo sistemas mecanizados de colheita, de transbordo e composições rodoviárias. Os dados foram coletados em uma usina do Estado de São Paulo, e foram processados para obter as distribuições estatísticas que representam cada processo, utilizando-se o software *Input Analyzer*, distribuído com o software Arena®.

O Grupo Cosan, empresa que atua no setor da cana-de-açúcar, em sua área de Logística Agrícola, utiliza o software SIMIO, que é uma ferramenta de simulação de processos, da Paragon Tecnologia, consultoria especializada em modelos matemáticos para apoio a tomada de decisão, para o projeto de operação de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar. O objetivo é simular as operações de todos os equipamentos destinados ao corte, carregamento e transporte da cana-de-açúcar, os objetivos do modelo foram dimensionar a frota de transporte rodoviário da lavoura a usina, avaliar a capacidade real de recepção de cana-de-açúcar da usina e identificar gargalos e pontos passíveis de melhoria no fluxo de operações CCT. O software a princípio foi testado e utilizado em uma unidade, com pretensões de se estender para as demais unidades produtoras do grupo (CARDONA, 2010).

Carreira (2010) desenvolveu um modelo para analisar o desempenho operacional, econômico e energético do transporte de cana-de-açúcar, da operação de colheita mecanizada (corte, carregamento e transporte) até a usina, dessa forma mensurar o tempo, os custos e a questão energética da operação, sendo os dados para a entrada das variáveis baseados em dados coletados em uma usina e de dados bibliográficos, o modelo foi verificado quanto a

erros e inseridos três cenários (A-(situação média); B-(situação ótima); C-(situação ruim) para a simulação, em que as variáveis simuladas foram velocidade média estrada, tempo de carregamento, tempo de descarregamento, carga líquida transportada e consumo de combustível.

Santos (2011) construiu um modelo para analisar o desempenho operacional e econômico do processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. O modelo foi elaborado em planilha eletrônica e em linguagem de programação *Visual Basic*, o modelo denominou-se *Colhecana*, o modelo foi verificado e validado, e com isso pode-se afirmar que o modelo permite ser aplicado para simular o processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Como uma das conclusões observadas é que as variáveis que tiveram maior impacto para o sistema de colheita foram a eficiência de campo e o valor inicial das máquinas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para atender ao objetivo do trabalho de avaliar o desempenho operacional e econômico do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, desenvolveu-se um modelo computacional em planilha eletrônica. O modelo foi desenvolvido, verificado, validado e empregado para análise de cenários.

3.1 Caracterização do sistema de plantio

A figura 3 ilustra o esquema do ciclo operacional do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar e sua delimitação de abrangência empregada na análise.

Figura 3 - Ciclo operacional do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar abrangendo o transporte de mudas e o plantio. PAB- Ponto de abastecimento de mudas de cana-de-açúcar

O conjunto mecanizado de plantio é composto de trator e plantadora (1)*, doravante denominado de conjunto de plantio. No presente caso, considera-se somente o plantio mecanizado utilizando mudas (rebolos). O conjunto realiza o plantio de mudas no talhão (2), de acordo com as recomendações agrônômicas da Usina, espaçamento entre fileiras (m) e quantidade de mudas no sulco (kg m^{-1}).

* Os números entre parênteses correspondem às etapas apresentadas na Figura 3.

O processo de plantio mecanizado envolve simultaneamente a sulcação, a aplicação de fertilizante, a distribuição das mudas nos sulcos, a aplicação de defensivos e a cobertura. A plantadora é abastecida de mudas pelo conjunto mecanizado composto por um trator e carreta(s) (3), conjunto esse aqui denominado de transbordo. O transbordo desloca-se do ponto de abastecimento de mudas (4) até o talhão, local onde ocorre o abastecimento do conjunto de plantio, e retorna vazio, ao ponto de abastecimento, para iniciar um novo ciclo. As mudas utilizadas no plantio são oriundas de viveiros. As operações referentes a colheita e transporte de mudas para o ponto de abastecimento não foram consideradas neste trabalho.

3.2 Desempenho operacional

Os cálculos do desempenho operacional do conjunto de plantio e do transbordo foram baseados nas metodologias propostas por Mialhe (1974), Milan (2004) e Ripoli et al. (2007). As metodologias foram empregadas para calcular o número de conjuntos de plantio e transbordos, número este necessário para atender a uma determinada área.

3.2.1 Número de plantadoras

O cálculo do número de conjunto de plantio (N_{cp}) é realizado de acordo com a equação (1).

$$N_{cp} = \frac{Ro}{C_{cop}} \quad (1)$$

Em que:

N_{cp} = Número de conjuntos de plantio;

Ro = Ritmo operacional ($ha\ h^{-1}$);

C_{cop} = Capacidade de campo operacional da plantadora ($ha\ h^{-1}$).

3.2.2 Ritmo operacional

O ritmo operacional (Ro) é a razão entre a quantidade de trabalho (área) a ser realizada e o tempo disponível para a operação, sendo determinado conforme a equação (2).

$$Ro = \frac{A_{pl}}{T_d} \quad (2)$$

Em que:

Ro = Ritmo operacional ($ha\ h^{-1}$);

A_{pl} = Área total de plantio (ha).

T_d = Tempo disponível para operação (h).

O tempo disponível (Td) para a operação depende da época de plantio da cana-de-açúcar, do número de domingos e feriados, do número de dias úteis impróprios, jornada de trabalho e eficiência gerencial. O tempo disponível é calculado de acordo com a equação (3).

$$Td = \{ [Ndp - (Ndf + Ndui)] * (Jt * Efg) \} \quad (3)$$

Em que:

Td = Tempo disponível para operação (h);

Ndp = Número de dias de plantio;

Ndf =Número de domingos e feriados no período da operação;

$Ndui$ = Número de dias úteis impróprios;

Jt = Jornada de trabalho (h dia⁻¹);

Efg = Eficiência gerencial, em decimal.

O número de dias de plantio refere-se ao total de dias previstos pela gerência. O número de dias úteis impróprios refere-se aos dias em que o conjunto mecanizado não opera por problemas climáticos e de solo. A eficiência gerencial considera as perdas decorrentes de problemas administrativos.

3.2.3 Capacidade de campo operacional da plantadora

A capacidade de campo operacional ($Ccop$) da plantadora é calculada de acordo com a equação (4).

$$Ccop = Cce * Efop \quad (4)$$

Em que:

$Ccop$ = Capacidade de campo operacional da plantadora (ha h⁻¹);

Cce = Capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹);

$Efop$ = Eficiência operacional da plantadora, em decimal.

No cálculo da capacidade de campo operacional a eficiência operacional da plantadora refere-se ao tempo gasto nas manobras de cabeceira, pequenos ajustes e paradas relativas ao conjunto de plantio. A capacidade de campo efetiva (Cce) é definida de acordo com a equação (5).

$$Cce = \left(\frac{1}{Tprt} \right) \quad (5)$$

Em que:

Cce = Capacidade de campo efetiva ($ha\ h^{-1}$);

$Tprt$ = Tempo de produção total para um hectare ($h\ ha^{-1}$).

O tempo de produção total ($Tprt$) é o tempo despendido para plantar uma área equivalente a um hectare, considerando-se o tempo necessário para o abastecimento da plantadora na área. O $Tprt$ é calculado conforme a equação (6).

$$Tprt = \left(\frac{10}{Lmp * Vop} \right) + Ttab \quad (6)$$

Em que:

$Tprt$ = Tempo de produção total para um hectare ($h\ ha^{-1}$);

Lmp = Largura de trabalho da plantadora (m);

Vop =Velocidade média da operação ($km\ h^{-1}$);

$Ttab$ = Tempo total de abastecimento, que é o tempo gasto com abastecimento da plantadora em um hectare ($h\ ha^{-1}$).

10= Fator de conversão.

A largura de trabalho da plantadora (Lmp) é calculada com base no espaçamento da cultura e número de linhas da plantadora. O tempo total de abastecimento ($Ttab$) é o tempo gasto com o abastecimento de mudas em um hectare, calculado de acordo com a equação (7).

$$Ttab = Nab * Tab \quad (7)$$

Em que:

$Ttab$ = Tempo total de abastecimento ($h\ ha^{-1}$);

Nab = Número de abastecimentos por hectare ;

Tab = Tempo de um abastecimento, fornecido como dado de entrada (h).

O número de abastecimentos representa a quantidade de abastecimento de mudas efetuada na plantadora por hectare, equação (8).

$$Nab = \frac{Cma}{Ccp} \quad (8)$$

Em que:

Cma = Consumo de mudas por hectare ($t\ ha^{-1}$);

Ccp = Carga total da plantadora (t).

O consumo de mudas por hectare (Cma) é calculado de acordo com a equação (9).

$$Cma = \left(\frac{10}{Esp} \right) * Qm \quad (9)$$

Em que:

Cma = Consumo de muda área ($t\ ha^{-1}$);

Esp = Espaçamento do plantio (m);

Qm = Quantidade de mudas ($kg\ m^{-1}$).

3.2.4 Consumo de mudas no plantio

Com base no consumo de mudas por área (Cma) é possível determinar o consumo total de mudas (Ctm), equação (10).

$$Ctm = Cma * Apl \quad (10)$$

Em que:

Ctm = Consumo total de mudas na operação de plantio (t).

3.2.5 Capacidade de produção operacional da plantadora

A capacidade de produção operacional da plantadora (Cpp) é determinada conforme a equação (11).

$$Cpp = Ccop * Cma \quad (11)$$

Cpp = Capacidade de produção operacional da plantadora ($t\ h^{-1}$).

3.2.6 Número de transbordos

A quantidade de transbordos necessária para atender a plantadora é calculada por meio da equação (12).

$$Nctr = \frac{Cpp}{Cttr} \quad (12)$$

Em que:

$Nctr$ = Número de conjunto de transbordos;

$Cttr$ = Capacidade operacional de transporte do transbordo ($t\ h^{-1}$).

A capacidade operacional de transporte do transbordo ($Cttr$) é calculada de acordo com a equação (13).

$$Cttr = \left(\frac{Cctr}{Tcltr} \right) * Efotr \quad (13)$$

Em que:

$Cttr$ = Capacidade operacional de transporte do transbordo ($t\ h^{-1}$);

$Cctr$ = Capacidade total de carga do transbordo (t);

T_{cltr} = Tempo de ciclo do transbordo (h);

E_{fotr} = Eficiência operacional do transbordo, em decimal.

O tempo de ciclo do transbordo (T_{cltr}) é a somatória dos tempos de carregamento e descarregamento das mudas, e o tempo de deslocamento de ciclo, equação (14).

$$T_{cltr} = \frac{(T_{car} + T_{dcl} + T_{desc})}{60} \quad (14)$$

Em que:

T_{cltr} = Tempo de ciclo do transbordo (h);

T_{car} = Tempo de carregamento de mudas (min.);

T_{dcl} = Tempo de deslocamento do ciclo (min.);

T_{desc} = Tempo de descarregamento de mudas (min.);

60= Fator de conversão .

O tempo de deslocamento de ciclo é calculado por meio da equação (15).

$$T_{dcl} = \left(\frac{D_{cl}}{V_{op}} \right) * 60 \quad (15)$$

Em que:

T_{dcl} = Tempo de deslocamento de ciclo do transbordo (min.);

D_{cl} = Distância de ciclo (ida ao talhão de plantio, volta ao ponto de carregamento e retorno ao talhão de plantio) (km);

V_{op} = Velocidade média operacional no ciclo (km h⁻¹).

3.3 Desempenho econômico

Os cálculos referentes ao desempenho econômico do conjunto de plantio e do transbordo são baseados nas metodologias propostas por ASABE (2011), Banchi, Lopes e Zago (2008), Molin e Milan (2002) e Tachibana (2000).

3.3.1 Custo operacional do conjunto de plantio

O custo operacional do conjunto de plantio (C_{opcp}) é determinado conforme a equação (16).

$$C_{opcp} = \frac{Ch_{cp}}{C_{cop}} \quad (16)$$

Em que:

C_{opcp} = Custo operacional do conjunto de plantio (R\$ ha⁻¹);

Ch_{cp} = Custo horário do conjunto de plantio (R\$ h⁻¹).

3.3.2 Custo horário do conjunto de plantio

O custo horário do conjunto de plantio ($Chcp$) é fornecido pela equação 17.

$$Chcp = Cht + Chp \quad (17)$$

Em que:

$Chcp$ = Custo horário do conjunto de plantio (R\$ h⁻¹);

Chp = Custo horário do trator (R\$ h⁻¹);

Chp = Custo horário da plantadora (R\$ h⁻¹).

3.3.2.1 Custo horário do trator

O custo horário do trator (Chp) é calculado de acordo com a equação 18.

$$Chp = Cfht + Cvt \quad (18)$$

Em que:

Chp = Custo horário do trator (R\$ h⁻¹);

$Cfht$ = Custo fixo horário do trator (R\$ h⁻¹);

Cvt = Custo variável do trator (R\$ h⁻¹).

O custo fixo horário do trator ($Cfht$) é calculado de acordo com a equação 19.

$$Cfht = \left\{ \frac{Vi * \left[\left(\frac{1-Vf}{Vua} \right) + \left(\frac{1+Vf}{2} \right) * i + (Fast) \right]}{Nhpa} \right\} \quad (19)$$

Em que:

$Cfht$ = Custo fixo horário do trator (R\$ h⁻¹);

Vi = Valor inicial de aquisição (R\$);

Vf = Valor final em decimal;

Vua =Vida útil em anos;

i = Taxa de juros, em decimal;

$Fast$ = Fator de alojamento, seguro e taxas, em decimal.

$Nhpa$ = Número de horas trabalhadas pelo trator por ano (h).

O número de horas trabalhadas pelo trator por ano ($Nhpa$) é determinado por meio da equação (20).

$$Nhpa = \frac{Vuh}{Vua} \quad (20)$$

Em que:

$Nhta$ = Número de horas trabalhadas pelo trator por ano (h);

Vuh = Vida útil em horas (h).

O custo variável do trator (Cvt) é a somatória do custo referente ao custo do combustível do trator ($Ccbt$) e de reparos e manutenção ($Crmt$), equação (21).

$$Cvt = Ccbt + Crmt \quad (21)$$

Em que:

Cvt = Custo variável do trator (R\$ h⁻¹).

$Ccbt$ = Custo do consumo de combustível do trator (R\$ h⁻¹);

$Crmt$ = Custo com reparos e manutenção do trator (R\$ h⁻¹).

Para a estimativa do custo com combustível do trator ($Ccbt$) é utilizado a equação proposta por Tachibana (2000). Essa equação utiliza a razão entre a potência requerida pela plantadora e a potência disponível no motor do trator, aqui denominada de razão de potência.

$$Ccbt = \{ [0,728(x)^2] - [1,2109(x)] + 0,8054 \} * [(Pm) * 0,83] * Pc \quad (22)$$

Em que:

$Ccbt$ = Custo do consumo de combustível (R\$ h⁻¹);

x = razão de potência, em decimal;

Pm = Potência no motor do trator (kW);

Pc = Preço do combustível (R\$ L⁻¹).

O custo com reparo e manutenção do trator ($Crmt$) é calculado por meio da equação (23) proposta por Banchi, Lopes e Zago (2008). Para cada faixa de potência do trator utiliza-se os coeficientes (a e b), tabela 01.

$$Crmt = ax + b \quad (23)$$

Em que:

$Crmt$ = Custo de reparo e manutenção do trator (R\$ h⁻¹);

x =horas de uso das máquinas (h).

Tabela 1 - Custo com reparos e manutenção, conforme faixa de potência do trator

Grupo	Faixa de potência kW	Termo “a”	Termo “b”
II	41 a 51	0,00009	1,48484
III	52 a 58	0,00012	2,77270
IV	59 a 70	0,00069	3,32266
V	71 a 85	0,00074	4,14400
VII	104 a 126	0,00068	4,24778
VIII	127 a 148	0,00104	4,14252
IX	>149	0,00080	6,95755

Fonte: Banchi, Lopes e Zago (2008).

3.3.2.2 Custo horário da plantadora

O custo horário da plantadora (Chp) é calculado de acordo com a equação 24.

$$Chp = Cfhp + Cvp \quad (24)$$

Em que:

Chp = Custo horário da plantadora (R\$ h⁻¹);

$Cfhp$ = Custo fixo horário da plantadora (R\$ h⁻¹);

Cvp = Custo variável da plantadora (R\$ h⁻¹).

O custo fixo horário da plantadora ($Cfhp$) é calculado de acordo com a equação (19), porém para determinar o número de horas trabalhadas por ano, realiza-se uma estimativa com base na área plantada e na capacidade de campo operacional do conjunto de plantio, equação (25).

$$Nhtp = \frac{\left(\frac{Apl}{Ccop} \right)}{Ncp} \quad (25)$$

$Nhtp$ = Número de horas trabalhadas pela plantadora durante o ano (h).

Ncp = Número de conjuntos de plantio (n).

O custo variável da plantadora refere ao custo com reparo e manutenção ($Crmp$), que utiliza a metodologia proposta pela ASABE (2011), equação (26).

$$Crmp = \frac{Frm * Vi}{Vuh} \quad (26)$$

$Crmp$ = Custo com reparo e manutenção da plantadora (R\$ h⁻¹);

Frm = Fator de reparo e manutenção, em decimal.

3.3.3 Custo do transbordo

O custo do transbordo é determinado pela equação (27).

$$Ctr = \frac{Chtr}{Cttr} \quad (27)$$

Em que:

Ctr = Custo do transbordo (R\$ t⁻¹).

$Chtr$ = Custo horário do transbordo (R\$ h⁻¹);

$Cttr$ = Capacidade operacional de transporte do transbordo (t h⁻¹).

3.3.4 Custo horário do transbordo

O custo horário do transbordo ($Chtr$) é definido pela equação (28).

$$Chtr = Cht + Chcar \quad (28)$$

$Chtr$ = Custo horário do transbordo (R\$ h⁻¹);

Ch = Custo horário do trator (R\$ h⁻¹);

$Chcar$ = Custo horário da carreta (R\$ h⁻¹).

3.3.4.1 Custo horário do trator

O cálculo referente ao custo horário do trator, o custo fixo horário do trator e o número de horas trabalhadas pelo trator, segue a metodologia utilizada no conjunto de plantio (equações 18,19 e 20).

O cálculo do custo variável do trator é composto pelo custo do combustível e o custo com reparo e manutenção, equação 29.

$$Cvtr = Ccbtr + Crmtr \quad (29)$$

Em que:

$Cvtr$ = Custo variável do trator (R\$ h⁻¹);

$Ccbtr$ = Custo com consumo de combustível do trator (R\$ h⁻¹);

$Crmtr$ = Custo com reparo e manutenção do trator (R\$ h⁻¹).

Para o cálculo do custo com consumo de combustível do trator ($Ccbtr$) é utilizado a metodologia proposta por Molin e Milan (2002), equação (30).

$$Ccbtr = Fc * Pm * Pc \quad (30)$$

Em que:

C_{cbtr} = Custo do consumo de combustível pelo trator (R\$ h⁻¹);

F_c = Fator de consumo (0,16 L (kW h⁻¹));

P_m = Potência disponível no motor (kW);

P_c = Preço do combustível (R\$ L⁻¹).

O custo com reparo e manutenção do trator (C_{rmtr}) é calculado por meio da equação (31), de acordo com a ASABE (2011).

$$C_{rmtr} = \frac{F_{rm} * V_i}{V_{uh}} \quad (31)$$

C_{rmtr} = Custo de reparo e manutenção do transbordo (R\$ h⁻¹).

3.3.4.2 Custo horário da carreta

Os respectivos cálculos dos custos da carreta seguem a mesma metodologia utilizada para o trator do transbordo. Sendo formado pelo custo horário, fixo horário, número de horas trabalhadas e o custo variável (reparos e manutenção).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para atender ao objetivo de avaliar o desempenho operacional e econômico do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar os resultados foram divididos em duas etapas. A primeira etapa referiu-se ao desenvolvimento do modelo e a segunda consistiu na aplicação de cenários com relação ao sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar. Para aplicação do modelo foi elaborado um Cenário-Base, em que se considerou uma área de plantio de 5.000 hectares. O período de plantio, considerado para a região Centro-Sul, foi de janeiro a abril e o espaçamento utilizado entre fileiras de 1,50 m. O plantio foi realizado por uma plantadora de duas linhas, com capacidade de carga de 6 toneladas, no valor de R\$ 230.000,00 (duzentos e trinta mil reais). A plantadora é tracionada por um trator 4x2 TDA com potência de 135 kW (180 cv) no motor, no valor de R\$ 257.000,00 (duzentos e cinquenta e sete mil reais). Para o abastecimento da plantadora com mudas, foi utilizado um transbordo composto por duas carretas, com capacidade unitária de carga de 6 toneladas, totalizando 12 toneladas, no valor total de R\$ 100.000, 00 (cem mil reais). O mesmo modelo de trator empregado na plantadora foi utilizado para tracionar o transbordo. Os dados de entrada referentes ao Cenário-Base encontram-se no Anexo A.

4.1 Desenvolvimento do modelo

O modelo foi construído em planilha eletrônica, *Excel*®. Por meio do ciclo operacional do plantio mecanizado de cana-de-açúcar, apresentado anteriormente na Figura 3, foi desenvolvido o fluxograma, Figura 4, utilizado como base para o desenvolvimento do modelo. A simbologia utilizada no fluxograma refere-se à proposta de Oakland (2007).

Figura 4 - Fluxograma do modelo

De acordo com a Figura 4, o modelo inicia-se (1)* com a inserção dos dados de entrada pelo usuário, dados esses divididos em categorias: Agronomia (2), Gestão (3), Máquinas (4), Operacional (5) e Econômico (7). Os dados de entrada em Agronomia (2) referem-se à área a ser plantada, ao número de dias de plantio, domingos e feriados e dias úteis impróprios. Os dias úteis impróprios são baseados em uma estimativa percentual do número de dias úmidos. Os dados de entrada na categoria Gestão (3) são compostos pela jornada de trabalho (h dia^{-1}) e a eficiência gerencial. Com os dados de entrada referentes às categorias Agronomia (2) e Gestão (3) é possível determinar o tempo disponível para a operação (h) que associado com a área a ser plantada determina o ritmo operacional (ha h^{-1}). Posteriormente, o usuário entra com os dados das principais características técnicas das Máquinas (4) que serão utilizadas na operação: potência disponível no motor do trator (kW); potência requerida no motor do trator pela plantadora (kW); número de linhas da plantadora; capacidade de carga (t) e velocidade operacional da plantadora (km h^{-1}); número de carretas ;

* Os números entre parênteses referem-se ao Fluxograma da Figura 4.

capacidade de carga do transbordo (t); velocidade de deslocamento do transbordo (km h^{-1}). Na categoria Operacional (5), os dados referem-se a: eficiência operacional; tempo de abastecimento da plantadora (min.); tempo de carregamento e descarregamento do transbordo (min.); a distância de ciclo do transbordo (km) (ida ao talhão de plantio e retorno ao ponto de abastecimento de mudas). Com os dados fornecidos nas categorias Agronomia (2), Gestão (3), Máquinas (4) e Operacional (5), calcula-se o desempenho operacional (6): o tempo de produção da plantadora (h ha^{-1}); o tempo total de abastecimento da plantadora (h ha^{-1}); o número de abastecimentos por hectare pela plantadora (n); o tempo de deslocamento de ciclo do transbordo (min.); a capacidade efetiva (ha h^{-1}), operacional (ha h^{-1}), e de produção da plantadora (t h^{-1}); a capacidade de transporte do transbordo (t h^{-1}); o número de conjuntos (n); o consumo de mudas por hectare (t ha^{-1}); o consumo de mudas necessária para a operação (t). Com base nos resultados do desempenho operacional associados aos dados econômicos (7) calcula-se o desempenho econômico (8). Os dados referem-se a: valor inicial (R\$) e final (decimal) das máquinas; vida útil em anos e horas (h); juro anual, em decimal; fator de alojamento, seguro e taxas, em decimal; fator de reparo e manutenção, em decimal; fator de consumo de combustível para o transbordo ($\text{L kW}^{-1} \text{ h}^{-1}$); preço do combustível ($\text{R\$ L}^{-1}$); preço das mudas ($\text{R\$ t}^{-1}$). As variáveis de saída em termos de desempenho econômico (8) referem-se aos custos: fixo anual ($\text{R\$ ano}^{-1}$) e horário ($\text{R\$ h}^{-1}$); do combustível ($\text{R\$ h}^{-1}$); do reparo e manutenção ($\text{R\$ h}^{-1}$); variável ($\text{R\$ h}^{-1}$); dos conjuntos mecanizados ($\text{R\$ h}^{-1}$); operacional do conjunto de plantio ($\text{R\$ ha}^{-1}$); do transporte pelo transbordo ($\text{R\$ t}^{-1}$); das mudas na operação (R\$). Calculado o desempenho operacional (6) e econômico (8) o modelo exibirá os resultados (9). O usuário verifica e analisa os resultados encontrados, optando (10) por criar novos cenários, inserindo novos dados de entrada nas categorias (2) (3) (4) (5) (7), ou por finalizar o modelo (11).

4.1.1 Verificação do modelo

A verificação ocorreu ao longo do desenvolvimento do modelo, analisando-se a rotina por meio de simulações para averiguar possíveis erros de lógica. Constatou-se que a rotina está correta e permite realizar simulações de cenários.

4.1.2 Validação do modelo

Os dados referentes à operação do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar são escassos e uma das principais razões é que o plantio mecanizado está em processo inicial no Brasil, em graus diferentes em cada Estado produtor. Dessa forma, o modelo foi validado

por meio de duas variáveis resultantes do sistema: o consumo de combustível (Figura 5); o custo operacional do conjunto de plantio, Figura 6. Os dados para se estabelecer as comparações foram obtidos de referências bibliográficas.

Figura 5 - Consumo de combustível do conjunto de plantio de cana-de-açúcar: CB- Cenário- Base; A -Ripoli et al. (2007); B- Ripoli et al. (2007); C- Ripoli et al. (2007)

Na figura 5, o consumo de combustível para o Cenário-Base foi de $33,9 \text{ L h}^{-1}$ o que está de acordo com os resultados Ripoli et al. (2007) em ensaio de campo com plantadoras. Os autores encontraram valores de $38,1 \text{ L h}^{-1}$, utilizando o trator MF 6360 e a plantadora *Santal PCP 2, de $39,4 \text{ L h}^{-1}$, utilizando o trator MF 6360 e a plantadora DMB PCP 5000, e de $40,4 \text{ L h}^{-1}$, utilizando trator MF 6360 e a plantadora Civemasa PCSA-2L. Em relação ao Cenário-Base, esses valores são superiores a 12,3 %, 16,2% e 19,1%, respectivamente.

Quanto ao custo operacional do conjunto de plantio, diversos autores apresentaram diferentes resultados, figura 6.

* A citação das marcas não significa a recomendação pelo autor.

Figura 6 - Custo operacional (Cop) do conjunto de plantio no sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar (R\$ ha⁻¹): CB- Cenário-Base; A- Ripoli et al. (2007); B- Ripoli et al. (2007) ; C-Ripoli et al. (2007); B - Garcia (2008)

Na figura 6, o Cenário-Base do modelo apresenta um custo operacional de 172,76 R\$ ha⁻¹ para o conjunto de plantio, enquanto que Ripoli et al. (2007) encontraram respectivamente valores de 95,70 R\$ ha⁻¹(A), 77, 60 R\$ ha⁻¹ (B) e 99,10 R\$ ha⁻¹(C), e Garcia (2008) um valor de 121,00 R\$ ha⁻¹(D). As diferenças entre os valores do Cenário-Base e os encontrados na bibliografia podem ser atribuídas ao período de realização de ensaios (2005), às diferentes metodologias de cálculo empregadas, aos dados de entrada, tais como, o tamanho de área, vida útil considerada, preço das máquinas e combustível, custo de reparos e manutenção, dentre outros. Em relação ao Cenário-Base os valores apresentados na bibliografia (A, B, C, D) são inferiores em 44,6%, 55,0%, 42,6% e 29,9%, respectivamente. Entretanto não é possível afirmar que essas diferenças sejam significativas, pois são cenários, dados e metodologias distintas.

4.2 Cenário- Base (CB)

Os principais resultados do Cenário-Base são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Principais resultados do Cenário-Base

				Dados de saída			
Item	Variáveis	Sigla	Unidade	Trator	Plantadora	Trator	Transbordo
Resultados	Desempenho Operacional	Tempo disponível	Td h	1.209,60			
		Ritmo operacional	Ro ha h ⁻¹	4,13			
		Largura de trabalho	Lmp m	3,00			
		Tempo ciclo	Tcl h	1,08		0,45	
		Cap.campo efetiva	Cce ha h ⁻¹	1,21			
		Cap.campo operacional	Ccop ha h ⁻¹	0,85			
		Cap.prod.op.plantadora	Cpp t h ⁻¹	9,65			
		Cap.op.transporte	Cttr t h ⁻¹			18,67	
		Número de conjuntos	Nc n	5		5	
		Cons.mudas área	Cma t ha ⁻¹	11,33			
		Cons. mudas total	Ctm t	56.667,0			
	Desempenho Econômico	Número horas trab.	Nht h	2.000,0	1.174,6	2.000,0	2.000,0
		Depreciação	Dp R\$ ano ⁻¹	17.990,00	18.400,00	17.990,00	8.000,00
			R\$ h ⁻¹	9,00	15,66	9,00	4,00
		Juros	i R\$ ano ⁻¹	10.858,00	8.970,00	10.858,00	3.900,00
			R\$ h ⁻¹	5,43	7,64	5,43	1,95
		Aloj.seg. e taxas	Ast R\$ ano ⁻¹	5.140,00	4.600,00	5.140,00	2.000,00
			R\$ h ⁻¹	2,57	3,92	2,57	1,00
		Custo fixo anual	Cfa R\$ ano ⁻¹	33.988,25	31.970,00	33.988,25	13.900,00
		Custo fixo horário	Cfh R\$ h ⁻¹	16,99	27,22	16,99	6,95
		Cons.Comb.	Cb L h ⁻¹	33,91		21,60	
		Custo cons.comb.	Ccb R\$ h ⁻¹	68,73		43,78	
		Custo rep.man.	Crm R\$ ano ⁻¹	49.885,04	10.806,35	49.885,04	8.000,00
			R\$ h ⁻¹	24,94	9,20	24,94	4,00
		Custo variável	Cv R\$ h ⁻¹	93,67	9,20	68,73	4,00
			R\$ h ⁻¹	102,87		72,73	
		Custo horário	Ch R\$ h ⁻¹	110,66	36,42	85,72	10,95
		Custo transporte	Ctr R\$ t ⁻¹			5,18	
		Custo operacional	Copep R\$ ha ⁻¹	172,76			
		Custo total da operação	Ctop R\$	863.817,73		293.462,03	

Os resultados apresentados na tabela 2 revelam que para as condições apresentadas, o tempo disponível na operação foi de 1.209,60 horas, a um ritmo operacional de 4,13 ha h⁻¹. A capacidade de campo efetiva e operacional da plantadora foi de 1,21 ha h⁻¹ e 0,85 ha h⁻¹

respectivamente, resultando em $9,65 \text{ t h}^{-1}$ de muda plantada. A capacidade de transporte do transbordo foi de $18,67 \text{ t h}^{-1}$. Nesse cenário, o dimensionamento do número de conjunto mecanizado necessário foi de cinco plantadoras e cinco de transbordos. O número de horas trabalhadas estimado para a plantadora foi de 1.174,60 horas, o custo operacional do conjunto de plantio foi de R\$ 172,76 para a área de 5.000 ha e o custo do transporte do transbordo de $5,18 \text{ R\$ t}^{-1}$. Na Figura 7 apresenta-se a distribuição dos custos para o Cenário-Base.

Figura 7 - Distribuição dos custos (%) para o Cenário-Base (CB): 7a – Conjunto de plantio e transbordo; 7b- Conjunto de plantio; 7c-Transbordo; DPA-(Depreciação anual); JRA-(Juro anual); ASTA-(Alojamento seguro e taxa anual); CRM-(Custo com reparo e manutenção anual); CCB-(Custo com combustível anual).

Na figura 7 observa-se que o conjunto de plantio representou 57,74% dos custos totais e o transbordo de 42,26%. Para o conjunto de plantio (7b) as variáveis mais impactantes foram o custo de combustível (52,0%), seguido do custo com reparos e manutenção (22,9%) e o custo fixo representou 24,8%. A distribuição dos custos no transbordo (7c) também apresentou as mesmas variáveis impactantes: custo de combustível (45,2%); custo com

reparos e manutenção (29,9%). O custo variável do transbordo representou 75,1% dos custos e o fixo 24,6%.

4.3 Análise de sensibilidade

Para observar o impacto das variáveis no custo operacional do conjunto de plantio foi realizado uma análise de sensibilidade. Alterou-se em 10% os valores de entrada das seguintes variáveis, verificando-se o impacto no aumento do custo operacional: eficiência operacional (A); velocidade operacional (B); capacidade de carga (C); juro anual (D); valor final (E); vida útil horas (F) e consumo de combustível (G).

Nessa situação proposta foi observado que as variáveis que tiveram maiores impactos foram a capacidade de carga (C) com acréscimo de 16,92 % sobre o valor do custo operacional, em seguida, a velocidade operacional (B), com 9,82% e o consumo de combustível (G), 4,68%. As demais foram: eficiência operacional (A) 3,70%; juros (D) 0,68%; valor final (E) 0,65% e vida útil horas (F) 0,39%, Figura 8.

Figura 8 - Análise de sensibilidade para o conjunto de plantio, sendo A-eficiência operacional; B- velocidade operacional; C-capacidade de carga; D-juro anual; E-valor final ; F- vida útil horas; G-consumo de combustível

O comportamento das variáveis analisadas mostra a influência no custo operacional no sistema. Esses resultados apresentados revelam a importância em se conhecer as relações e as inter-relações que as variáveis podem causar nos custos. O conhecimento dessas relações permite criar estratégias para minimizar os custos.

4.4 Cenários

Os cenários propostos referem-se a análise da influência das variáveis no desempenho operacional e econômico do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar. Os resultados envolvem a análise do conjunto de plantio (trator+plantadora), da plantadora somente e do transbordo (trator+carroceria).

4.4.1 Plantio

O tamanho da área de plantio é uma das variáveis que se relaciona diretamente com o dimensionamento de máquinas necessárias para atender uma determinada área e com o consumo de mudas e os custos operacionais. Nesse intuito foi realizado um cenário que envolveu o custo operacional e o tamanho da área plantada e consequentemente, a necessidade de número de plantadoras, Figura 9.

Figura 9 -Custo operacional (Cop) da plantadora conforme o tamanho da área plantada

Na figura 9 observa-se que a área máxima que uma plantadora consegue atender, nas condições especificadas, foi de 1.029 hectares, a um custo operacional de 41,88 R\$ ha⁻¹. No Cenário-Base considerou-se que para cada plantadora seria necessário um transbordo, conforme a relação das características da plantadora, do transbordo e do tempo de ciclo

envolvido na situação proposta. A entrada de uma nova plantadora ocorreu em 1.030 hectares, a um custo operacional de 72,88 R\$ ha⁻¹, um aumento de 74,2% em relação ao anterior. Esse aumento do custo operacional ocorreu devido ao menor número de horas trabalhadas, em decorrência da entrada de um novo conjunto. Com 1.029 ha foi necessário uma plantadora que opera 1.209,16 horas. Com o aumento da área para 1.030 ha torna-se necessário a entrada de uma nova plantadora, e o número de horas é dividido entre as duas máquinas, sendo que nesse caso, cada plantadora trabalha 605,17 horas. Esse fato, ocasiona um aumento no custo fixo. No Cenário-Base analisado foram necessárias 5 plantadoras para atender uma área de 5.000 hectares, a um custo operacional de 42,78 R\$ ha⁻¹, e 5 transbordos.

A figura 10 mostra o número de horas trabalhadas para um conjunto de plantio, que influencia o custo anual. O custo fixo anual não apresenta variação, mas o variável sim, em decorrência da alteração do número de horas trabalhadas pela máquina.

Figura 10 - Custo fixo anual (Cfa) e Custo variável (Cv) de um conjunto de plantio em função do número de horas trabalhadas

A figura 11 mostra a relação do custo fixo horário e o custo variável no conjunto de plantio, em relação ao número de horas trabalhadas pela máquina. Os resultados apresentados mostram que o custo variável manteve-se inalterado enquanto que o custo fixo horário diminuiu na medida em que aumentou o número de horas trabalhadas.

Figura 11 - Custo fixo horário (Cfh) e Custo variável (Cv) do conjunto de plantio em função do número de horas trabalhadas

Na figura 12 a relação do custo operacional do conjunto de plantio e apenas da plantadora em função do número de horas trabalhadas foi simulado. A situação mostrou que quanto maior o número de horas trabalhadas, menores foram os custos operacionais.

Figura 12 - Custo operacional (Cop) do conjunto de plantio e da plantadora em função dos números de horas trabalhadas

4.4.1.1 Época de plantio

No Cenário-Base, a época de plantio considerada refere-se ao período de janeiro a abril, época esta em que ocorre o plantio de *cana de ano e meio* na região Centro-Sul do País. Uma outra época possível é a que ocorre entre setembro e outubro, denominada normalmente de plantio de *cana de ano*. Considerou-se para essa época, um cenário com a mesma área do Cenário-Base, 5.000 hectares, referente a um período de 61 dias com 40% de dias úmidos, jornada de trabalho de 24 horas e 70% de eficiência gerencial. Os resultados referentes ao custo operacional e número de plantadoras são apresentados na Figura 13.

Conforme se observa na figura 13, no plantio de *cana de ano* a área máxima para uma plantadora é de 523 hectares, a um custo operacional de 71,93 R\$ ha⁻¹, enquanto que para o plantio de *cana de ano e meio* (Cenário-Base) os valores foram de 1.209 ha e 41,88 R\$ ha⁻¹. Isso se deve a redução do tempo disponível, o que implica na necessidade de um número maior de conjuntos para atender a mesma área, o que reflete no custo fixo e consequentemente no custo operacional.

Figura 13 - Custo operacional (Cop) da plantadora conforme época de plantio de *cana de ano* em comparação ao plantio de *cana de ano e meio* (CB)

4.4.1.2 Eficiência operacional

A eficiência operacional expressa os tempos não aproveitados devido a manobras e pequenas regulagens ao longo da jornada de trabalho. Na Figura 14 apresenta-se a influência da eficiência operacional no custo do conjunto de plantio.

De acordo com o apresentado na figura 14, para pequenas eficiências o custo se torna proibitivo, atingindo a R\$ 1.200,00 para um valor de 10%. Logicamente esse valor de eficiência não é esperado em uma situação prática, mas ressalta a importância de se avaliar a eficiência e se for o caso avaliar formas de aumentá-la.

Figura 14 - Custo operacional (Cop) do conjunto de plantio em relação a eficiência operacional no sistema

Caso fosse possível obter uma eficiência de 100% os resultados em termos de custo operacional e número de plantadoras, seriam de acordo com os apresentados na Figura 15. Nesse caso, na situação a 100% de eficiência a área máxima que uma plantadora pode atender foi de 1.463 hectares a um custo operacional 29,45 R\$ ha⁻¹ em comparação com os 1.029 ha e 41,88 R\$ ha⁻¹ do Cenário-Base. Esse fator mostra a dificuldade em se comparar os custos para diferentes situações, conforme foi discutido no item referente à validação dos resultados. Na condição a 100% o número de plantadoras necessárias correspondeu a 4.

Figura 15 - Custo operacional (Cop) da plantadora conforme a eficiência operacional no Cenário-Base (70%) e o Ideal (100%)

4.4.1.3 Espaçamento

De acordo com Beauclair e Scarpari (2007), com a utilização de espaçamentos menores entre as fileiras, como por exemplo, de 1,40 m, a produtividade obtida tende a ser maior, mas as conseqüências do tráfego sobre a soqueira fazem com que esses espaçamentos sejam evitados, optando-se pelo espaçamento de 1,50 m. Atualmente existem os espaçamentos denominados combinados, para permitir a colheita de duas fileiras, aumentando-se assim a capacidade de produção das colhedoras. A figura 16 apresenta os resultados referentes ao custo operacional de plantio para os espaçamentos de 1,40 m, 1,50 m e o combinado 0,90 por 1,50 m. Para o espaçamento de 1,40 m um conjunto de plantio atende o máximo de 850 hectares a um custo de 208,03 R\$ ha⁻¹, enquanto que para 1,50 m, Cenário-Base, atende a 1.029 ha com custo de 171,86 R\$ ha⁻¹ e para o combinado um conjunto passa a atender 773 ha a um custo de 223,77 R\$ ha⁻¹.

Figura 16 - Custo operacional (Cop) do conjunto de plantio em função dos diferentes tipos de espaçamento para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar

4.4.1.4 Velocidade média operacional

A velocidade média de plantio é influenciada por vários fatores, desde a potência disponível no trator, às condições operacionais no momento do plantio. A avaliação dos efeitos da velocidade no custo do plantio é apresentada na Figura 17.

Na figura 17 apresentam-se os resultados de três velocidades distintas e os seus reflexos no custo operacional em função da área trabalhada. A primeira refere-se à velocidade empregada no Cenário-Base, em comparação com duas outras: uma, denominada de mínima, no valor de 2,0 km h⁻¹; outra, denominada de máxima, com valor de 8 km h⁻¹. Conforme se observa o custo operacional diminui com o aumento da velocidade, devido à maior capacidade operacional, alterando também a área por conjunto. Para 2,0 km h⁻¹ um conjunto de plantio atende 437 ha a um custo de 404,2 R\$ ha⁻¹, enquanto que para o Cenário-Base esses valores são de 1.029 ha e 171,86 R\$ ha⁻¹ e para a velocidade denominada máxima, 8,0 km h⁻¹, de 1.239 ha e 142,81 R\$ ha⁻¹, respectivamente.

Figura 17 - Custo operacional (Cop) do conjunto de plantio em função da velocidade operacional utilizada no plantio

Observou-se a influência da velocidade no número de conjuntos em função do tamanho da área, e para 5.000 hectares são necessárias 12 plantadoras na velocidade mínima de 2,0 km h⁻¹, 5 plantadoras na velocidade de 6,0 km h⁻¹ (Cenário-Base), e na máxima de 8,0 km h⁻¹, 5 plantadoras. Neste caso o aumento em 2,0 km h⁻¹ (6,0 km h⁻¹ para 8,0 km h⁻¹) não foi suficiente para reduzir o número de conjuntos para os 5.000 hectares, mas influenciou no custo operacional.

Figura 18 - Número de conjuntos (Ncp) de plantio em função da velocidade operacional utilizada no plantio

4.4.1.5 Consumo de mudas

No plantio da cana de açúcar vários insumos são empregados como, por exemplo, fertilizantes, defensivos, e as mudas. No caso das mudas, elas são preparadas em viveiros e transportadas ao local do plantio. A área necessária de viveiro é dimensionada de acordo com a necessidade de mudas no plantio mecanizado. Diversos autores apresentam valores quanto ao consumo de mudas. Robothan (2004) sugere 10 t ha^{-1} , Janini (2007) $13,2 \text{ t ha}^{-1}$, CONAB (2011) refere-se a um consumo de até 20 t ha^{-1} . Beauclair e Scarpari (2007) sugerem que o ideal para o plantio de cana é obter uma densidade ao redor de 12 gemas por metro linear de sulco o que corresponde, dependendo da variedade, de 7 a 10 toneladas por hectare. Ripoli et al. (2007) realizando ensaios com plantadoras ressaltaram que nenhuma das máquinas testadas, que se utilizam de mudas na forma rebolos, possuíam um mecanismo distribuidor de rebolos. Esses mecanismos são apenas lançadores. Os autores efetuaram a biometria das mudas para verificar as variáveis que afetam o consumo de mudas e falhas de plantio e concluíram que é necessário aprofundar os estudos para determinar a necessidade de mudas a ser plantada por hectare. Na figura 19 apresenta-se a necessidade de mudas, em toneladas, de acordo com a área e o espaçamento empregado: 1,40 metros; 1,50 m (Cenário-Base); espaçamento combinado (0,90m por 1,50 m). O consumo de mudas previsto no Cenário-Base

foi de 11,33 t ha⁻¹, de 12,14t ha⁻¹ no espaçamento de 1,40 m, e 14,16 t ha⁻¹ no espaçamento de 0,90 x 1,50 m.

Figura 19 - Consumo de mudas em relação ao tipo de espaçamento utilizado no plantio

4.4.2 Transbordo

O conjunto de transbordo realiza o abastecimento de mudas para a plantadora. O tempo de ciclo desse conjunto e conseqüentemente os custos e a necessidade de conjuntos, é influenciado pelo tempo de carregamento e descarga e pelo tempo de deslocamento referente à ida do local de abastecimento ao local da plantadora e do retorno para o novo abastecimento. Portanto, a distância do ponto de abastecimento influência no custo e na capacidade operacional conforme é apresentado na Figura 20. Para uma distância de 500 metros o custo é de 4,22 R\$ t⁻¹ transportada, com uma capacidade de transporte de 22,91 toneladas por hora e para 1.000 metros, utilizado no Cenário-Base, o custo passa a ser de 5,18 R\$ t⁻¹ e uma capacidade de transporte de 18,67 toneladas por hora. Na situação de 5.000 metros, o custo do transporte foi de 12,85 R\$ t⁻¹, com uma capacidade de 7,52 toneladas por hora.

Figura 20 - Custo do transporte (Ctr) e capacidade operacional de transporte (Cttr) em função da distância de ciclo do transbordo

Mantendo-se os mesmos tempos de carregamento e descarga e aumentando-se a velocidade de ciclo resulta em uma maior capacidade de transporte e redução nos custos, Figura 21.

Figura 21 - Custo do transporte (Ctr) e capacidade operacional de transporte (Cttr) em função da velocidade operacional do ciclo do transbordo

4.4.3 Custos da operação

Para a situação proposta do Cenário-Base e diferentes áreas, o custo do plantio, do transbordo e total pode ser visualizado na Figura 22. O plantio para a área de 5.000 hectares

teve um custo de R\$ 863.817,73 e o transbordo R\$ 293.462,03, representando respectivamente 74,65% e 25,35% do custo total da operação de plantio. O custo do plantio está diretamente relacionado com o tamanho da área de plantio, sendo que conforme aumenta a área, aumenta o custo total, enquanto que o custo do transbordo é em função do consumo de mudas na operação de plantio, em que o consumo de mudas foi linear, refletindo na relação do custo do transbordo.

Figura 22 - Custos do Cenário-Base (CB) referente aos sistemas mecanizados utilizados em função da área plantada

5 CONCLUSÕES

O modelo permitiu simular a operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar e analisar o comportamento das variáveis no sistema, mostrando os resultados do desempenho operacional e econômico do sistema, por meio da construção de um Cenário-Base e os cenários propostos.

Na composição dos custos e para as condições propostas os custos do plantio são maiores do que os do transbordo.

De acordo com as condições do sistema fica definida a área máxima que um conjunto de plantio pode atender. Essa área influencia no número de horas de trabalho e conseqüentemente no custo operacional.

Dentre as variáveis analisadas, a capacidade de carga da plantadora foi a que apresentou o maior impacto nos custos operacionais.

A eficiência operacional e a velocidade são variáveis que devem ser acompanhadas ou avaliadas devido ao potencial apresentado para a redução no custo operacional.

A distância do ciclo e a velocidade de transporte têm impacto nos custos operacionais do transbordo e devem ser acompanhadas.

REFERÊNCIAS

ADEROBA, A. Farm power machinery selection model for mechanized farms in developing countries, **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, Tokyo, v. 20, n. 3, p. 69-72, July 1989.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS, Agricultural machinery management, data ASABE D497.7. In: _____. **ASABE standards**. St. Joseph, 2011. p. 1-8.

BAIO, F.H.R.; SANTOS, G.S. dos. Conjunto ideal: programa disponível na internet auxilia o produtor a definir o implemento mais adequado de acordo com o modelo de trator e a operação a ser utilizada, **Cultivar Máquinas**, Pelotas, v. 10, n. 104, p. 34-35, fev. 2011.

BAIO, F.H.R. ANTUNIASSI, U.R.; BALASTREIRE, L.A.; CAIXETA FILHO, J.V. Modelo programação linear para seleção de pulverizadores agrícolas de barras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 355-363, maio/ago.2004.

BALA, B.K. Simulation and modeling techniques of agricultural systems, **Agricultural Mechanization in Asia**, Tokyo, v. 8, n. 4, p. 13-15, Oct. 1977.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 307 p.

BANCHI, A.D.; LOPES, J.R.; FRANÇA, L.S. Fundamentos teóricos de custos com os equipamentos. **Agrimotor**, São Paulo, ano 2, n. 15, p. 8-9, out. 2006a.

BANCHI, A.D.; LOPES, J.R.; ROCCO, G.C. Consumo de combustível por operação agrícola. **Agrimotor**, São Paulo, ano 5, n. 40, p. 8-10, mar. 2009.

BANCHI, A.D.; LOPES, J.R.; SALES, F. Gestão de frotas custos com reparos e manutenções (CRM). **Agrimotor**, São Paulo, ano 1, n. 7, p. 8-10, nov./dez. 2005.

_____. Fundamentos teóricos de custos com os equipamentos II. **Agrimotor**, São Paulo, ano 2, n. 16, p. 8-9, mar. 2006b.

BANCHI, A.D.; LOPES, J.R.; ZAGO, C.A. Custo com reparo e manutenção em tratores de pneus. **Agrimotor**, São Paulo, ano 4, n. 34, p. 8-9, ago. 2008.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **PRORENOVA Circular**, Rio de Janeiro, n. 17, 2012. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/produ tos/download/Circ017_12.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2012.

BASSINELLO, A.I. STOLF, R., LIMO FILHO, S.A. A cana de ano: vantagens e desvantagens; o cultivo mínimo para o plantio da cana-de-açúcar; rotação de cultura com a cana-de-açúcar. **Boletim ao Produtor**, Piracicaba, n. 3, p. 1-14, set.1982.

BEAUCLAIR, E.G.F. de. Planejamento e estimativa na produção de cana, **Visão Agrícola**, Piracicaba, ano 1, n. 1, p. 24-27, jan./jun. 2004.

BECKETT, R.; HURT, J. **Numerical calculations and algorithms**. New York: McGraw-Hill Book, 1967. 298 p.

BENDER, F.E.; HARRIS, W.L. A system for selection of agricultural machinery, **Agricultural Mechanization in Asia**, Tokyo, v. 4, n. 1, p. 85-88, mar. 1973.

BENEDINI, M.S.; CONDE, A.J. Espaçamento ideal de plantio para a colheita mecanizada da cana-de-açúcar, **Revista Coplana**, Guariba, n. 52, p. 26-28, out. 2008.

BERENDS, P.; ROMME, G. Simulation as a research tool in management studies, **European Management Journal**, Amsterdam, v. 17, n. 6, p. 576-582, Dec. 1999.

BERNARDES, R.C.; BALASTREIRE, L.A.; MILAN, M. Análise do consumo de combustível de tratores agrícolas variando-se a potência na TDP. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 9, n. 2, p. 76-87, 1998.

BINGNER, R.L.; WELLS, L.G.; BRIDGES, T.C.; DUNCAN, G.A. Simulation of burley tobacco harvesting-housing systems, **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 25, n. 5, p. 1204-1215, Sept./Oct. 1982.

BONONI, M.M.; ROSA, R.F. Planejamento agrícola. In: SEGATO, S.V.; FERNANDES, C.; PINTO, A.S. (Org.). **Expansão e renovação de canavial**. Piracicaba: CP2, 2007. cap. 2, p. 19-36.

BOVI, V.; CIONE, J. CAMARGO, A.P. Comportamento de variedades de cana-de-açúcar no plantio de setembro-outubro na região de Piracicaba (SP). **Bragantia**, Campinas, v. 42, n. 1, p. 47-50, 1983.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Abastecimento e Pecuária; Agência Nacional de Petróleo. **Cana-de-açúcar: usinas e destilarias-orientações técnicas**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/agroenergia/orientacoes-tecnicas>>. Acesso em: 13 nov. 2011.

BRIEGER, F.O.; PARANHOS, S.B. Técnica cultural. In: MALAVOLTA, E.; SEGALLA, A.L.; PIMENTEL GOMES, F.; BRIEGER, F.O.; PARANHOS, S.B.; RANZANI, G.; VALSECHI, O.; JUNQUEIRA, A.A.B.; CAMARGO, A.P.; BERGAMIN, J.; TOFFANO, W.B.; PEIXOTO, A.M.; LIMA, U.A.; DANTAS, B.; ORTOLANI, A.A.; HAAG, H.P.; LIMA, C.C.A.; OLIVEIRA, E.R. **Cultura e adubação da cana-de-açúcar**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Potassa, 1964. cap. 6, p. 139-190.

CAMPOS, C.M.; MILAN, M. SIQUEIRA, L.F.F. Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção da cana-de-açúcar, **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 554-564, jul./set. 2008.

CARDONA, S.M. Sistema de simulação garante ganhos operacionais e econômicos para a Cosan. **Revista Tecnológica**, São Paulo, ano 17, n. 180, p. 64-68, nov. 2010.

CARREIRA, M.L. **Desempenho operacional, econômico e energético do transporte de cana-de-açúcar**: um estudo de caso. 2010. 82 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

CEBIM, G.J. **Plantio mecanizado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**: desempenho operacional e econômico. 2008. 102 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CHANCELLOR, W.J. Selecting the optimum-sized tractor. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 12, n. 4, p. 411-414, July/Aug. 1969.

CHANEY, P.P.; PARISH, R.L.; SISTLER, F.E. An automatic control system for a sugarcane planter. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 2, n. 2, p. 51-54, Nov. 1986.

CHEN, L.H.; McCLENDON, R.W. Selection of planting for soybeans via simulation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 27, n. 1, p. 29-35, Jan./Feb. 1984.

_____. Soybean and wheat double cropping simulation model. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 1, p. 65-69, Jan./Feb. 1985.

CHEN, L.H.; AHMAD, T.; WILLCUTT, M.H. Simulation model for cotton harvesting machinery. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 35, n. 3 p. 1071-1077, May/June 1992.

CHEN, L.H.; SOWELL, R.S.; JONES, J.W. Event scheduling and process interaction concepts in discrete simulation modeling. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 4, p. 857-860, May/June 1979.

CHEN, L.H.; WILLITS, D.H.; SOWELL, R.S. Computer simulation of nursey potting operations. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 21, n. 3, p. 427- 434, May/June 1978.

COLETI, J.T. Técnica cultural de plantio, In: PARANHOS, S.B.(Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. cap. 3, p. 284-328.

COLETI, J.T.; STUPIELO, J.J. Plantio da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. cap. 4, p. 139-153.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: cana- de - açúcar**, terceiro levantamento. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_08_11_00_54_08.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2011

DAHL, O.J. Discrete event simulation languages. In: GENUYS, F. (Ed.). **Programming languages**. London; New York: Academic Press, 1968. chap. 5, p. 349-395.

EDWARDS, W.; BOEHLJE, M. Machinery selection considering timeliness losses. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 23, n. 4, p. 810-815, July/Aug. 1980.

ELLIOT, R.L.; LEMBKE, W.D.; HUNT, D.R. A simulation model for predicting available days for soil tillage. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 20, n. 1 p. 4-8, Jan./Feb. 1977.

FAIDLEY, L.W.; MISENER, G.C.; HUGHES, H.A. Computer aided selection and costing of farm machinery systems. **Agricultural Mechanization in Asia**, Tokyo, v. 6, n. 1, p. 61-68, Mar. 1975.

FAROOQ, M.; AHMAD, S.I.; MAJID, A. Developments in mechanical planting of sugarcane. **Agricultural Mechanization In Asia, Africa and Latin America**, Tokyo, v. 23, n. 1, p. 28-32, Jan. 1992.

GINIGER, M.S.; McAVOY, R.J.; GIACOMELLI, G.A.; JANES, H.W. Computer simulation of a single truss tomato cropping system. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 31, n. 4, p. 1176-1179, July/Aug. 1988.

GONÇALVES, N.G.; LIMA, E.B.; BANCHI, A.D. PINTO, R.S.A. LOPES, J.R. Eficiência de uso de máquina agrícola. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DE TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5., 1993, Águas de São Pedro. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1993. p. 165-168.

GRISSE, R.D.; KOCHER, M.F.; VAUGHAM, D.H. Predicting tractor fuel consumption. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 20, n. 5, p. 553-561, 2004.

GRISSE, R.D.; VAUGHAM, D.H.; ROBERSON, G.T. Fuel prediction for specific tractor models. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 24, n. 4, p. 423-428, 2008.

HAHN, M.H. **SISTEC- Simulador de Sistema de transporte de cana-de-açúcar**, 1994. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

HETZ, E.; ESMAY, M. Optimization of machinery system. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, Tokyo, v. 17, n. 1, p. 68-76, Jan. 1986.

HUGHES, H.A.; HOLTMAN, J.B. Machinery complement selection based on time constraints, **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 19, n. 5, p. 812-814, Sept./Oct. 1976.

IANNONI, A.P.; MORABITO, R. Análise do sistema logístico de recepção de cana-de-açúcar: um estudo de caso utilizando simulação discreta. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 9, n. 2, p. 107-128, ago. 2002.

ISIK, A.; SABANCI, A. A computer model to select optimum sizes of farm machinery and power for mechanization planning. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, Tokyo, v. 24, n. 3, p. 68-72, July 1993.

JANINI, D.A. **Análise operacional e econômica do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2007. 149 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

KHAN, S.; CHAUDHRY, M.; SHERIF, S.M. A computer program for agricultural machinery management, **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, Tokyo, v. 15, n. 3, p. 11-13, 1984.

KIM, K.U.; BASHFORD, L.L.; SAMPSON, B.T. Improvement of tractor performance, **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 21, n. 6, p. 949-954, 2005.

KIM, S.C.; KIM, K.U.; KIM, D.C. Prediction of fuel consumption of agricultural tractors, **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 27, n. 5, p. 705-709, 2011.

KLAVER, P.P.C.; VASCONCELOS JUNIOR, J.S.; GARCIA, R.F. Escolha num click: programa computacional para calcular a potência requerida de máquinas e implementos agrícolas ajuda o produtor a definir qual o melhor implemento para cada trator, **Cultivar Máquinas**, Pelotas, v. 10, n. 109, p. 32-33, jul. 2011.

KLEIJNEN, J.P.C. Verification and validation of simulations models. **European Journal of operational research**, Amsterdam, v. 82, n. 1, p. 145-162, Apr. 1995.

KOLARIK, W.J.; BOWERS, W.; CASE, K.E. Performance analysis of farm machinery: an availability approach. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 22, n. 6, p. 1270-1278, Nov./Dec. 1979.

KUMAR, R.; GOSS, J.R. Computer simulation of harvesting alfalfa seed. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 24, n. 5, p. 1135-1140, Sept./Oct. 1981.

LAL, H. PEART, R.M.; JONES, J.W.; SHOUP, W.D. An object-oriented field operations simulator in PROLOG. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 34, n. 3, p. 1031-1039, May/June 1991.

LAUREL, H.O. Computer programme for selecting farm machinery for small farms, **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, Tokyo, v. 19, n. 3, p. 20-22, July 1988.

LINK, D.A.; BOCKHOP, C.W. Mathematical Approach to farm machine scheduling. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 7, n. 1, p. 8-16, Mar. 1964.

LOPES, M.B.; MILAN, M.; COELHO, J.L.D. Qualidade em operações agrícolas mecanizadas na cultura da cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Alcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 13, n. 3, p. 26-30, jan./fev. 1995.

MANZATTO, C.V.; ASSAD, E.D.; BACCA, J.F.M.; ZARONI, M.J. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos; MAPA, 2009. 55 p. (Documentos / EMBRAPA Solos, 110).

MARENIA, M.O.; MUTULI, D.A.; KAUMBUTHO, P.G.; KAMARU, J. Simulation of materials in handling system in sugarcane mill yard: a case study, **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, Tokyo, v. 26, n. 4, p. 54-58, Oct. 1995.

MARQUES, T.A.; SERRA, G.E.; MARQUES, P.A.A. Desenvolvimento de um programa computacional para implantação econômica de lavouras canavieiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 289-293, nov. 2005.

MATOS, M.A. **Modelo informatizado para planejamento operacional e econômico de sistemas mecanizados com a consideração da pontualidade**. 2007.89 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

MERCANTE, E.; SOUZA, E.G. de; JOHANN, J.A.; GABRIEL FILHO, A.; URIBE-OPAZO, M.A. PRAPAG: software para planejamento racional de máquinas agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 322-333, mar./abr. 2010.

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

_____. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722 p.

_____. **Máquinas agrícolas para plantio**. Campinas: Millennium, 2012. 623 p.

MIALHE, L.G.; RIPOLI, T.C.; MILAN, M. Algumas considerações sobre o formato de talhões e espaçamento de plantio. **Álcool e Açúcar**, São Paulo, v. 3, n. 11, p. 28-42, 1983.

MILAN, M. **Improving operational management of harvest, transport and mechanization for sugar cane in Brazil**. 1992. 226 p. Thesis (Ph.D.) - Silsoe College, Cranfield Institute of Technology, Silsoe, 1992.

_____. **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.

MOLIN, J.P.; MILAN, M. Trator-implemento: dimensionamento, capacidade operacional e custo, In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. (Ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap. 13, p. 409-436.

MORAES, M.A.F.D. de. Mecanização demanda qualificação da mão-de-obra. **Visão Agrícola**, Piracicaba, ano 5, n. 8, p. 109-112, jan./jun. 2008.

MUNDIM, J.V.C. **Uso de simulação de eventos discretos para o dimensionamento de frota para colheita e transporte de cana-de-açúcar**. 2009. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

NAYLOR, T.H.; BALINTFY, J.L. BURDICK, D.S.; CHU, K. **Técnicas de simulação em computadores**. São Paulo: Vozes, 1971. 402 p.

NOGUEIRA, G.A.; ALONSO, O. Viveiros de mudas. In: RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B.Y. (Org.). **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**, Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2007. cap. 3, p. 60-64.

NUNES JR., D. As variedades e o planejamento do plantio. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 26, n. 3, p. 24-25, jan./fev. 2008.

OACKLAND, J. **Gerenciamento de qualidade total TQM**. São Paulo: Nobel, 2007. 459 p.

OFOCHE, C.E.; ABE, T.; HIKIDA, Y. Accelerating design and performance test evaluation of cross-flow tempering drier using computer simulation model. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, Tokyo, v. 22, n. 4, p. 54-60, Oct. 1991.

PARDINHO, A.P. Plantio mecanizado da cana: a experiência da DMB. In: MARQUES, M.O.; MUTTON, M.A.; NOGUEIRA, T.A.R.; TASSO JÚNIOR, L.C.; NOGUEIRA, G.A.; BERNARDI, J.H. (Ed.). **Tecnologias na agroindústria canavieira**. Jaboticabal: UNESP, FCVA, 2008. cap. 3, p. 117-121.

PARISH, R.L.; CHANEY, P.P.; BAKER, F.E. Field evaluation of sugarcane planters, **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 5, n. 2, p. 127-132, June 1989.

PARSONS, S.D.; HOLTMAN, J.B. An event-oriented corn production simulation model. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 20, n. 5, p. 843-856, Sept./Oct. 1977.

PATIL, A.; DAVE, A.K.; YADAV, R.N.S. Evaluation of sugarcane cutter planter. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 6, n. 3, p. 121-125, Sept. 2004.

PERTICARRARI, J.G. O estado da arte do plantio de cana. In: WORKSHOP MECANIZAÇÃO DE BAIXO IMPACTO PARA O PLANTIO DIRETO DE CANA-DE-AÇÚCAR DO CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO BIOETANOL- CTBE, 2009, Campinas. Disponível em: <<http://www.bioetanol.org.br/>>. Acesso em: 21 nov. 2011.

RANGEL, J.J.A.; CUNHA, A.P.; PACHECO, A.P.; MORGADO, J.F.; MONTANÉ, F.A.T. Simulação computacional para análise do frete no transporte de cana-de-açúcar: um estudo de caso no estado do Rio de Janeiro. **Sistemas & Gestão**, Niterói, v. 3, n. 3, p. 250-261, dez. 2008.

RIPOLI, M.L.C.; RIPOLI, T.C.C. Evaluation of five sugar cane planters. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1110-1122, nov./dez. 2010.

RIPOLI, M.L.C.; TORREZAN, H.F.; RIPOLI, T.C.C. Plantio mecanizado do canavial, In: SEGATO, S.V.; FERNANDES, C.; PINTO, A.S. (Org.). **Expansão e renovação de canavial**. Piracicaba: CP2, 2007. cap. 16, p. 257-280.

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

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B.Y. **Plantio de cana-de-açúcar**: estado da arte. 2. ed. Piracicaba: T.C.C. Ripoli, 2007. 198 p.

ROMANELLI, T.L. **Consumo de óleo diesel na agricultura**: operações de preparo de solo, plantio e colheita. Piracicaba: O Autor, 2008. 81 p.

SANTOS, N.B. **Identificação dos fatores críticos de colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2011. 82 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

SCARBOROUGH, J.N.; HUNT, D.R. Optimization of field parameters using Powell's constrained minimization algorithm. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 20, n. 2, p. 214-217, 1977.

SHARMA, M.P.; SINGH, K. Design and development of a tractor-drawn automatic sugarcane planter. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, Tokyo, v. 21, n. 3, p. 83-85, July 1990.

SILVA, C.M. **Modelo computacional para dimensionamento tratores, equipamentos e operações agrícolas**. 1996. 110 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 1996.

SILVA, G.M. **Máquinas para plantio e condução das culturas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. v. 3, 336 p.

SILVA, M.A.; LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P. Novas opções varietais IAC para plantio no sistema de cana-de-ano. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 19, n. 3, p. 43-45, jan./fev. 2001.

SINGH, D.; HOLTMAN, J.B. An Heuristic agricultural field machinery selection algorithm for multicrop farms. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 22, n. 4, p. 763-770, May/June 1979.

SOARES, A.R. **Um século de economia açucareira: evolução da moderna agroindústria do açúcar em São Paulo, de 1877 a 1970**. São Paulo: Cliper, 2000. 160 p.

SRIVASTAVA, A.C. Design and development of a sugarcane cutter-planter with tillage discs. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 11, n. 3, p. 335-341, May/June 1995.

STOUT, B.A.; DOWNING, C.M. Selective mechanization: a hope for farmers in developing countries. **Agricultural Mechanization in Asia**, Tokyo, v. 5, n. 1, p. 13-17, July 1974.

SWAIN, S.; OJHA, T.P. Machinery selection concerning farm sizes. **Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America**, Tokyo, v. 16, n. 4, p. 69-72, Oct. 1985.

TACHIBANA, A. **Um modelo para avaliar sistemas mecanizados para aplicação de defensivos em culturas perenes**. 2000. 86 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

TACHIBANA, A.; MILAN, M. Modelo para avaliação de sistemas mecanizados para aplicação de defensivos em culturas perenes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 101-109, jan.2002.

TACHIBANA, A.; MILAN, M.; MOURÃO FILHO, F.A.A. Modelo para avaliar um sistema mecanizado para a cultura do limão siciliano (*Citrus limon*, BURM.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 18, n. 3, p. 34-43, mar.1999.

TEIXEIRA, L.F.G. **Desenvolvimento de uma equação para estimativa do custo acumulado de reparos e manutenções para tratores agrícolas de pneus**. 1995. 89 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

VEDAK, B.S.; YOUNG, J.H. Simulation of peanut harvesting systems. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 19, n. 2, p. 244-248, Mar./Apr. 1976.

VERMA, L.R.; BARGEN, K.V.; BALLARD, J.L. Planning forage harvesting research using simulation. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 19, n. 6, p. 1022-1024, Nov./Dec. 1976.

WHITNEY, B. **Choosing and using farm machines**. Harlow: Longman Scientific & Technical, 1998. 411 p.

WRIGHT, M.; BOWLING, O.D.; CLARK, J.P. Simulation of a sweet sorghum juice production system. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v. 22, n. 5, p. 1004-1009, Sept./Oct. 1979.

YADAV, R.N.S.; CHAUDHURI, D.; SHARMA, M.P.; SINGH, P.R.; KAMTHE, S.D.; TAJUDDIN, A. Evaluation, refinement and development of tractor operated sugarcane cutter planters. **Sugar Tech**, New Delhi, v. 6, n. 1/2, p. 5-14, June 2004.

ZHAO, K.; HYDE, G.M.; THORNTON, R.E.; PITTS, M.J. Optimizing potato seed cutting. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 1, p. 285-289, Jan./Feb. 1989.

ANEXOS

ANEXO A- Dados de entrada do modelo

Tabela 3 - Dados de entrada no Cenário-Base, utilizado no modelo

Entrada de dados							
Item	Variáveis	Sigla	Unidade	Plantio		Transporte de mudas	
				Trator	Plantadora	Trator	Transbordo
Agronomia	Núm. dias pl.	Ndpl	dias		120		
	Núm.dom.fer.	Ndf	dias		0		
	Núm. dias úm.	Ndu	%		40		
	Núm. dias úteis imp.	Ndui	dias		48		
	Área	A	ha		5.000		
	Esp.	Esp.	m		1,50		
Gestão	Quant. mudas	Qm	kg m ⁻¹		1,70		
	Jornada trab.	Jt	h		24		
Máquinas	Ef.gerencial	Efg			0,70		
	Pot.Disp/Req	Pm	kW	135	108	135	
	Núm.linha	Nl	n		2		
	Núm.car	Ncar	n				2
	Cap.carga	Cc	t		6,0	6,0	
	Vel.m.op	Vop	km h ⁻¹		6,0	6,0	
Operacional	Ef.op.	Efop			0,70	0,70	
	Tempo ab.	Tab.	min.		8,0		
	Tempo car.	Tcar.	min.			9,0	
	Tempo desc.	Tdesc.	min.			8,0	
	Dist.ciclo	Dcl	km			1,0	
	Valor inicial	Vi	R\$	257.000,00	230.000,00	257.000,00	100.000,00
Econômico	Valor final	Vf		0,3	0,2	0,3	0,2
	Vida útil ano	Vua	ano	10	10	10	10
	Vida útil hora	Vuh	h	20.000		20.000	20.000
	Juros	i		0,065	0,065	0,065	0,065
	Fator al.seg.taxas	Fast		0,02	0,02	0,02	0,02
	Fator rep.man.	Frm			0,8		0,8
	Fator de cons.	Fc	L (kW ⁻¹ h ⁻¹)			0,16	
	Preço comb.	Pc	R\$	2,027		2,027	
	Preço mudas cana	Pmc	R\$ t ⁻¹		65,00		

A tabela 3 apresenta os dados de entrada no Modelo para o Cenário-Base. O modelo foi dividido em: agronomia; gestão; máquinas; operacional e econômico.

O período de plantio considerado foi de janeiro a abril, dentro do período de plantio de *cana de ano e meio* (RIPOLI et al., 2007). O número de domingos e feriados no período foi considerado como zero. Para inserção do número de dias úteis impróprios, foi utilizado um percentual de 40% de dias úmidos. A jornada de trabalho considerada foi de 24 horas, com uma eficiência gerencial de 70%. A área de plantio de 5 mil hectares e o espaçamento de 1,50m. Quanto a estimativa da quantidade de mudas por metro, o valor de entrada baseou-se nos resultados médios de biometria de mudas utilizadas nos ensaios de plantadoras (RIPOLI et al., 2007) nos quais os autores consideraram o peso médio por rebolo de 0,22 kg, o número médio de rebolos colmo⁻¹ foi de 7,6, com uma estimativa de 1,672 kg m⁻¹.

Em termos de características técnicas das máquinas, a plantadora apresenta 2 linhas de plantio, capacidade de carga de 6 toneladas, velocidade média operacional de 6,0 km h⁻¹, um trator de 135 kW para tracionar a plantadora. O transbordo possui 2 carrocerias, com capacidade unitária de 6 toneladas, totalizando 12 toneladas, velocidade média operacional de 6,0 km h⁻¹ e utilizou-se o mesmo modelo de trator da plantadora para o transbordo.

Quanto ao aspecto operacional, as variáveis para o conjunto mecanizado plantadora foram de 2 abastecimentos por hectare, baseado na relação do consumo de mudas por hectare, dividido pela capacidade de carga da plantadora, com um tempo estimado de 8 minutos para cada abastecimento. Na situação proposta o tempo de ciclo do transporte de mudas é a somatória do tempo de carregamento de mudas no ponto de abastecimento, que foi fornecido de 9 minutos, o tempo de deslocamento de ciclo (ida ao talhão, descarregamento e retorno ao ponto de abastecimento), considerado uma distância de 1,0 km e uma velocidade de ciclo de 6 km h⁻¹, fornecendo um tempo de deslocamento de ciclo de 10 minutos, e o tempo de descarregamento, que é igual ao tempo de abastecimento para a plantadora, que foi considerado 8 minutos. O tempo de ciclo do transbordo é transformado em horas. Nesse caso, o tempo de ciclo estimado pelo transbordo foi de 0,45 h⁻¹.

Na categoria econômico, os valores de aquisição para os conjuntos mecanizados foram: trator (plantadora), R\$ 257.000, 00 (duzentos e cinquenta e sete mil reais); plantadora, R\$ 230.000,00 (duzentos e trinta mil reais); trator-transbordo, R\$ 257.000,00 (duzentos e cinquenta e sete mil reais), baseado na potência sugerida pelo fabricante; transbordo R\$ 100.000, 00 (cem mil reais), com duas carrocerias. (Os valores dos tratores foram fornecidos pelo Departamento de Pesquisa e Estatística Rural- A Granja, março de 2012). Os valores da plantadora e do transbordo foram fornecidos pelos fabricantes, que referem-se a valores médios utilizados para o estado de São Paulo (Agrishow, maio de 2012.)

O valor final das máquinas considerado foi de 30% para os tratores e 20% para a plantadora e os transbordos.

A vida útil ano utilizado no modelo pelos sistemas mecanizados baseou-se na proposta da ASABE, de 10 anos. A CONAB (2010) apresenta para tratores uma vida útil ano de 10 anos, para carreta transbordo uma vida útil ano de 15 anos e plantadora de cana uma vida útil ano de 15 anos.

A vida útil em horas utilizadas no modelo foram: para os tratores, 20.000 horas, a plantadora, 20.000 e o transbordo de 20.000. Ripoli et al. (2007) consideram a vida útil em horas, de 40 mil horas para o trator e 22.500 horas para a plantadora. Banchi, Lopes e Zago (2008) apresentaram 20.000 horas a vida útil para tratores de pneu. A CONAB (2010) apresenta para tratores uma vida útil horas de 15.000 horas, para carreta transbordo 5.000 horas e para plantadora de cana uma vida útil horas de 1.200 horas, revelando valores diferentes dos demais autores.

A taxa de juros anual utilizada foi de 6,5 % a.a tendo em vista os diversos programas de financiamento de máquinas e implementos agrícolas disponíveis pelas instituições financeiras do país, em especial, o Finame-Programa de Sustentação de Investimento (PSI).

Utilizou-se o fator de alojamento, seguro e taxas de 2% a.a, como as referências indicam. O fator de combustível considerado baseou-se na proposta de Molin e Milan (2002), de $(0,16 \text{ L Kw}^{-1} \text{ h}^{-1})$. O fator de reparo e manutenção baseou-se na proposta da ASABE (2011), e foi de 0,80.

O preço do combustível (Diesel) considerado foi de R\$ 2,027 para a cidade de Piracicaba, conforme dados disponíveis no site: (www.precodoscombustiveis.com.br), no período de maio de 2012.

O preço da tonelada de mudas ($\text{R\$ t}^{-1}$) foi uma média R\$ 65,00, baseado no valor da Canoeste/Copercana (2009).