

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

**Desempenho operacional, econômico e energético do transporte de cana de
açúcar: um estudo de caso**

Marcio Luis Carreira

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

**Piracicaba
2010**

Marcio Luis Carreira
Economista

**Desempenho operacional, econômico e energético do transporte de cana de açúcar:
um estudo de caso**

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

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

**Piracicaba
2010**

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

Carreira, Marcio Luis

Desempenho operacional, econômico e energético do transporte de cana de açúcar: um estudo de caso. - - Piracicaba, 2010.
80 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.
Bibliografia.

1. Cana de açúcar - Produção 2. Energia 3. Logística 4. Mecanização agrícola 5. Transporte
Título

CDD 633.61
C314d

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

À

minha esposa e filha, Tania e Karol,

meus pais, Dona Jô e “Seu” Toninho,

Dedico.

“Aqueles que mais verdadeiramente trilham os caminhos da virtude e da são sabedoria são os que menos se ocupam em pensar no amanhã.”

John Maynard Keynes

AGRADECIMENTOS

Quero externar meus agradecimentos ao Prof. **Dr. Marcos Milan** pelo exemplo, amizade, paciência e dedicação. Por seu profissionalismo, e acreditar no trabalho desenvolvido.

À **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, por meio do **Departamento de Engenharia de Biosistemas**, pela infraestrutura disponibilizada e oportunidade de realização do mestrado.

À **Faculdade Anhanguera**, em especial, os campus: **Valinhos**, por minha sólida formação; **Santa Bárbara d’Oeste** por minha formação docente, em especial **Prof. Ms Décio Henrique Franco**, **Prof. Dr. Adriano Pila** e demais colegas de coordenação e professores; **Campinas 3** em especial **Prof. Ms Ricardo Tombi** que me acolheu no momento difícil.

Ao **SENAC Jundiaí** por meio das professoras **Isabel**, **Fátima** e **Bartira** que acreditaram e deram a oportunidade de egresso na carreira docente.

Aos professores do Departamento de Engenharia de Biosistemas: **Thiago Libório Romanelli**, **Casimiro Dias Gadanha Junior**, **Tomaz Caetano Cannavam Ripoli**, pelos ensinamentos.

Aos amigos **Vanderson B**, **José Vitor**, **Gustavo Fontana** (muito obrigado pela ajuda no trabalho), **Roselane**, **Daniel Pauli (Mutuca)**, **Felipe Araújo** e **Áureo**, obrigado pelo companheirismo. **Mariana Bortalazzo** (Faculdade Anhanguera Santa Bárbara) pelas inúmeras cópias solicitadas.

Aos amigos do programa de pós graduação: **Carletti**, **Rascunho**, **Étore**, **Povh**, **Matheus**, **Gilda**, **Paulo de Tarso**, **Gustavo**, **Neisvaldo** e **Soriano**.

Aos alunos da graduação: **Igor**, **Rafael**, **Jean Carlos** e **Shadia**.

Aos funcionários do Departamento **Davilmar**, **Fernanda**, **Dona Vera**, **Dona Lourdes**.

À todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	09
ABSTRACT	11
LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS	13
1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Logística da produção da cana de açúcar	20
2.2 Sistemas de colheita de cana de açúcar	23
2.3 Modelos e simulações	26
2.3.1 O auxílio da modelagem e simulações no CCT	27
2.3.2 Simulação de desempenho e custos de transporte	29
2.4 Rendimento energético ou balanço energético	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1 Desenvolvimento do modelo	38
3.2 Determinação do desempenho operacional	40
3.3 Determinação do desempenho econômico	43
3.3.1 Custo fixo	43
3.3.2 Custo variável	44
3.3.3 Custo do transporte	46
3.4 Rendimento energético e energia despendida no transporte	47
3.5 Verificação e validação do modelo	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Análise dos dados referentes ao desempenho operacional da CVC	51
4.1.1 Velocidade média na estrada (VME)	51

4.1.2 Tempo de carregamento	52
4.1.3 Tempo de descarregamento	53
4.1.4 Carga líquida transportada	54
4.1.5 Distância média de ciclo	55
4.1.6 Consumo de combustível	56
4.1.7 Cenários	57
4.2 Desempenho operacional e econômico	59
4.2.1 Carga líquida transportada	60
4.2.2 Velocidade média	61
4.2.3 Consumo de combustível	62
4.2.4 Condição crítica	63
4.3 Rendimento energético e energia despendida	64
5 CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS	71
ANEXO	77

RESUMO

Desempenho operacional, econômico e energético do transporte de cana de açúcar: um estudo de caso

A cana de açúcar é uma cultura de extrema importância para o País e ela é utilizada como matéria prima na produção de combustível para veículos automotores, geração de energia elétrica, produção de alimentos e produtos químicos entre outros. Com produtividades que podem ultrapassar a 120 toneladas por hectare, o transporte da matéria prima do campo para a Usina tem, predominantemente, como base um sistema modal rodoviário e representa um desafio. Esse desafio está associado aos prazos de entrega, qualidade, custos e a energia despendida, fatores esses afetados pelas variáveis envolvidas no sistema, sendo o objetivo deste trabalho avaliar o impacto das variáveis no desempenho operacional, econômico e energético de um sistema de transporte de cana de açúcar. Para tanto, desenvolveu-se um modelo em planilha eletrônica no qual os dados de entrada, referentes ao desempenho operacional da composição de transporte, foram obtidos junto a uma Usina. Os resultados evidenciaram que as variáveis associadas ao desempenho operacional, podem apresentar grandes amplitudes afetando o custo da matéria prima e o gasto de energia. A carga líquida é um dos principais fatores que influenciam no custo da matéria prima transportada e o seu aumento tem um grande impacto no rendimento energético do transporte e o consumo de combustível é o maior responsável pela energia despendida.

Palavras-chave: Agricultura; Logística; Mecanização agrícola; Energia

ABSTRACT

Operational, economic and energy performance of sugar cane transport

Sugar cane is an important culture for the country and it is used as raw material for fuel for motor vehicles, power generation, food production, chemicals and others. With yields that may exceed 120 tons per hectare, the transportation of sugar cane from the farm to the mill is mainly based on roads and represents a challenge. This challenge is associated to the delivery time, quality and costs as well as the spent energy by the transport system and these factors are affected by the variables involved on the system. Thus the aim of this study is to assess the impact of the variables on operational, economical and energetic performance of a sugar cane transport system. A model was developed on a spreadsheet in which the input data, regarding the operational performance of the transport system were obtained from a mill. The results showed that the variables associated to the operational performance may show large amplitudes which affect the raw material cost and the use of energy. The pay load is one of the main factors that influence the raw material transportation cost, and its increasing has a major impact on the energy efficiency of transportation and the fuel consumption is the principal responsible for the spent energy.

Keywords: Agriculture; Logistics; Agricultural mechanization; Energy

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al – Alojamento (decimal)

ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

BE – Balanço de energia

CCb – Custo do combustível em reais por quilometro (R\$ km⁻¹)

CCk – Consumo de combustível da composição no ciclo (km L⁻¹)

CCT – Corte, Carregamento e Transporte de Cana

CFa – Custo fixo anual (R\$)

CLt – Carga líquida transportada (t)

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CPk – Custo variável por quilometro referente aos pneus (R\$ km⁻¹)

CPnk – Custo por quilometro referente à vida útil do pneu novo (R\$ km⁻¹)

CRk – Custo por quilometro referente à vida útil do pneu recapado (R\$ km⁻¹)

CRM – Custo de reparo e manutenção (R\$ km⁻¹)

CTr – Custo total do transporte (R\$ t⁻¹)

CVC – Composição Veicular de Carga

CVrC – Custo variável da composição

DTc – Distancia do ciclo percorrida pela composição (km)

DTj – Distância percorrida na jornada pela composição (km)

DTPn – Distância total percorrida pelo pneu em sua vida útil (km)

DTs – Distância percorrida na safra pela composição (km)

EDCb – Energia despendida com o combustível (MJ t⁻¹)

EDcvc – Energia despendida com a CVC (MJ t⁻¹)

EDR – Energia despendida com rodados (pneus)

EDt – Energia despendida no transporte em MJ t^{-1}

EE – Energia de entrada

EFA – Eficiência administrativa (%)

EROI – Retorno em energia sobre energia investida

ES – Energia de saída

FRM – Fator de reparo e manutenção em decimal

i – Taxa de juros aplicado ao capital (decimal)

ICc – Índice de conversão do combustível (MJ L^{-1})

ICcvc – Índice de conversão referente à CVC (MJ t^{-1})

ICPn – Índice de conversão para pneus (MJ kg^{-1})

IE – Intensidade energética

JRT – Jornada real de trabalho em horas (h)

Lc – Licenciamento (decimal)

Mcvc – Massa da CVC (t)

MJ – Mega Joule

MME – Ministério de Minas e Energia

MPn – Massa do pneu novo (kg);

MRec – Massa referente ao material de recapagem do pneu (kg)

NDs – Número de dias de safra.

NPn – Número de pneus da composição (CVC)

NPnE – Número de pneus novos referentes ao equipamento (cavalo mecânico ou carrocerias)

NPR – Número de pneus a recapar

NRc – Número de recapagens previstas/recomendadas

NVj – Número de viagens na jornada

PI – Preço do litro de combustível – Diesel

Prod – Produtividade

QCTj – Quantidade de cana transportada na jornada ($t \text{ dia}^{-1}$)

QCTs – Quantidade de cana transportada na safra ($t \text{ safra}^{-1}$)

RE – Rendimento energético em ($t \text{ km L}^{-1}$)

Sg – Seguro (decimal)

TC – Tempo de ciclo (h)

TCar – Tempo carregamento (min.)

TDes – Tempo descarregamento (min.)

THj – Total de horas da jornada (h)

Vi – Valor inicial em reais (R\$)

Vf – Valor final em decimal

VMC – Velocidade média do ciclo em km h^{-1}

VME – Velocidade média na estrada (km.h^{-1})

VPn – Valor do pneu novo em reais (R\$)

VRec – Valor da recapagem (R\$)

Vu – Vida útil em ano

VUk – Vida útil em quilômetros

VUPn – Vida útil do pneu novo em quilômetros (km)

VURec – Vida útil de cada recapagem (km)

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do Ministério da Agricultura e Abastecimento o Brasil produziu na safra 2007/08 495,8 milhões de toneladas de cana e em 2008/09 572,5 milhões de toneladas o que corresponde a um acréscimo de 15,47% em relação à safra anterior (BRASIL, 2009a). O relatório da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB prevê um total de cana moída para a safra 2009/10 de 612,2 milhões de toneladas, o que representa um acréscimo de 6,9 % em relação à safra 2008/09. Além disso, o relatório aponta que deixaram de ser colhidas cerca de 20 milhões de toneladas devido a fatores climáticos (CONAB, 2009).

A área de cana colhida destinada a atividade sucroalcooleira para a safra 2009/10 é estimada em 7,5 milhões de hectares, distribuída nos estados produtores de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Goiás e Alagoas. A maior concentração de área está em São Paulo (4,1 milhões de hectares). A produtividade média brasileira dessa safra é estimada em 81,3 t ha⁻¹ e representa um acréscimo de 0,4% à safra anterior (CONAB, 2009).

Nos últimos dez anos a produtividade aumentou em 19,2% (BRASIL, 2009b), o que pode ser creditado ao avanço tecnológico, como a introdução de material genético, desenvolvimento de insumos, métodos de trabalho entre outros. Além disso, o sistema de produção vem passando por grandes transformações, transformações essas associadas à expansão de novas áreas produtoras, à indisponibilidade de mão-de-obra, a constante busca de redução de custos e por legislações cada vez mais impositivas nas questões ambientais. Essas transformações fazem com que a mecanização agrícola se torne cada vez mais importante desde à fase de implantação ao transporte da cultura para a indústria. Um exemplo dessas transformações, é a atual transição do sistema semi-mecanizado de colheita tradicional, no qual a cana é queimada, cortada manualmente, e carregada por meio de carregadoras mecânicas no veículo de transporte para o sistema mecanizado, no qual uma colhedora automotriz retira a cultura, fraciona o colmo em pedaços, realiza a limpeza e deposita a cana em pedaços (rebolos) em um transbordo ou diretamente no veículo de transporte. Por fornecer a cana em rebolos, o sistema mecanizado de colheita reduz o tempo que a cana pode ficar sem ser processada, sendo recomendado um prazo inferior a trinta e seis horas. Esse prazo impõe que a colheita e o transporte trabalhem em

sincronia, garantindo um fluxo constante para a usina e evitando a perda de qualidade da matéria-prima.

Baseado em um sistema predominantemente modal rodoviário, o transporte de cana-de-açúcar requer uma infra-estrutura de caminhões e carretas (reboques e semi-reboques) suficientes para garantir o abastecimento contínuo da usina. O número de equipamentos necessários é influenciado por vários fatores, como o clima, variedade de cana, distância do talhão, características técnicas do equipamento, administração entre outras e, além disso, o custo de corte e transporte pode atingir a 30% dos custos totais de produção da matéria-prima, donde, somente o transporte corresponde a 12%. Outro aspecto de extrema importância é o consumo energético despendido nessa operação de transporte. A cana é uma cultura associada à energia renovável, mas ainda grande parte do combustível empregado na sua produção e transporte é de origem fóssil. Devido à importância do sistema de transporte na qualidade, no custo e no fluxo da matéria prima, no consumo de energia associada à dificuldade de se avaliar previamente o impacto de cada variável envolvida no sistema, o objetivo deste trabalho é analisar o desempenho operacional, econômico e energético de um sistema de transporte de cana-de-açúcar.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A produção de cana-de-açúcar vem se intensificando no Brasil principalmente pelo aumento da demanda propiciada pelos automóveis *flex*. Somente em 2009 foram produzidos 2.543.499 unidades do modelo, o que representa um acréscimo de 13,36% sobre a produção do ano anterior (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES - ANFAVEA, 2009). As vendas no mercado interno para o ano de 2009, segundo dados da ANFAVEA, foram de 2.711.267 unidades, o que representa um acréscimo de 15,15% nas vendas para o mercado interno. Outro fator importante para esse crescimento da produção de cana é a necessidade de renovação da matriz energética, ou seja, uma menor dependência dos combustíveis fósseis. A produção de energia renovável advinda de produtos da cana-de-açúcar em uma década teve um acréscimo de 82,20% (BRASIL, 2009). A produção de energia advinda de fósseis em um comparativo 2008/07 teve um acréscimo de 29,30% e a produção de energia por meios de geração elétrica e produção de álcool para o mesmo período foi de 24,50%.

Em uma década o aumento no processamento de cana-de-açúcar no Brasil foi de 94,19% (BRASIL 2009). Em seu terceiro levantamento em dezembro de 2009 sobre a safra 2009/10, a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB – estimou uma produção total de cana moída de 612 milhões de toneladas, o que representa um acréscimo de 8,62% em relação à safra anterior (CONAB, 2009). Para o Ministério de Minas e Energia o bagaço destinado à geração de energia teve um acréscimo de 29,95% em relação ao ano de 2008, e, a produção de etanol um acréscimo de 22,13% na safra 2008/09 em relação á safra anterior (BRASIL, 2009). Esses aumentos na produção e demanda pela cana-de-açúcar inexoravelmente irão repercutir para usina, em sua estrutura de custos. Como o preço é determinado pelo mercado, o planejamento é cada vez mais necessário e de suma importância para o abastecimento de matéria-prima nas usinas, por isso a compreensão do sistema logístico da cana-de-açúcar é o ponto inicial para determinação de um planejamento sistêmico, que atrelado ao ferramental computacional e matemático servem como indicadores ao gestor, tomador de decisões.

2.1 Logística da produção de cana-de-açúcar

Segundo Silva (2006) a moagem da cana é feita 24 horas por dia, ininterruptos durante o período de safra, uma vez que a cana se deteriora a medida que aumenta o tempo entre sua colheita e a moagem. Assim sendo, a entrega deve ser rápida para se evitar a perda da qualidade da matéria-prima, o que compromete a eficiência industrial. A figura 1 demonstra a interação indústria-campo, através de subsistemas, conforme Mundim (2009) citando Gualda (1995). O sistema logístico de produção de cana-de-açúcar compreende os sistemas agrícola e industrial, com objetivo de transportar matéria-prima colhida do campo até o pátio da usina. Os autores, então criaram subsistemas dentro do sistema agrícola que são: corte mecânico; carregamento; pátio de engate. O subsistema corte mecânico é a parte do processo de cortar a cana e transferi-la ao transbordo, engate de trator com uma carroceria para recepção da cana. É função do transbordo trafegar pelo campo até o ponto determinado pela gerência agrícola e carregar a composição veicular de carga (CVC), para que esta transporte a matéria-prima a indústria. O subsistema de carregamento é a interação da colhedora de cana com o transbordo. É possível que esse carregamento seja feito diretamente na CVC, porém esta deve ser composta de apenas uma carroceria de carga. O subsistema pátio de engate é onde ocorre a transferência da carga colhida no campo para a CVC. É também nesse ponto que é regulamentada a documentação para o transporte da matéria-prima e liberação da viagem.

Como se pode observar esses subsistemas são interligados, e, portanto necessitam ser gerenciados para que não ocorra desperdícios de tempos e viagens desnecessárias de CVCs para carregamento de matéria-prima.

Segundo o modelo desenvolvido por Gualda (1995), a interligação entre os sistemas são realizadas pelo subsistema rodoviário, que são as vias de circulação para o transporte de cana e que acarretam em abastecimentos e manutenção dos equipamentos. Por fim, o subsistema recepção de cana-de-açúcar que serve de portal de entrada da matéria-prima para a indústria. Antes que a carga seja descarregada para processamento, esta deve ser pesada e retirada uma amostragem para controle da qualidade do produto. É no subsistema também que ocorre a liberação para uma nova viagem para o campo, previamente estabelecida pela gerência agrícola (MUNDIM, 2009; SILVA, 2006; GUALDA, 1995; HAHN, 1994).

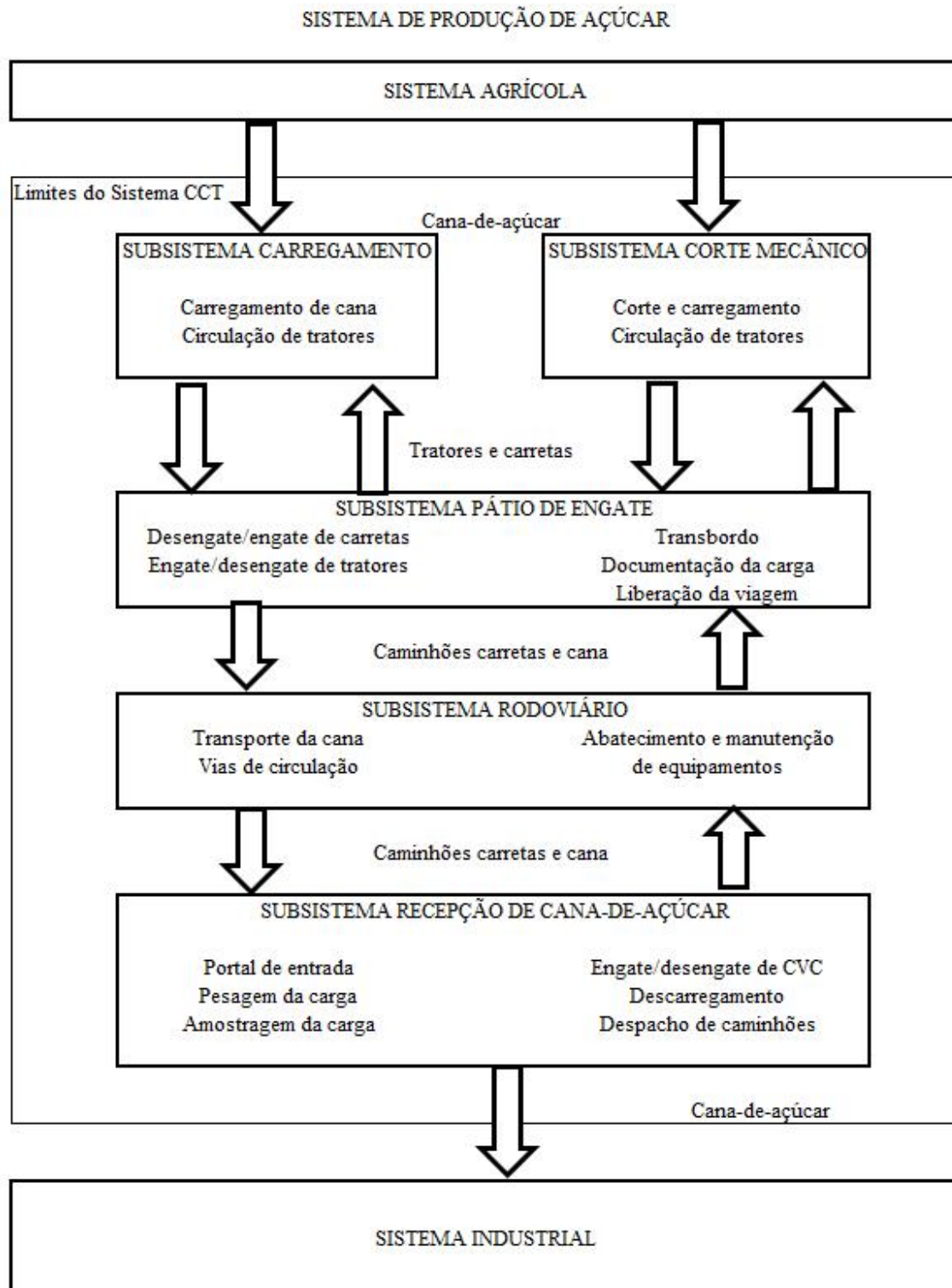


Figura 1 - Subsistemas e componentes do sistema de CCT (Mudim (2009) adaptado de Gualda (1995))

A logística propriamente dita é dividida em duas partes: a) distribuição física e b) administração de materiais, conforme Figura 2. A distribuição física consiste dos processos posteriores aos processos fabris. Já a administração de materiais consiste como a administração dos fluxos que saem do fornecedor e são direcionados à fábrica (BALLOU, 1993).

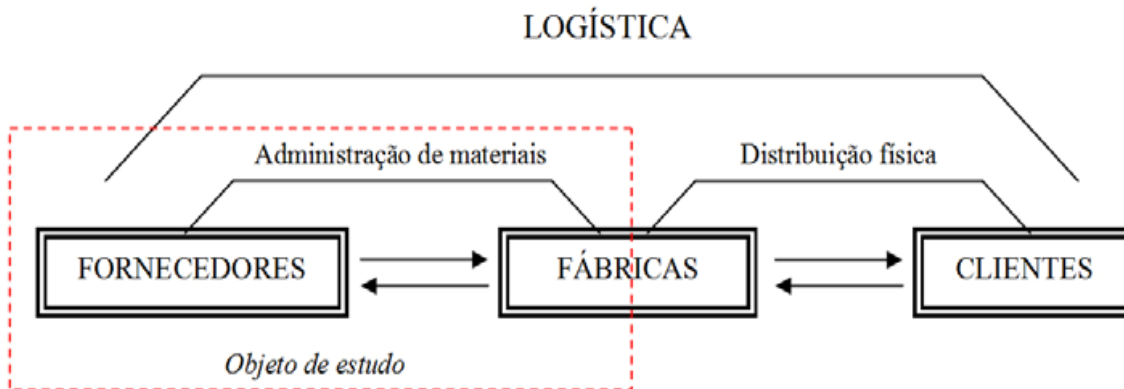


Figura 2 – Esquema logístico genérico destacando o objeto de estudo. Fonte: Ballou, 1993

No caso agrícola a administração de materiais é o abastecimento da usina com cana-de-açúcar de forma mais eficiente e eficaz, analisando a relação do frete e as distâncias dos fornecedores. Já os custos logísticos gerados na cadeia de abastecimento da usina variam de acordo com as diversas distâncias percorridas pela frota de caminhões, desde a frente de corte até à usina e das características de corte e carregamento de cana-de-açúcar nos caminhões (SILVA, 2003; SANTOS et al., 2004).

A caracterização dos tempos decorridos no corte e carregamento é muito importante para a interação com o transporte da cana, uma vez que, depois que a composição veicular de carga (CVC) é liberada para frente de corte os custos de produção para essa CVC são iminentes. Por isso, para o desenvolvimento e aprimoramento do sistema logístico através de novas estratégias gerenciais para o transporte de cana é cada vez mais pertinente para controle e redução dos custos de produção (EID, 1996; CAIXETA, 1998; YAMADA, 1999), nos quais os tempos decorridos são fatores diretamente ligados aos custos de produção. Devido a diversas fontes de incerteza, como condições climáticas, funcionamento perfeito dos equipamentos (sem quebras) no sistema de suprimento, é comum em muitas usinas um descompasso entre a chegada de cana do campo e sua moagem ao longo do dia, resultando nas grandes filas de espera de CVCs nos pátios de

descarregamento, ou seja, altos níveis de estoque de cana e baixos níveis de utilização dessas CVCs (IANNONI; MORABITO NETO, 2002).

É de responsabilidade da gerência agrícola coordenar as operações de corte, carregamento e transporte da cana (CCT), para proporcionar matéria-prima com maior qualidade e sem falha de abastecimentos, uma vez que os custos de retomada de produção industrial são elevados, caso haja ineficiência no abastecimento. A busca pela moagem de uma matéria-prima de melhor qualidade tem levado as usinas a reduzir a quantidade de cana estocada no pátio. E para isso, a confiabilidade do sistema de transporte deve ser alta (SILVA, 2006).

Observando então, a necessidade de eficácia no sistema de transporte as usinas utilizam-se de uma frota mista com caminhões próprios e terceirizados (HAHN, 1994). Mundim (2009) ressalta que o transporte é efetuado de forma cíclica entre a usina e os pontos de colheita da matéria-prima e suas principais características são a de que um caminhão visita apenas um ponto de suprimento (frente de corte), a cada viagem, retornando em seguida à usina. Essas frentes de cortes não são permanentes, podendo variar em número e localização diariamente. Nessa definição, o papel da gerência agrícola é a de evitar a formação de filas para carregamento e descarregamento da matéria-prima, tal qual definir também qual sistema de colheita será utilizado.

2.2 Sistemas de colheita de cana-de-açúcar

As operações de colheita de cana foram classificadas por Ripoli (1996) em três subsistemas distintos: manual, semi-mecanizado e mecanizado. Um sub-sistema envolve o corte e o carregamento, o transporte e a recepção da matéria-prima, e por isso, existe a necessidade de gerenciamento para o uso dos equipamentos, tais como, o modo de operá-lo, localizações das frentes de corte e carregamento. A integração da área agrícola com a indústria é fundamental para minimizar os custos de produção e dar um dinamismo maior ao sistema de colheita. É por isso que o planejamento dessas atividades devem ter uma visão sistêmica, uma vez que a decisão sobre um quesito acarreta interferência direta em todo o sistema (SILVA, 2006).

A definição de colheita de cana-de-açúcar, segundo Bofill et al. (1982) é a atividade que se inicia com o corte da cana no campo e termina quando essa cana está disponível para moagem, na indústria. Essa atividade requer uma série de recursos como colhedoras, caminhões, tratores, reboques e/ou semi-reboques canavieiros. Observa-se então, um significativo investimento, devido ao alto valor agregado aos recursos, além dos custos decorrentes de utilização. Com isso há uma necessidade constante em otimização desses recursos, com redução de custos para as indústrias.

No corte mecanizado a colhedora realiza conjuntamente as operações de corte e carregamento nos caminhões, estando a cana crua ou queimada. Ou seja, no caso das operações com colhedoras (corte mecanizado), tanto o corte como o carregamento é realizado por uma única máquina em uma única operação. O tempo de corte e carregamento da cana em um caminhão, nesse caso, é aproximadamente trinta minutos. Em um dia, a colhedora corta em média mil toneladas de cana, o que representa a substituição de aproximadamente cem homens (SCOPINHO, 1999).

Em decorrência dos graves danos das queimadas ao ambiente, a legislação brasileira, pelo Decreto nº 42.056/97, proíbe a despalha de cana por queima. Com isso, o uso da colheita de cana crua é uma realidade cada vez mais presente. Alves e Novaes (1996) indicam que o setor sucroalcooleiro chegou no limite de um padrão tecnológico baseado na cana queimada, o que irá reduzir o tempo de ciclo operacional do sistema e conseqüentemente nos custos totais de produção.

A afirmação feita por Alves e Novaes (1996) pode ser observada nas pesquisas realizadas na época, a mensuração dos custos totais de produção depende de diversos fatores, o que envolve muitas variáveis e uma grande quantidade de incertezas (LOPES, 1995). Por isso, o trabalho de Silva (2006) apresenta a necessidade constante em planejamento e controle dessas atividades, uma vez que, a utilização dos recursos não se limita apenas à sua quantificação.

Um dos fatores de importância na composição dos custos são os tempos dispendidos no sistema. Isard (1975) descreve que o custo de transporte pode ser altamente afetado pelo tempo de carregamento e descarregamento. Esses tempos são definidos pelo autor como sendo “custo terminal”, tornando-se altamente expressivos quando o transporte é efetuado em pequenas distâncias e menos expressivos em grandes distâncias (em curtas distâncias o veículo tende a

realizar mais carregamento e descarregamento do que em longas distâncias, numa mesma unidade de tempo).

Analisando a influência dos tempos improdutivos e auxiliares (associados com manutenção, carregamento e descarregamento sobre a capacidade de transporte de cana de uma frota, Figueiredo Filho et al. (1984) estudou caminhões com potência entre 88 e 224 kW, e a capacidade de carga entre 15 e 45 t destacando a maior influência desses tempos sobre o desempenho dos veículos nas distâncias mais curtas. A metodologia utilizada por Figueiredo Filho et al. (1986), também fora descrito por Lopes (1995), que considerou a potência de cada caminhão carregado e vazio e sua relação proporcional entre as velocidades em estradas de asfalto e terra.

A determinação de desempenho e custo operacional das operações de colheita de cana, basicamente o que se encontrava na bibliografia era a utilização de valores médios de caminhões e tempo de carregamento. Porém, Gago (1986) apresentou uma padronização de análise para comparativo de quatro sistemas alternativos de colheita de cana. Essa padronização se dá pela distribuição dos tempos de operação, que são: a) tempos produtivos; b) tempos auxiliares c) tempos perdidos. A proposta de Gago (1986) foi retificada por Gonçalves et al. (1993), no que tange a classificação dos tempos de operação das máquinas, assim com a redefinição dos tempos: a) produtivos; b) acessórios; c) auxiliares; d) inaptidão; e) perdidos; f) trabalhados. Esses tempos definidos pelos autores são para determinar eficiências que permitam distinguir paradas de equipamentos por situações gerenciais ou climáticas, é essa a diferenciação em relação à metodologia proposta anteriormente (GAGO, 1986), que permitia a partir das distribuições dos tempos calcularem eficiências, porém não havia essa distinção. Essas influências dos tempos ocasionados por paradas de máquinas sejam colhedoras, tratores, transbordos ou mesmo os caminhões para transporte da cana refletem nos custos de produção.

Assim, Balastreite et al. (1995) destacam que o uso de sistemas otimizados reduz os custos operacionais e identificaram em dez diferentes sistemas com dez diferentes equipamentos para CCT de cana-de-açúcar. Para cada um desses equipamentos existe uma determinada capacidade operacional e custos operacionais distintos. Os custos totais de produção de cana planta variaram em 10% para distâncias de 2 a 30 km até a indústria e na cana soca 35% para as

mesmas distâncias. Essa maior variação na cana soca indica a grande influência do transporte no custo total de produção da cana, principalmente após a implantação da cultura.

Os números com relação ao custo total de produção foram estudados por Caixeta et al. (1998) que representa 30%, sendo que 12% representa apenas o transporte da cana e Chaves, citado por Ripoli e Ripoli (2004) onde os custos para as atividades de colheita e transporte representam 35% aproximadamente.

2.3 Modelos e Simulações

Freitas Filho (2001) destaca a importância dos termos “sistemas” e “modelos” para um melhor entendimento do que vem a ser uma simulação. Um sistema é uma coleção de elementos que interrelacionados atuam para atingir os objetivos determinados. Esses elementos são aqueles que executam atividades e constituem processos. Já o modelo corresponde a uma representação do sistema. Modelos jamais irão conseguir representar todas as peculiaridades do sistema original; seu objetivo é sim ampliar a visão sobre essas peculiaridades de interesse do sistema em estudo. Para o desenvolvimento de um modelo é requerido um grau de abstração e simplificações da organização e do funcionamento do sistema real. A figura 3 demonstra o estudo de Berends (1999), onde distingue diferentes definições e suas aplicações específicas sobre simulação.

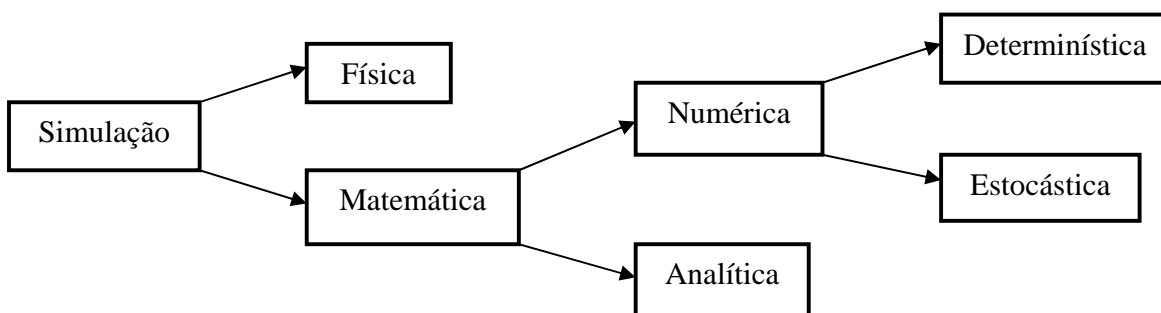


Figura 3 – Distinção dos diferentes tipos de simulação. Fonte: Berends (1999)

A simulação física trata da experimentação de objetos reais que agem como modelos de representação da realidade. Já a simulação matemática as relações de um sistema são expressos em fórmulas matemáticas, o que pode ser feito de duas maneiras: por simulação analítica ou simulação numérica. Na simulação analítica por derivada se chega a uma solução ótima ao modelo proposto. A simulação numérica usa um modelo para avaliar o comportamento dos sistemas não requerendo uma solução ótima. A distinção na utilização da simulação numérica é se será utilizado parâmetros fixos (determinísticos) ou por distribuição de probabilidades (estocástico).

2.3.1 O auxílio da modelagem e simulações no CCT

A utilização de softwares para auxiliar uma alocação ótima de equipamentos, mapear a produtividade, ou distribuição dos tempos produtivos contribuem para a predição do comportamento de um sistema de colheita e transporte de cana-de-açúcar para garantir o fornecimento de cana para moagem.

Hanh et al. (1994) desenvolveram um programa para auxiliar a tarefa de alocação diária de caminhões, carregadoras e tratores. O grande número de variáveis envolvidas nesse planejamento leva a um super dimensionamento da frota, acarretando maiores custos devido ao tempo perdido em filas pelos equipamentos. Além do planejamento diário, o sistema pode ser usado para prever um impacto da introdução de novos equipamentos no sistema de transporte; para testar diferentes números de trocas de turno por período e o melhor intervalo entre uma troca e outra para amenizar o problema de queda no estoque de cana; para treinamento de pessoal. No modelo computacional proposto os tempos perdidos são aqueles nos quais os equipamentos estão disponíveis, mas não são utilizados em função de situações gerenciais. Os tempos perdidos de maior repercussão no sistema são as filas dos caminhões na balança e no campo, o tempo ocioso das colhedoras ou carregadoras à espera de veículos de transporte e o tempo de espera dos tratores por carrocerias (reboques e juletas). O modelo foi validado com a comparação dos resultados da simulação com dias normais de operação de uma usina. A similaridade dos resultados confirma a possibilidade de uso do modelo. Nessa simulação os autores concluíram que, sem mudanças drásticas na operação do sistema de transporte, seria possível reduzir de 5 a

22% o número de caminhões e de 40 a 54% o número de carregadoras e colhedoras que operaram (HAHN et al., 1995).

Iannoni e Morabito (2006) utilizaram-se da simulação estocástica para verificar os tempos perdidos em um sistema de transporte de cana-de-açúcar. A simulação estocástica é realizada utilizando distribuições estatísticas para representar dados de entrada. Para isso, os autores consideraram as seguintes hipóteses no modelo estocástico de simulação: (i) trata-se de um sistema fechado em que o tempo médio total que os veículos permanecem no campo (viagem de ida e volta, tempo de espera e processo de carregamento na frente de corte de cana) é representado por uma distribuição de probabilidade, para cada tipo de veículo, e é determinada a partir dos dados coletados¹ em um típico dia de operações. É importante destacar que os autores consideraram em média, a distância entre talhões de colheita e as condições operacionais de corte, carregamento e transporte se mantenham no período de safra. (ii) o processo de viagem e carregamento no campo é considerado independente entre os veículos. Portanto, cada veículo permanece no campo um tempo determinado pela distribuição de probabilidade, a qual depende do tipo de veículo. O que na prática, há uma dependência entre os veículos, principalmente no processo de carregamento. (iii) o tempo de moagem depende da capacidade da moenda e da carga transportada por veículo. Aqui os autores consideram que as moendas operam de modo ininterruptos e com capacidade total. Para calcular o tempo total de simulação, por meio do software Arena, os autores utilizaram o Método de Loteamento proposto por Law e Kelton (1991) e Pegden et al. (1995), o software realiza os procedimentos estatísticos necessários, calculando a correlação para diferentes tamanhos de lote e realizando o loteamento a partir da determinação do número de observações de cada lote que garanta a correlação próxima a zero. O objetivo da simulação estocástica é proporcionar ao tomador de decisão mais uma ferramenta em relação aos tempos perdidos em fila, uma vez que, a simulação estocástica pode ser contínua (vários dias), considerando as simplificações e as hipóteses, e em razão de seu caráter aleatório, traz alguns desvios em relação aos resultados dos dados obtidos em um dia típico de operação

¹ IANNONI, A. P.; MORABITO, R. **Análise do sistema logístico de recepção de cana-de-açúcar**: um estudo de caso utilizando simulação discreta. *Gestão & Produção*. São Carlos, v. 9, n. 2, p. 107-128, ago. 2002.

(amostra). Apesar disso, os autores consideraram os resultados como aceitáveis e que os resultados podem ser utilizados para medir o desempenho do sistema.

2.3.2 Simulação de desempenho e custos de transporte

O avanço tecnológico acompanhado da evolução em desenvolvimento de programas proporciona, cada vez mais, estudos que se utilizam dessas ferramentas, uma vez que existe a facilidade em estimar acontecimentos futuros sobre uma determinada variável. Mas para isso é necessário o conhecimento profundo, quer seja da programação ou dos conceitos básicos as quais essas variáveis estão associadas.

O conhecimento de custos operacionais atualizados e precisos é o pré-requisito mais importante para avaliar o custo total de uma operação de transporte ou em uma análise de investimento. Beger et al. (2003) em um estudo para minimizar os custos de operação do transporte no setor florestal utilizando-se do método simplex de programação linear, definiu o custo total por caminhão somando-se os custos fixos e variáveis. Segundo os autores, muitos problemas de administração e economia tratam da alocação limitada de recursos, tendo em vista maximizar algum índice de performance ou minimizar alguma medida de custo. As técnicas matemáticas para planejar tais alocações constituem a programação matemática. Assim, em todo problema desenvolvido pelos autores apenas uma função pode ser otimizada, os demais objetivos devem ser expressos como restrições. Nesse contexto, os resultados obtidos no que tange os custos totais somaram R\$ 18.488,98 por mês com o volume transportado de 5.130 estéreos de madeira, o que representa R\$ 3,60 por estéreo, após a utilização da modelagem por programação linear esse custo poderia ser reduzido para R\$ 2,94, sendo que os custos ficariam em R\$ 19.534,65, porém o volume transportado passaria para 6.638 estéreos, isso representa uma redução de 18,33% nos custos.

Ainda no setor florestal, estudos sobre o custo do transporte apontam na faixa de 40% dos custos da empresa (MALINOVISCK; FENNER, 1986). Segundo Leite (1992) a distância é um dos fatores que mais afetam o custo do transporte e este varia de acordo com a localização da fábrica em relação às áreas de produção da madeira. Esse ensejo sobre o setor florestal nada mais serve para observar que os custos de transporte para os setores primários da economia é bastante

significativo, uma vez que a infra-estrutura do país é precária, onde maior parte das estradas não são pavimentadas e/ou péssimas condições de asfalto.

Banchi et al. (2009) no trabalho de custos de reparos e manutenção dos implementos rodoviários determinou que nos custos variáveis 38% são estão vinculados a peças e 21% aos pneus. Subdividindo os implementos rodoviários em reboque CI (20t); reboque CP (24t); semi-reboque CP (35t) e Dolly, os autores encontraram os custos acumulados de reparos e manutenções para cada um deles de acordo com a vida útil em quilômetros. Assim o reboque de cana inteira (CI) apresentou uma vida útil em 230.000 km com seus custos acumulados próximos a R\$ 60.000,00. Já o reboque cana picada (CP) apresentou uma vida útil próximo de 200.000 km com seus custos acumulados em R\$ 40.000,00. Para semi-reboque a vida útil chegou próximo dos 300.000 km com seus custos acumulados em R\$ 40.000,00 e Dolly uma vida útil de 270.000 km e custos em R\$ 20.000,00. No que tange ao uso anual desses implementos a pesquisa apresentou 28.000, 23.000, 56.000, e 56.000 quilômetros respectivamente.

Lopes (1995) desenvolveu um modelo para simulação de um sistema corte, carregamento e transporte (CCT). Os resultados obtidos para os custos do transporte ($R\$.t^{-1}$) pelo modelo proposto ficaram bem próximos aos fornecidos pelas usinas, o que demonstra a eficiência na utilização da ferramenta. Em uma situação de rotina da usina pode-se previamente estabelecer os custos diários do transporte e realizar possíveis correções com a utilização do modelo no sistema. No modelo desenvolvido pode-se verificar ainda que quanto maior a distância percorrida pela composição de transporte maior será seu custo. O autor observou ainda que a composição “treminhão” em comparação com as demais composições em estudo foi a que apresentou menores custos, isso se deve pela maior quantidade de cana transportada em relação aos quilômetros percorridos.

A dificuldade de obtenção de dados reais de custos de sistemas de transporte e de sistemas mecanizados agrícolas é a principal restrição para análise de investimentos e viabilidade de projetos. Para suprir essa necessidade Crossley (1988) sugere a alternativa da modelagem matemática. Na simulação dos custos de transporte, são necessárias as seguintes informações: característica dos veículos, condições de operação dos veículos, e método de análise que combine os dois grupos de informações de forma lógica e realista. Com a validação do modelo é possível submetê-lo a diversas condições operacionais e avaliar comparativamente o resultado de

diferentes cenários. A criação de cenários permite uma redução de erros, além da compreensão de como os diferentes recursos interagem.

Ali e VanOudheusden (2009) estudando o planejamento logístico para veículos agrícolas formularam uma programação integral para planejar rotas e as interações existentes na etapa de colheita com o objetivo de reduzir o tempo de carregamento e conseqüentemente minimizar os custos, porém o modelo proposto só conseguiu soluções exatas para áreas com até cinco hectares.

Law e Kelton (1991) discorrem que as soluções analíticas utilizam técnicas tradicionais da matemática e estatística para realizar a análise e obter informações exatas sobre o sistema modelado. Porém os mesmos autores relatam que se a complexidade do sistema for muito grande, torna-se inviável a utilização de soluções analíticas, pois as relações matemáticas serão muito extensas e o cálculo de extrema complexidade. Por isso, procura-se utilizar a simulação. Isso porque a simulação consegue modelar as características complexas do sistema, inclusive seu aspecto estocástico (ou probabilístico) e dinâmico, sem tornar o modelo difícil de ser estudado.

Botter (2002) propõe a simulação como ferramenta ideal para estudar sistemas grandes, complexos, que ocorrem interações entre atividades (ou entre modais) que dificultam a modelagem analítica.

2.4 Rendimento energético ou balanço energético

Desde a sua efetiva incorporação à matriz energética brasileira em 1975 até a atualidade, o etanol conseguiu importantes resultados: a produção e a demanda ultrapassaram largamente (em volume e escopo) as expectativas colocadas no início do Programa Nacional do Álcool (Proálcool); a implementação de tecnologias e avanços gerenciais tornaram esse combustível renovável competitivo com os combustíveis fósseis; as características de sua produção o tornam a melhor opção, no momento, para a redução da emissão de gases de efeito estufa no setor dos transportes (MACEDO; NOGUEIRA, 2004).

Galembeck e Pardini (2009) dizem que a capacidade de geração de eletricidade nas usinas de açúcar e álcool ligadas a rede elétrica chegou a 1,5 gigawatts em 2007, ou seja, mais do que um décimo de Itaipu, mas com investimentos muito menores. Os excessos de bagaços de cana

são ainda usados por muitas indústrias como fonte de energia térmica, o que permite a estas apresentar uma baixa pegada de carbono.

Sustentabilidade talvez seja a nova palavra para um futuro próximo, assim como fora globalização, revolução, império dentre outras. Portanto, novos conceitos, ou novos métodos devem ser incorporados à análise para o tomador de decisão. Nesse novo ambiente, o foco da gestão agrícola que ainda se baseia nos custos de produção apenas, deve tomar um novo caminho em busca da sustentabilidade.

O balanço energético ou rendimento energético visa estabelecer os fluxos de energia, identificando a demanda total, a eficiência refletida pelo ganho líquido e pela relação produção/demanda, além da quantidade necessária para produzir ou processar um determinado produto (ROMANELLI, 2007; SIQUEIRA et al., 1999; HETZ et al., 1994). Assim, o rendimento energético é um fator de fundamental importância na seleção da matéria-prima para produção de energia, sendo uma técnica utilizada para o mapeamento da cadeia produtiva, uma vez que pelo conceito considera-se não apenas as fontes de energia de entrada empregadas, mas também a energia demandada nos processos de fabricação e obtenção de outros insumos e serviços no processo produtivo.

Romanelli (2007) estudando a sustentabilidade energética de um sistema de produção da cultura do eucalipto utilizou-se da metodologia de análise dos fluxos de energia, uma vez que através dela pode-se identificar a demanda total, determinar a eficiência energética que é refletida pelo ganho líquido de energia e também pela relação entre a energia disponibilizada e demandada. O uso dessa metodologia permite a aplicação de alguns indicadores que abordam o desempenho energético de sistemas de cultivo, sendo os principais: *Energy Return Over Investment* (EROI); Balanço de Energia (BE); Intensidade Energética (IE). O EROI refere-se a razão da energia disponibilizada/ demandada em um processo. O BE refere-se ao ganho líquido de energia por área cultivada e a IE é a intensidade de energia por unidade de produto (massa, volume) obtido, sendo vital para avaliar processos cujos produtos não apresentam finalidade de disponibilização de energia. Esses indicadores são determinados a partir dos fluxos de energia de entrada e saída do sistema. A determinação desses indicadores podem ser identificados pelas equações (1) e (2):

$$\text{EROI} = (\text{ES} - \text{EE}) / \text{EE} \quad (1)$$

Em que,

EROI: retorno em energia sobre energia investida, em MJ.MJ⁻¹;

ES: energia de saída, em MJ.ha⁻¹;

EE: energia de entrada, em MJ.ha⁻¹.

$$BE = ES - EE \quad (2)$$

Em que,

BE: balanço de energia, em MJ.ha⁻¹.

Conforme o conceito aplicado, Romanelli (2007) explica que caso a determinação da biomassa não seja para a disponibilização de energia, pode-se considerar a biomassa como sendo um *output*. Assim, ter-se-á um índice que relaciona a biomassa produzida com a energia demandada pelo sistema de produção. Esse índice é a intensidade energética (IE), energia por massa ou volume. Para seu cálculo, determina-se o quanto de energia por unidade de produto final foi requerida através da razão de energia de entrada (MJ.ha⁻¹) e a produtividade obtida (m³.ha⁻¹) (Equação 3).

$$IE = EE / Prod \quad (3)$$

Em que,

IE: intensidade energética, em MJ.m⁻³;

Prod: produtividade, em m³.ha⁻¹.

Após definidos a metodologia de cálculo, o próximo passo é determinar as saídas de energia do sistema, ou seja, o produto da produtividade da floresta (m³.ha⁻¹) pelo conteúdo energético da floresta (MJ.m³). Em seguida é feito a determinação das entradas de energia, ou seja, com base nos fluxos de mão-de-obra, depreciação de maquinário, consumo operacional, nos insumos aplicados na implantação e condução da floresta e nos respectivos índices de energia de cada um deles, determina-se então, o fluxo de entrada de energia do sistema de produção avaliado (ROMANELLI, 2007). Assim sendo, o autor, encontrou os seguintes resultados em sua pesquisa: EROI de 58,5 MJ.MJ⁻¹, a intensidade energética da biomassa foi de 124,7 MJ.m³ e o balanço de energia foi de 2.120, 7 GJ.ha⁻¹. Se considerar a energia solar incidente durante o ciclo da rotação

a eficiência de transformação de energia é inferior a 100%, em função da irreversibilidade dos processos (entropia).

Assenheimer et al. (2009) destacam que com aumento da demanda por alimentos, devido ao aumento da população mundial, faz com que a demanda por energia nos sistemas de produção sejam maiores, assim a preocupação com a escassez dos recursos energéticos ameaça a sustentabilidade dos sistemas de produção. A proposta feita pelos autores foi uma avaliação energética de sistemas de produção de soja, para isso em seu ensaio para o sistema orgânico foi adotado aplicação de herbicida não seletivo, com posterior semeadura direta sobre a palha e colheita mecanizada. Já no sistema convencional utilizou-se o plantio direto.

Para Comitre (1993), a energia consumida em um processo produtivo é classificada em energia direta e indireta. Segundo Castanho Filho e Chambaribery (1983) a energia direta é considerada como aquela advinda da energia biológica (humana e animal) e fóssil, e, a indireta advinda de máquinas e equipamentos, ponderando a depreciação da vida útil.

Portanto, para realizar as conversões energéticas entre os sistemas Assenheimer et al. (2009), utilizaram da metodologia proposta por Santos et al. (2001), em que a conversão energética dos sistemas é a razão entre a energia convertida e a energia consumida, em cada sistema. Já o balanço energético é a diferença entre a energia convertida e a energia consumida. Segundo Carmo et al. (1998) a eficiência está ligada ao total de calorias produzidas, que por sua vez estão associadas aos redutos e tecnologias empregadas na produção. Os resultados apresentados por Assenheimer et al. (2009) para a quantificação energética dos insumos, que nada mais é que a multiplicação do produto físico pelos respectivos índices de conversão, computados em Mega Joule (MJ). Assim, o maior consumo de energia no estudo realizado foi do fertilizante 44,14% do consumo total de energia que representa 5.408,63 MJ.ha⁻¹. No sistema convencional o maior consumo foi observado com relação ao herbicida 8.837,73 MJ.ha⁻¹, representando 52,85%. A eficiência energética produzida no sistema convencional foi de 130.540,80 MJ.ha⁻¹, correspondendo uma produção de 130 sacas por hectare aproximadamente. Já o sistema orgânico apresentou 53.943,48 MJ.ha⁻¹, correspondendo a uma produção de 53 sacas aproximadamente por hectare, ou seja uma produção inferior a 59%. O balanço energético na produção de soja convencional foi de 113.817,37 MJ, e 41.689,04 MJ no sistema orgânico com a energia consumida para a produção de um hectare foi de 16.723,43 MJ e 12.254,44 MJ

respectivamente. O alto rendimento energético obtido na cultura convencional se deve ao sistema de plantio direto, uma vez que a utilização de operações com maquinários são reduzidos, contribuindo para uma economia no consumo de energia fóssil.

Avaliando o custo energético em diferentes operações agrícolas Fernandes et al (2008) identificaram que os custos energéticos do plantio direto foram menores que o plantio convencional em 52,72%. O preparo com cultivo mínimo (grade leve) com 77,52%, proporcionou uma economia entre 1.216,52 e 578,69 MJ.ha⁻¹, respectivamente, o equivalente a 25,45 e 12,10 litros de combustível para cada hectare trabalhado. Os autores utilizaram da metodologia proposta por Fluck (1981).

Uma vez que, sustentabilidade engloba não apenas aspectos econômicos é necessário uma nova abordagem para determinar viabilidade em projetos de investimentos. A ponderação entre o consumo de recursos naturais e a lucratividade econômica estimula a busca da lucratividade através da melhoria ambiental (SHIREMAN, 1999). Existe um crescente reconhecimento que a viabilidade econômica em longo prazo e a proteção ambiental são compatíveis.

As indústrias em geral buscam indicadores de desempenhos econômico-financeiros para justificar seus investimentos. O segmento agrícola não é diferente, porém a viabilidade de projetos e processos necessita de uma nova ótica para proporcionar melhores condições de vida à sociedade. Com a utilização da ferramenta computacional, nesse caso a utilização de modelos pode-se quantificar para uma determinada produção suas implicações nos custos da empresa, bem como a demanda de energia no processo. Assim o tomador de decisões poderá simular e escolher a melhor opção para empresa e para a sociedade, buscando um processo mais limpo, ecologicamente eficaz.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para atender ao objetivo proposto para o trabalho, caracterizou-se, primeiramente, o sistema de transporte de cana de açúcar por meio de um esquema e com base nesse esquema desenvolveu-se um fluxograma para apoiar o desenvolvimento de um modelo sistêmico. O modelo integra as variáveis que permite avaliar o desempenho operacional, econômico e energético do transporte. A seguir coletou-se se junto a uma Usina dados referentes ao desempenho operacional da composição (CVC) – cavalo mecânico e carrocerias – que associados aos dados de bibliografia compõem o conjunto de variáveis referente à entrada de dados no modelo. O modelo foi verificado quanto a erros e aplicado ao desenvolvimento de cenários.

A Figura 4 apresenta um esquema do sistema de transporte de cana a ser analisado. O ciclo do transporte se inicia no controle da Usina, responsável pela logística, onde é indicado o local, talhão, para onde a CVC deve se deslocar para ser carregada. Ao chegar ao talhão existem duas possibilidades. Na primeira, o cavalo é separado das carrocerias e acoplado a outras já carregadas (cana picada) e, na segunda, a composição aguarda o carregamento pelo transbordo retornando para a indústria (Usina) com as mesmas carrocerias. Ao chegar à Usina existem duas opções. Na primeira, o cavalo é desacoplado das carrocerias e acoplado a outras vazias e dirige-se ao controle iniciando um novo ciclo de carregamento. A cana contida nas carrocerias será pesada e descarregada com apoio de outro veículo. Na segunda, a composição aguarda na fila, passa pela balança, efetua o descarregamento na indústria e volta ao ponto de controle para o início de um novo ciclo. Quando o cavalo opera independentemente das carrocerias o sistema é denominado popularmente de “bate-volta”.

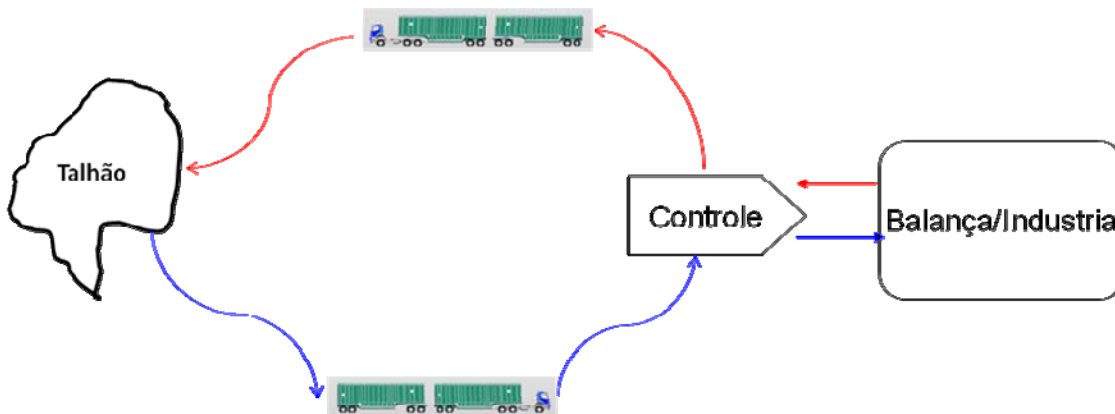


Figura 4- Ciclo operacional do transporte de cana

A composição veicular de transporte (CVC), objeto desse estudo, é formada por um modelo de cavalo mecânico, duas carrocerias e um acoplamento de carrocerias (dolly). O cavalo mecânico tem uma potência bruta no motor de 315 kW (428 cv), capacidade máxima de tração de 123.000 kg e peso (massa) bruto total de 10.300 kg. As carrocerias são fabricadas em aço, perfil I, tem capacidade volumétrica de 90 m³, tombamento lateral e massa de 26.740 kg. O total da composição em ordem de marcha é de 37.040 kg. No ciclo operacional adotado, o cavalo mecânico acompanha as carrocerias tanto no carregamento quanto no descarregamento e considerou-se que a composição opera somente durante a safra.

3.1 Desenvolvimento do modelo

Com a finalidade de representar o ciclo operacional do transporte foi desenvolvido um modelo em planilha eletrônica² com base no fluxograma apresentado na figura 5. O modelo inicia (1) com a entrada de dados referentes ao desempenho operacional (2): velocidade na estrada; distância; tempo de carregamento e descarga; consumo de combustível na viagem; carga

² Microsoft Excel

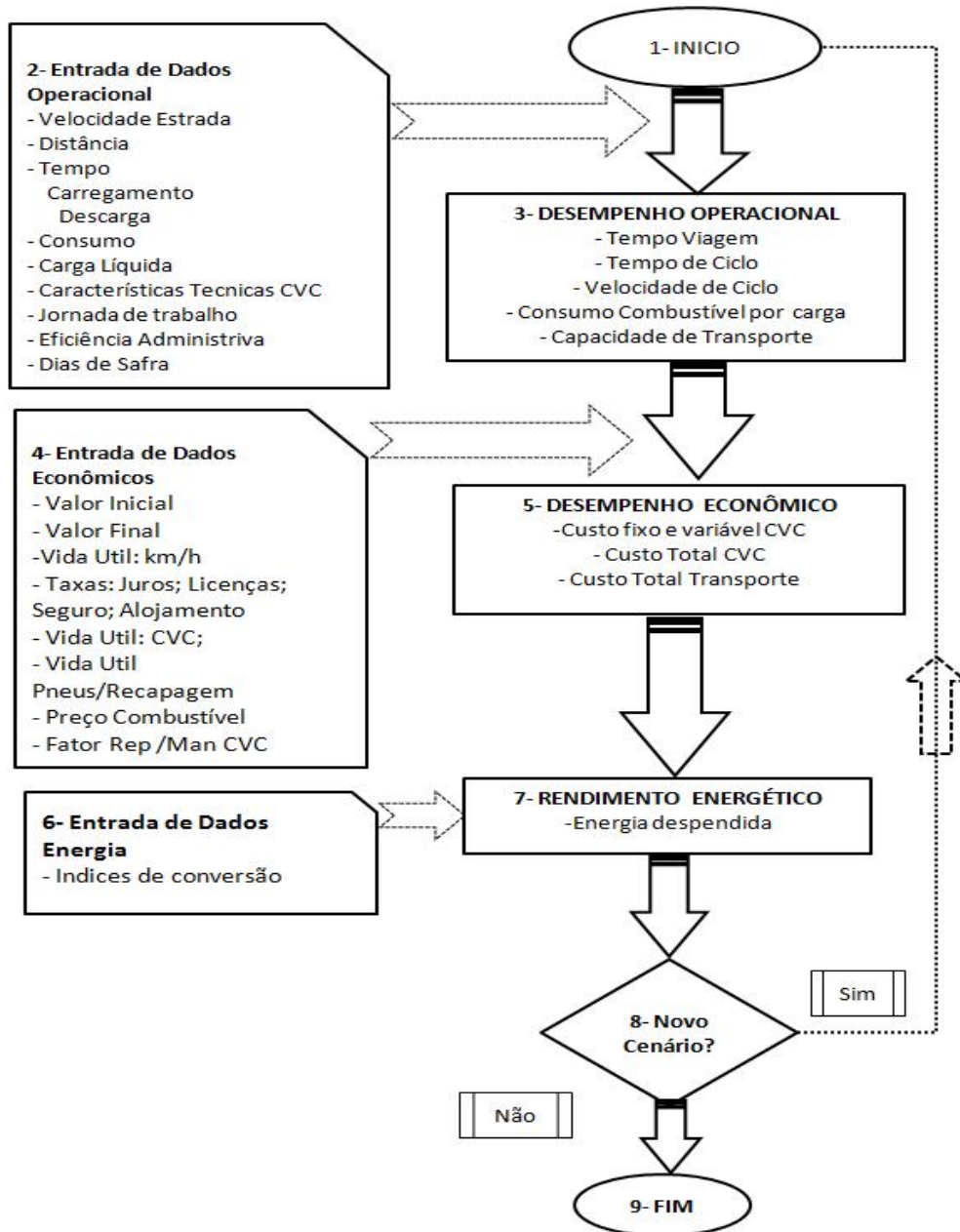


Figura 5 – Fluxograma do modelo para o cálculo das variáveis que compõem o desempenho operacional, econômico e energético

líquida; características técnicas da composição veicular de transporte; jornada de trabalho; eficiência administrativa; dias de safra. Com bases nos dados e nas suas relações, o modelo calcula o desempenho operacional do conjunto cavalo mecânico-carroceria (3): tempo de viagem;

tempo de ciclo; velocidade de ciclo; consumo de combustível por tonelada transportada; capacidade de transporte em toneladas. O desempenho operacional associado com os dados econômicos (4) fornece as variáveis que permitem analisar o desempenho econômico da CVC (5): custos fixos e variáveis; custo total da composição; custo total do transporte. Com base nos índices de conversão de energia (6) consumo de combustível (3) e nos resultados referentes ao desempenho operacional/econômico determina-se o rendimento energético e a energia despendida. Caso se deseje um novo cenário (8), inicia-se o processo novamente, realizando-se as modificações desejadas nos dados de entrada.

3.2 Determinação do desempenho operacional

Os dados do desempenho operacional da composição foram obtidos nos registros de uma Usina³ referentes a 561 viagens durante a safra 2009/10. Desse total extraiu-se uma amostra aleatória com 250 dados para as variáveis: a) velocidade média na estrada; b) carga transportada; c) distância percorrida; d) tempo de carregamento; e) tempo de descarregamento. Para o consumo de combustível, a amostra correspondeu a 102 dados de um total de 163. Esses dados referem-se ao modelo da CVC descrito. A análise dos dados foi realizada utilizando-se da estatística descritiva. Quanto aos outros dados necessários para operacionalizar o modelo, eles foram obtidos da bibliografia ou por consulta direta em catálogos e vendas.

O tempo do ciclo operacional da CVC é calculado com base nos dados referentes à distância do ciclo (DTc), velocidade média de estrada (VME), tempo de carregamento (TCar) e descarregamento (TDes), equação 1. A distância do ciclo refere-se ao percurso controle-talhão, talhão-controle, completando um ciclo.

$$TC = \frac{DTc}{VME} + \frac{(TCar + TDes)}{60} \quad [1]$$

³ A Usina está localizada na região central do Estado de São Paulo e a mesma solicitou que o nome não fosse identificado e que os dados só fossem utilizados de forma parcial. Por esse motivo extraiu-se do total uma amostra aleatória.

TC: tempo de ciclo (h);

DTc: distancia do ciclo percorrida pela composição (km);

VME: velocidade média na estrada (km.h^{-1});

TCar: tempo carregamento (min.);

TDes: tempo descarregamento (min.).

A velocidade média no ciclo (VMC) é calculada por meio da equação 2:

$$VMC = \frac{DTc}{TC} \quad [2]$$

Em que:

VMC: Velocidade média do ciclo em km h^{-1} .

O número de viagens que a composição realiza em uma jornada de trabalho é calculado como:

$$NVJ = \frac{JRT}{TC} \quad [3]$$

NVj: número de viagens na jornada;

JRT: jornada real de trabalho em horas (h).

A jornada de trabalho real refere-se ao período em horas no dia no qual a CVC operou no transporte de cana e depende da área administrativa da empresa. Desse período são excluídos os tempos referentes ao clima, quebras, operador, abastecimento, lavagens entre outros. Para que esses tempos sejam considerados no calculo do desempenho operacional um valor de eficiência de aproveitamento da jornada, aqui denominada de eficiência administrativa (EFA), é incluído, equação 4.

$$JRT = \frac{(THj \times EFA)}{100} \quad [4]$$

Em que:

THj: total de horas da jornada (h);

EFA: Eficiência administrativa (%).

Com base no número de viagens e na carga líquida transportada (CLt) pela composição em um ciclo, calcula-se a quantidade de cana transportada diariamente para as condições especificadas pelos dados, equação 5:

$$QCTj = NVj \times CLt \text{ (t)} \quad [5]$$

Em que:

QCTj: quantidade de cana transportada na jornada (t dia⁻¹);

CLt: carga líquida transportada (t).

A quantidade de cana prevista para ser transportada pela composição na safra é calculada de acordo com a equação 6:

$$QCTs = QCTj \times NDs \quad [6]$$

Em que:

QCTs: quantidade de cana transportada na safra (t safra⁻¹);

NDs: número de dias de safra.

O número de dias de safra corresponde aos dias efetivamente disponíveis para o transporte. As distâncias percorridas pela composição na jornada e na safra são obtidas por meio das equações 7 e 8.

$$DTj = DTc \times NVj \quad [7]$$

Em que:

DTj: distância percorrida na jornada pela composição (km).

$$DTs = DTj \times NDs \quad [8]$$

Em que:

DTs: distância percorrida na safra pela composição (km).

3.3 Determinação do desempenho econômico

O desempenho econômico envolve o cálculo dos custos diretos, fixos e variáveis. Os custos diretos são aqueles associados à posse e ao uso e divididos em fixos e variáveis. Os custos fixos independem da utilização da composição e englobam: depreciação; seguro; alojamento; taxas de licenciamento, juros. Os custos variáveis dependem do uso e compreendem os gastos com combustível, reparos e manutenção e pneus. Como o modelo foi desenvolvido para calcular o desempenho dos equipamentos, cavalo mecânico e carrocerias, o custo da mão de obra não será incluído nos cálculos. As equações apresentadas são aplicadas indistintamente para o cavalo mecânico e as carrocerias, alterando-se somente os valores.

3.3.1 Custo fixo

A metodologia proposta para o cálculo do custo fixo da CVC é baseada na ASAE (2001), equação 9:

$$CFa = Vi \times \left\{ \left[\frac{(1 - Vf)}{Vu} \right] + \left[\frac{(1 + Vf)}{2} \right] \times i + (Al + Sg + Lc) \right\} \quad [9]$$

Em que:

CFa: custo fixo anual (R\$);

Vi: valor inicial em reais (R\$);

Vf: valor final em decimal;

Vu: vida útil em ano;

i: taxa de juros aplicado ao capital (decimal);

Al: alojamento (decimal);

Sg: seguro (decimal);

Lc: licenciamento (decimal).

Os dados para o calculo devem ser alimentados no modelo. Os cálculos dos custos fixos para o cavalo mecânico e para as carrocerias são calculados independentemente e depois somados, compondo o custo fixo da CVC.

3.3.2 Custo variável

O custo variável compreende os gastos referentes ao combustível, reparos e manutenção e pneus. O consumo de combustível refere-se ao conjunto cavalo-carretas durante o ciclo de transporte e foi obtido com base no banco de dados da Usina, correspondendo a uma amostra de 102 dados de um total de 163. Para os itens reparos e manutenção e pneus, o modelo calcula separadamente os custos para o cavalo mecânico e carrocerias e posteriormente realiza a soma para obter o custo variável da CVC.

Custo do combustível: O custo do combustível é determinado com base no consumo por quilometro e preço do litro, equação 10:

$$CCb = Pl \times CCk \quad [10]$$

Em que:

CCb: custo do combustível em reais por quilometro (R\$ km⁻¹);

Pl: preço do litro de combustível – Diesel; (R\$ L⁻¹);

CCk: consumo de combustível da composição no ciclo (km L⁻¹).

Reparos e manutenção: Neste item estão envolvidos os valores das peças e mão-de-obra necessárias para a realização dos reparos e a manutenção da CVC ao longo da vida útil. Os custos dos reparos e da manutenção é obtido por meio de um porcentual em relação ao valor inicial que será despendido ao longo da vida útil, equação 11 :

$$CRM = \frac{(Vi \times FRM)}{VUk} \quad [11]$$

Em que:

CRM: custo de reparo e manutenção (R\$ km⁻¹);

FRM: fator de reparo e manutenção em decimal;

VUk: vida útil em quilômetros.

Ressalta-se que o modelo calcula separadamente os custos dos reparos e manutenção para o cavalo-mecânico e para as carrocerias realizando a somatória posteriormente. Deste modo os valores referentes ao valor inicial (Vi), fator de reparo e manutenção (FRM) e vida útil em quilômetros (VUk) são atribuídos independentemente para o cavalo mecânico e para as carrocerias.

Custo dos pneus: Devido ao valor unitário e ao número de pneus de uma composição, o custo variável desse componente deve ser calculado em separado, Lopes (1995). No modelo considerou-se os custos referentes ao uso dos pneus novos e a recuperação (recapagem). Os custos referentes aos pneus foram calculados como:

$$CPk = CPnk + CRk \quad [12]$$

Em que:

CPk: custo variável por quilometro referente aos pneus (R\$ km⁻¹);

CPnk: custo por quilometro referente à vida útil do pneu novo (R\$ km⁻¹);

CRk: custo por quilometro referente à vida útil do pneu recapado (R\$ km⁻¹).

Os valores de CPnk e CRk são calculados no modelo por meio das equações 13 e 14.

$$CPnk = \frac{NPnE \times VPn}{VUPn} \quad [13]$$

Em que:

NPnE: número de pneus novos referentes ao equipamento (cavalo mecânico ou carrocerias);

VPn: valor do pneu novo em reais (R\$);

VUPn: vida útil do pneu novo em quilômetros (km).

$$CRk = NRc \times \left(\frac{NPR \times VRec}{VURec} \right) \quad [14]$$

Em que:

NRc: número de recapagens previstas/recomendadas;

NPR: número de pneus a recapar;

VRec: valor da recapagem (R\$);

VURec: vida útil de cada recapagem (km).

O custo variável da CVC, em reais por quilometro, é dado pela somatória dos valores, cavalo mecânico e carrocerias, referentes ao combustível, reparos e manutenção e pneus.

$$CVrC = Ccb + CRM + CPk \quad [15]$$

Em que:

CVrC: custo variável da composição

3.3.3 Custo do transporte

O custo da tonelada de cana-de-açúcar transportada é obtido por meio da equação 16.

$$CTr = \frac{[CFa + (CVrC \times DTs)]}{QCTs} \quad [16]$$

CTr: custo total do transporte (R\$ t⁻¹).

3.4 Rendimento energético e energia despendida no transporte

O rendimento energético é calculado de acordo com a proposta de Gago et al (1986). Ele pondera a quantidade de cana transportada com o consumo de combustível na unidade de tempo e permite avaliar os efeitos de diferentes cargas e distâncias, equação 17.

$$RE = CLt \times CCk \quad [17]$$

Em que:

RE: rendimento energético em (t km L⁻¹)

A metodologia empregada no modelo para o cálculo da energia despendida no transporte tem como base a utilizada por Santos et al. (2001) e Romanelli (2007). A energia despendida é definida neste trabalho como a razão entre a energia consumida pelo sistema de transporte e a carga transportada. A quantificação energética foi obtida por meio do produto físico pelos respectivos índices de conversão, computados em MJ (Mega Joule), equação 18.

$$EDt = EDcvc + EDCb + EDR \quad [18]$$

Em que:

EDt: energia despendida no transporte em MJ t⁻¹;

EDcvc: energia despendida com a CVC (MJ t⁻¹);

EDCb: energia despendida com o combustível (MJ t⁻¹);

EDR: energia despendida com rodados (pneus).

Os índices de conversão utilizados no cálculo da EDt foram obtidos na bibliografia e são apresentados na tabela 1. A CVC foi separada em seus principais itens referentes à energia despendida: cavalo e carroceria; combustível; pneus.

Tabela 1 – Índice de conversão de energia

Item	Índice de conversão	Fonte
Depreciação CVC	68,83 MJ.kg ⁻¹	Comitre, V. (1993)
Combustível	43,93 MJ L ⁻¹	Comitre, V. (1993)
Pneus	38,50 MJ.kg ⁻¹	Hetz, E; Barrios, A (1997)

a) Energia despendida com a carroceria e cavalo mecânico

$$ED_{Cvc} = \frac{M_{cvc} \times IC_{cvc}}{V_{UxCLcxNV} \times NDs} \quad [19]$$

Em que:

M_{cvc}: massa da CVC (t);

IC_{cvc}: Índice de conversão referente à CVC (MJ t⁻¹)

A massa da CVC é calculada por meio da soma da massa do cavalo-mecânico, 10.320 kg (10,3 t) e das carrocerias 26.740 kg (26,7 t). O índice de conversão IC_{cvc} refere-se ao índice apresentado na Tabela 1, adaptado para a massa em tonelada.

b) Energia despendida com o combustível

$$ED_{Cb} = \left(\frac{DTc}{CCkxCLc} \right) \times ICc \quad [20]$$

Em que:

ICc: índice de conversão do combustível (MJ L^{-1}) – Tabela 1

c) Energia despendida com os rodados (pneus)

$$EDR = \left[\frac{NPn \times (MPn + MRec \times NRec)}{DTPn} \right] \times \left[\frac{DTc \times ICPn}{Clc} \right] \quad [21]$$

Em que:

NPn: número de pneus da composição (CVC);

MPn: massa do pneu novo (kg);

MRec: massa referente ao material de recapagem do pneu (kg);

NRec: número de recapagens do pneu;

DTPn: distância total percorrida pelo pneu em sua vida útil (km);

ICPn: índice de conversão para pneus (MJ kg^{-1}) – Tabela 1.

A distância total percorrida pelo pneu é calculada por meio da equação 22.

$$DTPn = VUPn + (NRec \times VURsc) \quad [22]$$

Em que:

VURsc: vida útil da recapagem.

3.5 Verificação e aplicação do modelo

A verificação do modelo (planilha) foi realizada por meio da comparação dos resultados gerais obtidos na planilha com os resultados de situações conhecidas, bem como de cálculos parciais referentes à rotinas intermediárias, como por exemplo: cálculo da depreciação anual; custo do combustível; energia despendida com o combustível entre outras. Ela foi verificada em suas funções resultantes, com a intenção de observar se ocorreram divisões por zero, ou qualquer outro resultado extremo. Após essa fase o modelo foi aplicado para avaliação de cenários referentes ao transporte de cana.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo em planilha foi verificado e não foram encontrados erros na rotina de cálculo. Essa verificação foi efetuada por meio da comparação dos valores obtidos com valores conhecidos para diversas situações e considerou-se que ele pode ser utilizado para as simulações. A planilha desenvolvida pode ser visualizada no Anexo I, bem como os valores iniciais das variáveis utilizadas nas simulações.

4.1 Análise dos dados referentes ao desempenho operacional da CVC

Os dados referentes à velocidade média, tempo de carregamento, tempo de descarregamento, carga líquida transportada, distância percorrida e consumo de combustível foram obtidos por amostragem e analisados por meio da estatística descritiva, com a finalidade de definir os valores para compor o cenário básico, ou seja, uma situação de rotina para Usina.

4.1.1 Velocidade média na estrada (VME)

A distribuição das velocidades da CVC na estrada pode ser observada na Figura 6. Os valores referem-se à média ponderada entre a velocidade e a distância percorrida com a composição vazia e carregada, estabelecendo-se assim a velocidade média na estrada (percurso).

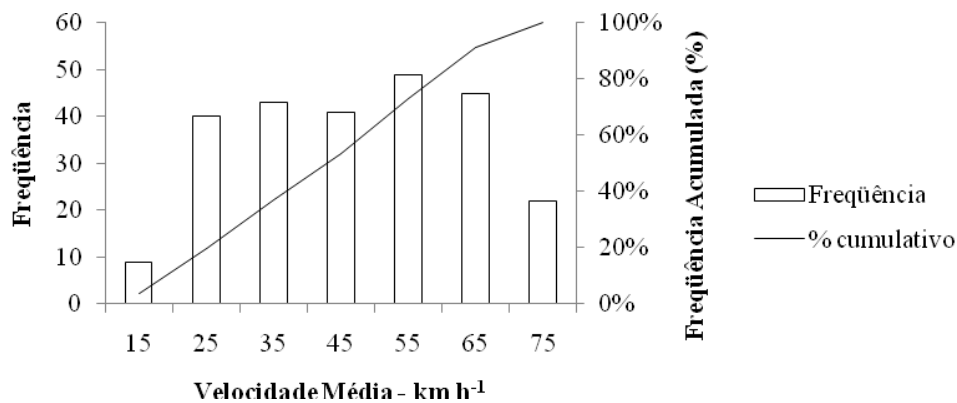


Figura 6 – Velocidade média na estrada: frequência relativa e acumulada

A média da velocidade foi de 42,4 km h⁻¹, com desvio-padrão de 16,5 km h⁻¹, moda de 55,0 km h⁻¹, com os extremos de 11,0 km h⁻¹ e 71,0 km h⁻¹. A mediana encontrada foi 44,0 km h⁻¹ e o erro padrão da amostra de 1,04, com o coeficiente de variação (CV) de 38,8%. A variação da velocidade está associada a várias causas como o relevo, estado do piso e tráfego da estrada, carga transportada, entre outras.

4.1.2 Tempo de carregamento

O tempo de carregamento é um fator operacional ligado diretamente ao sistema de colheita. O tempo de carregamento considerado aqui compreende desde a chegada da composição ao talhão até o início da viagem de retorno. Ele é composto basicamente do tempo de espera e o carregamento em si, figura 7.

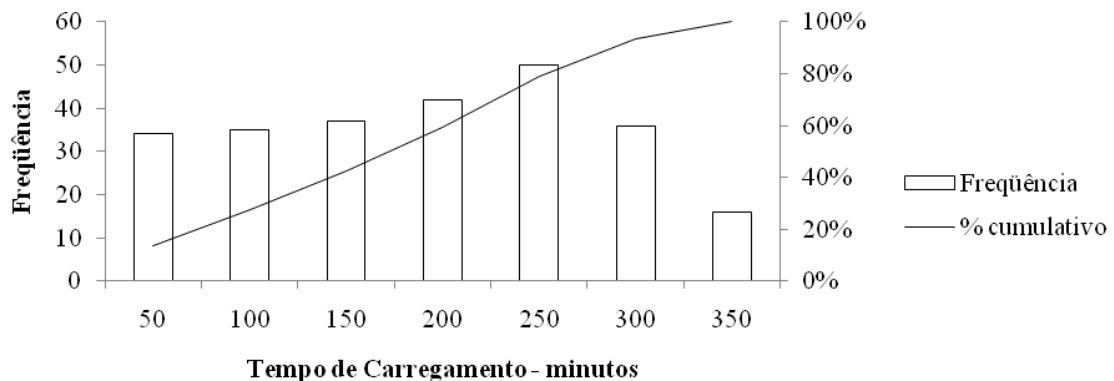


Figura 7 – Tempo de carregamento no talhão: frequência relativa e acumulada

A média da amostra foi 330,9 minutos, com desvio-padrão de 177,4 minutos, coeficiente de variação de 53,6%, mediana de 350,5 minutos e moda de 349,0 minutos. O tempo de carregamento mínimo foi de 7,0 minutos e máximo de 643,0 minutos, ou seja, para esse último aproximadamente 10 horas para carregamento, o que não deve ser considerado para uma situação normal. A média do carregamento ao redor de 5 horas representa um tempo de espera ainda excessivo. Esse tempo muito alto está associado principalmente à forma de obtenção dos dados referentes ao desempenho operacional da CVC. Para vincular a velocidade, consumo de combustível da CVC e o motorista foi necessário operar a composição em conjunto, quando o normal é a operação do cavalo mecânico independente da carroceria, sistema “bate-volta”. Os tempos de carregamento podem ser influenciados também por problemas administrativos como a falta de colhedoras e/ou transbordos até manutenções corretivas na Usina. Apenas 20,0% dos carregamentos foram realizados em tempos inferiores a 100,0 minutos (1 hora e 40 minutos), 14,0% do tempo está compreendido entre 150,0 a 200,0 minutos, 18,8% estão entre 400,0 a 450,0 minutos e 21,2% tempos entre 500,0 a 550,0 minutos.

4.1.3 Tempo de descarregamento

O tempo de descarregamento compreende o período desde a chegada da CVC na área de controle da Usina, após o trajeto de retorno. A CVC aguarda a liberação para entrada na fila, efetua a pesagem e/ou amostragem da carga desloca-se para a área de descarregamento,

descarrega a carga, realiza a nova pesagem (por diferença de peso é calculada a carga líquida), e se desloca até área de controle da Usina onde é liberada para iniciar um novo ciclo. Os tempos dessa operação são apresentados na figura 8.

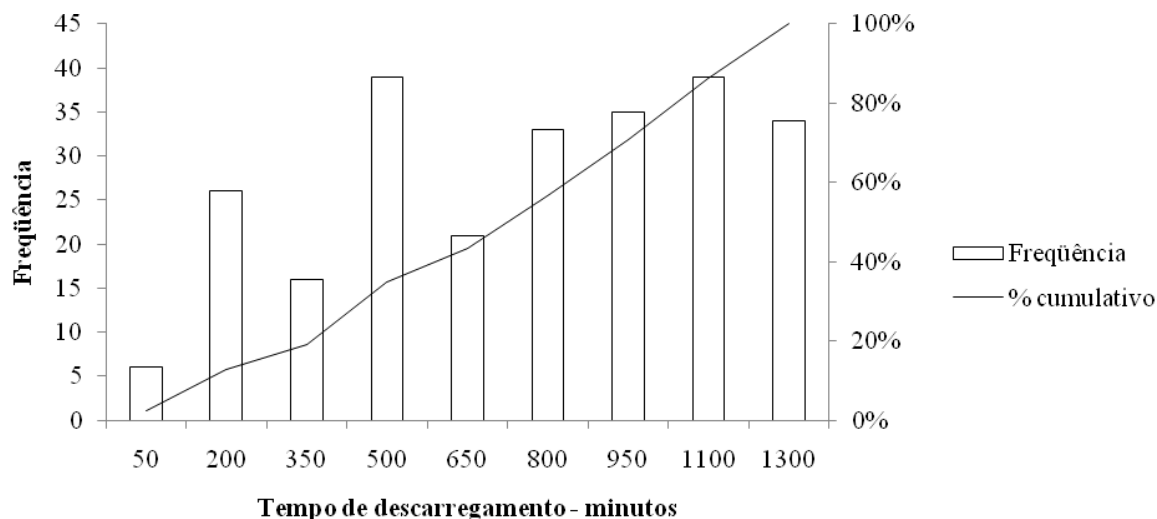


Figura 8 – Tempo de descarregamento: frequência relativa e acumulada

A média dos tempos foi 688,6 minutos com desvio-padrão de 351,3 minutos, coeficiente de variação de 51,0%, mediana de 726,0 minutos e moda de 293,0 minutos. O erro padrão da amostra foi de 22,2, com um tempo mínimo de descarregamento 22,0 minutos e máximo de 1301,0 minutos. Apenas 15,0% dos tempos correspondem a um período menor do que 200,0 minutos e 44,0% acima de 800,0 minutos. Existem várias causas que interferem no tempo de descarregamento, desde a forma de coleta dos dados, já ressaltada no item 4.1.2, manutenções corretivas na Usina, o acúmulo de tráfego entre outras.

4.1.4 Carga líquida transportada

A distribuição da carga líquida transportada pela CVC é apresentada na figura 9.

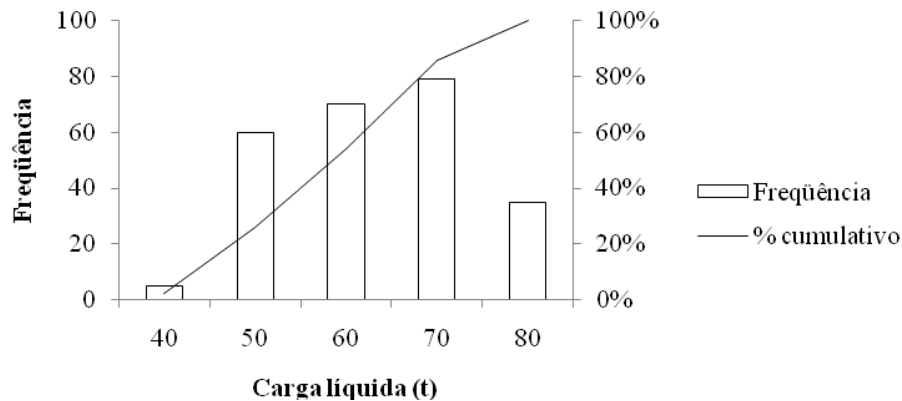


Figura 9 – Carga líquida transportada: frequência relativa e acumulada

A média da carga transportada foi 66,5 toneladas, desvio-padrão de 10,4 toneladas, coeficiente de variação de 15,6%, moda de 59,0 toneladas, mediana de 67,0 toneladas, erro padrão da amostra de 0,66. A carga mínima transportada foi 48,0 toneladas e a máxima de 83,0. Da carga líquida transportada, 54,0% encontram-se entre o intervalo de 48,0 a 68,0 toneladas. Essa variação da carga está associada a vários fatores como a produtividade do talhão, a variedade e o número de corte da cana, a operação de transbordo, se a carga representa um final de área, entre outros. Mesmo a mínima carga líquida transportada (48 t) ultrapassa em 3 t os valores legalmente estipulados para uma composição de transporte dessa natureza, que é 45 t de carga útil.

4.1.5 Distância média de ciclo

A distância média de transporte para uma Usina é praticamente constante ao longo das safras. Uma Usina possui terras próprias e de fornecedores e a distância não deve variar ao longo do tempo, a não ser que novas áreas sejam incorporadas ou a matéria prima seja adquirida de outros locais para atender a demanda. A figura 10 apresenta a distribuição das distâncias de ciclo que compõe as amostras analisadas.

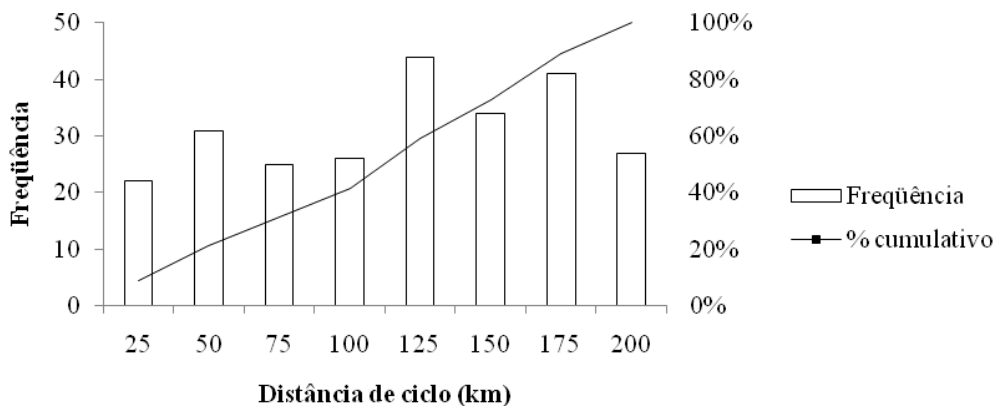


Figura 10 – Distância de ciclo: frequência relativa e acumulada

A média da distância de ciclo percorrida foi 104,9 km, o que corresponde a um raio médio aproximado de 52,5 km. O desvio-padrão foi 55,0 km, coeficiente de variação de 52,4%, moda de 129,0 km, mediana de 103,5 km, erro padrão 3,5. As distâncias de ciclo, mínima e máxima, foram de 9,0 km e 202,0 km, o que corresponde a um raio médio de 5,0 km e 100,0 km respectivamente. Das viagens realizadas pela composição 27,0% representam distâncias maiores do que 177,0 km (raio médio de 85,0 km) e 31% estão em um raio médio de até 30,0 km.

4.1.6 Consumo de combustível

O consumo de combustível da CVC ao longo dos ciclos é apresentado na Figura 11.

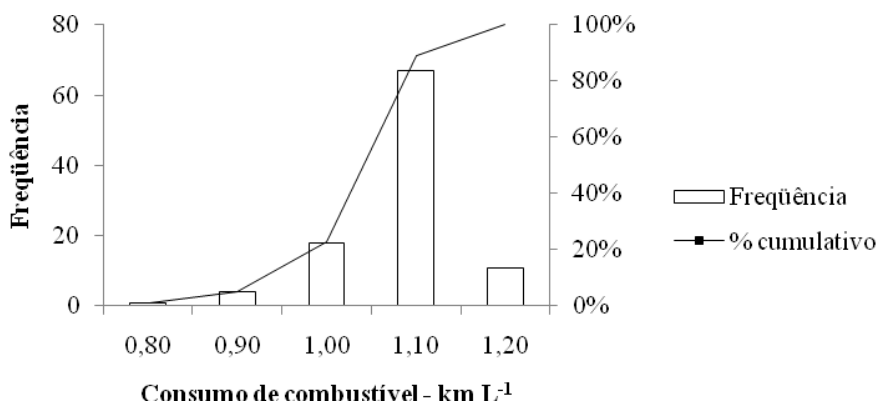


Figura 11 – Consumo de combustível: frequência relativa e acumulada

A média de consumo de combustível foi $1,03 \text{ km L}^{-1}$, desvio-padrão de $0,07 \text{ km L}^{-1}$, coeficiente de variação de 6,8%, erro padrão da amostra de 0,01, mediana $1,03 \text{ km L}^{-1}$ (igual à média), moda de $0,95 \text{ km L}^{-1}$. O consumo de combustível mínimo foi de $0,77 \text{ km L}^{-1}$ e o máximo de $1,18 \text{ km L}^{-1}$. Dentre os fatores que influem no consumo de combustível incluem-se a carga transportada, distância de ciclo, manutenção da CVC, operador, relevo e estado de conservação da estrada entre outros. Banchi (2009) relata que para esse modelo de CVC o consumo médio é de $1,09 \text{ km L}^{-1}$ com desvio-padrão de $0,18 \text{ km L}^{-1}$.

4.1.7- Cenários

O resumo dos resultados obtidos referentes às variáveis que compõem o desempenho operacional, velocidade média, tempo de carregamento, tempo de descarregamento, carga líquida transportada, distância de ciclo e consumo de combustível, é apresentado na tabela 2.

Tabela 2 – Resumo dos resultados referentes ao desempenho operacional

Variáveis	Sigla	Unid	Análise Dados Desempenho Operacional						
			M	DP	CV %	Med	Moda	Min	Max
Velocidade média estrada	VME	km h^{-1}	42,4	16,5	38,8	44,0	55,0	11,0	71,0
Tempo de carregamento	Tcar	min	330,9	177,4	53,6	350,5	349,0	7,0	643,0
Tempo de descarregamento	Tdes	min	688,5	351,3	51,0	726,0	293,0	22,0	1301,0
Carga líquida transportada	CLt	t	66,5	10,4	15,6	67,0	59,0	48,0	83,0
Distância de ciclo	DTc	km	104,9	55,0	52,4	103,5	129,0	9,0	202,0
Consumo de combustível	CCK	km L^{-1}	1,03	0,07	6,8	1,03	0,95	0,77	1,18

Unid: unidade; M: média amostral; DP: desvio-padrão da amostra; CV: coeficiente de variação; Med: mediana da amostra; Min: valor mínimo da amostra; Max: valor máximo da amostra.

Com base nesses resultados desenvolveram-se três cenários para avaliar o desempenho operacional, econômico e energético do sistema de transporte de cana. O primeiro cenário, aqui denominado de cenário A, corresponde a uma situação considerada como média da operação de transporte na Usina, rotina. O segundo, cenário B, corresponde a uma situação que simula uma condição ótima de operação. Analogamente, o terceiro, cenário C, simula uma situação ruim de operação. Essas condições do cenário são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – Cenários utilizados

Variáveis	Sigla	Unid	Cenários		
			A	B	C
Velocidade média estrada	VME	km h ⁻¹	42,4	71,0	11,0
Tempo de carregamento	Tcar	min	50	50	50
Tempo de descarregamento	Tdes	min	50	50	50
Carga líquida transportada	CLt	t	66,5	83,0	48,0
Consumo de combustível	CCk	km L ⁻¹	1,03	1,18	0,77

Unid: unidade

Para o cenário A, foram utilizados os valores médios de velocidade na estrada, carga líquida transportada e consumo de combustível. Para o cenário B utilizou-se os valores considerados como ótimos que correspondem aos máximos obtidos para a velocidade na estrada (71,0 km h⁻¹), carga líquida transportada (83 t) e consumo de combustível (1,18 km L⁻¹). Para o cenário C os valores utilizados foram de 11,0 km h⁻¹, 48,0 t, 0,77 km L⁻¹, respectivamente. Quanto ao tempo de carregamento e descarga, eles sofrem influências de natureza imponderável, normalmente ligada a problemas administrativos. Nesse caso optou-se por utilizar a menor categoria de tempo que aparece da análise de distribuição de frequência, 50 minutos, tanto para carregamento quanto para descarga. O raio médio é uma característica que não sofre alterações na safra, uma vez que os talhões são de propriedade da Usina ou terceirizados (arrendados), optando-se, quando necessário, pelo valor médio de 50 km (distância total de ciclo 100 km).

4.2 Desempenho operacional e econômico

Os resultados do custo de transporte para as três condições (média – cenário A; ótima – cenário B; ruim – cenário C), com base nas características da CVC, nos cenários desenvolvidos, raio médio adotado (50 km) e tempo de carga e descarga 50 minutos, são apresentados na figura 12.

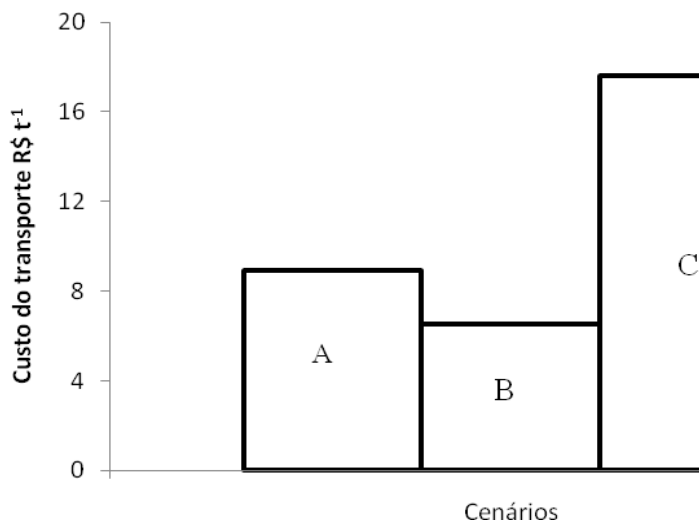


Figura 12 – Desempenho econômico da CVC para os cenários desenvolvidos

Para o cenário A o custo de transporte é de R\$ 8,94 t⁻¹, para o B o custo é de R\$ 6,55 t⁻¹ e para C é de R\$ 17,62 t⁻¹. Isso significa que o transporte da Usina sofre uma variação entre os extremos das condições de R\$ 11,07 t⁻¹ revelando, portanto, que existe possibilidade de melhoria no sistema. Ressalta-se que o raio médio adotado para os três cenários é de 50 km. Em relação ao cenário A ocorre uma redução de 26,7% (cenário B) ou um acréscimo de 97,1% (cenário C) no custo do transporte. Como o cenário A representa uma situação média para a Usina, considerada como rotina, a análise do desempenho operacional, econômico e energético será realizada com base nesse cenário.

4.2.1 Carga líquida transportada

O custo do transporte em função da distância de ciclo (raio) e da carga líquida é apresentado na figura 13.

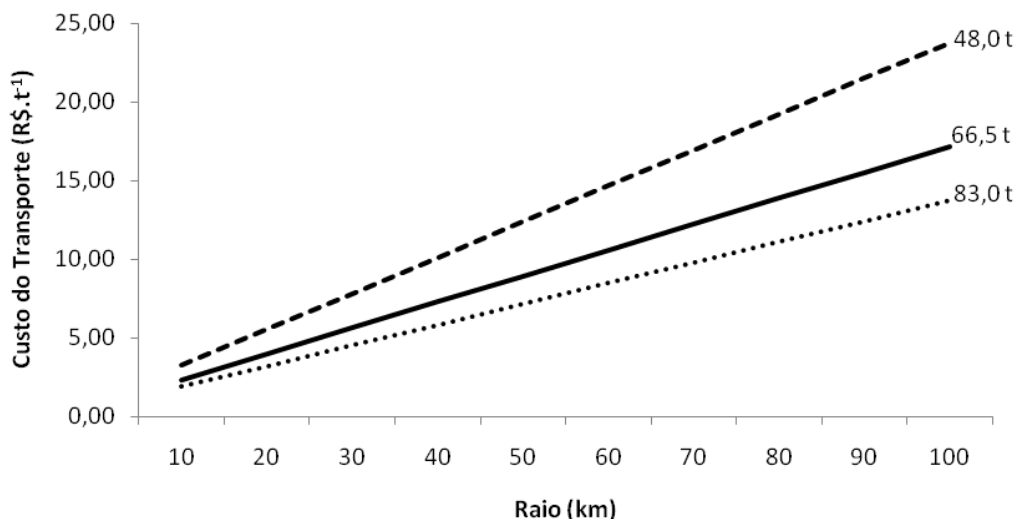


Figura 13 – Custo do transporte em função da carga líquida transportada e distância de ciclo (raio)

Conforme se observa na figura 13 a influência da carga no custo do transporte acentua-se com o aumento do raio médio. Para 10 km de raio médio o custo do transporte para as cargas de 48,0 t, 66,5 t e 83,0 t corresponde a R\$ 3,25 t⁻¹, R\$ 2,35 t⁻¹, R\$ 1,88 t⁻¹, respectivamente. Para o raio médio de 100 km os valores correspondem a R\$ 23,78 t⁻¹, R\$ 17,17 t⁻¹, R\$ 13,75 t⁻¹, respectivamente. Isso significa que para a carga média de 48,0 t o custo de transporte aumenta de R\$ 0,2281 por quilômetro; para a carga de 66,5 t esse valor é de R\$ 0,1646 km⁻¹ e para 83,0 t, R\$ 0,1319 km⁻¹.

Para o raio médio de 50 km o custo de transporte é de R\$ 8,94 t⁻¹ para uma carga líquida transportada de 66,5 t, R\$ 12,38 t⁻¹ para a carga de 48 t e R\$ 7,16 t⁻¹ para a carga líquida de 83,0 t. Isso equivale a um acréscimo de 38,5% (48 t) ou uma redução de 20% (83 t) nos custos, em relação a condição média (66,5 t).

4.2.2 Velocidade média

A figura 14 apresenta os custos de transporte em função da distância de ciclo (raio) e a velocidade média da CVC.

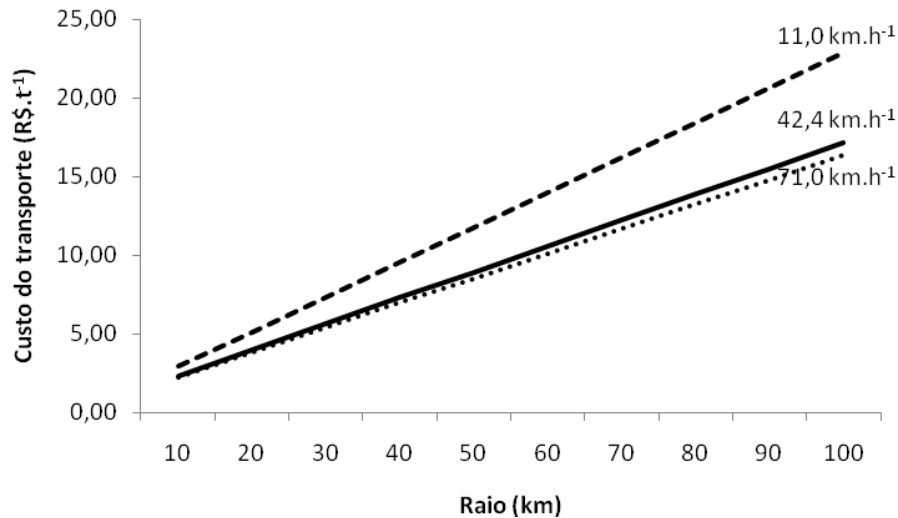


Figura 14 – Custo do transporte em função da velocidade média e distância de ciclo (raio)

A influência da velocidade média nos custos do transporte também se acentua com o aumento da distância. Para 10 km de raio médio o custo de transporte para as velocidades de 11,0 km h⁻¹, 42,4 km h⁻¹ e 71,0 km h⁻¹ corresponde a R\$ 2,92 t⁻¹, R\$ 2,35 t⁻¹, R\$ 2,27 t⁻¹, respectivamente. Para o raio médio de 100 km os valores correspondem R\$ 22,85 t⁻¹, R\$ 17,17 t⁻¹ e R\$ 16,37 t⁻¹, respectivamente. Isso significa que para a velocidade média de 11,0 km h⁻¹ o custo do transporte aumenta R\$ 0,2214 por quilômetro. Para 42,4 km h⁻¹ esse valor é de R\$ 0,1646 e para 71,0 km h⁻¹ R\$ 0,1566. A carga líquida considerada foi 66,5 t.

Para o raio médio de 50 km o custo do transporte é de R\$ 8,94 t⁻¹ para uma velocidade de 42,4 km h⁻¹, R\$ 11,77 t⁻¹ para velocidade de 11,0 km h⁻¹ e R\$ 8,54 t⁻¹ para velocidade média de 71,0 km h⁻¹. Isso equivale um acréscimo de 31,7% (11 km h⁻¹) ou redução de 4,5% (71,0 km h⁻¹) nos custos em relação à condição média de (42,4 km h⁻¹).

4.2.3 Consumo de combustível

A figura 15 apresenta o custo do transporte em função da distância de ciclo (raio) e consumo de combustível.

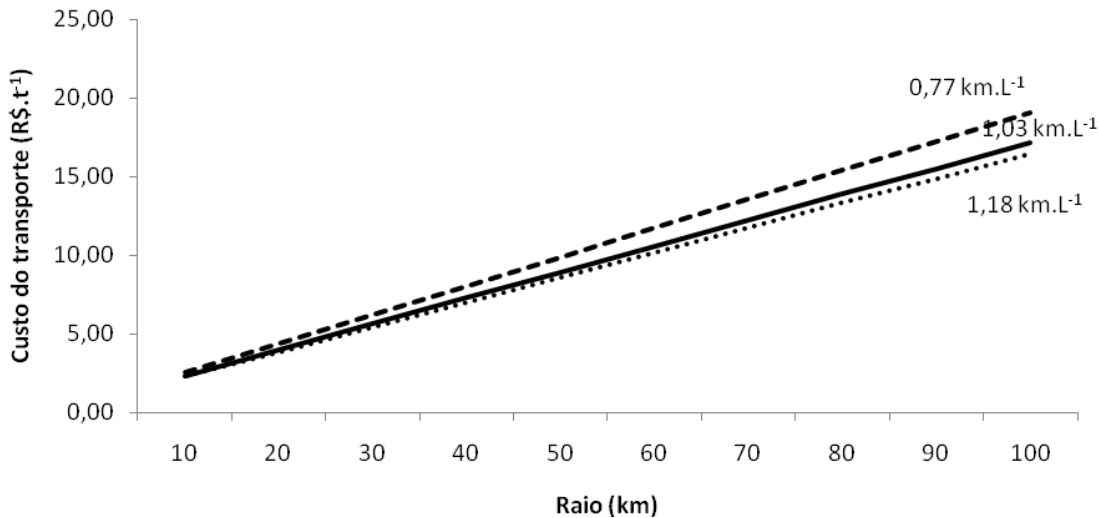


Figura 15 – Custo do transporte em função do consumo de combustível e distância de ciclo (raio)

Considerando-se a mesma carga e velocidade do cenário A e para um raio médio de 10 km, os custos de transporte para os consumos de combustível 0,77 km L⁻¹, 1,03 km L⁻¹ e 1,18 km L⁻¹ correspondem a R\$ 2,54 t⁻¹, R\$ 2,35 t⁻¹, R\$ 2,28 t⁻¹, respectivamente. Para o raio médio de 100 km os valores correspondem a R\$ 19,06 t⁻¹, R\$ 17,17 t⁻¹, R\$ 16,46 t⁻¹, respectivamente. Isso significa que para o consumo de 0,77 km L⁻¹ o custo de transporte aumenta de R\$ 0,1836 por quilômetro, para 1,03 km L⁻¹ esse valor é de R\$ 0,1646 km⁻¹ e para 1,18 km L⁻¹, R\$ 0,1576 km⁻¹.

Para o raio médio de 50 km o custo de transporte é de R\$ 8,94 t⁻¹ para um consumo de combustível de 1,03 km L⁻¹, R\$ 9,88 t⁻¹ para o consumo de 0,77 km L⁻¹ e R\$ 8,58 t⁻¹ para o consumo de 1,18 km L⁻¹. Isso equivale a um acréscimo de 10,5% (0,77 km L⁻¹) ou uma redução de 4,0% (1,18 km L⁻¹) nos custos, em relação à condição média (1,03 km L⁻¹).

4.2.4 Condição crítica

Uma das condições do trabalho, no momento adotada pelas empresas do setor, é o aproveitamento máximo da capacidade de carga da CVC. Isso pode ser observado por meio dos resultados obtidos neste trabalho, onde a carga líquida mínima transportada (48 t) ultrapassa os valores permitidos (45 t de carga útil). Elaborou-se então um cenário para operação, denominado de condição crítica, onde a CVC opera com a capacidade máxima de carga obtida (83,0 t), com consumo máximo (0,77 km L-1) e velocidade mínima de operação (11,0 km h-1). Os resultados para essa condição, comparados com o cenário médio (A), são apresentados na figura 16.

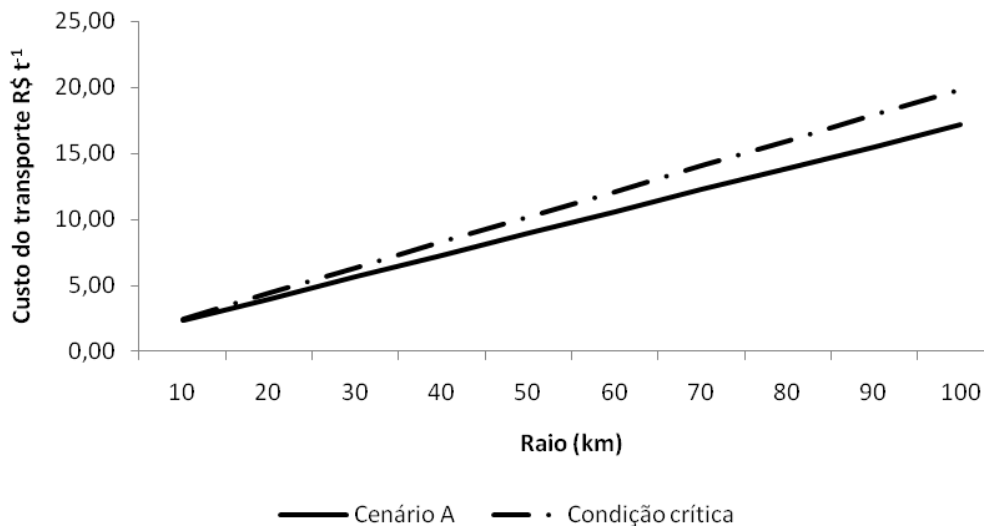


Figura 16 - Custo de transporte para situação crítica

Na figura 16 observa-se que mesmo com a composição operando na condição crítica com uma capacidade de carga 24,8% maior (83,0 t vs 66,5 t), não foi suficiente para superar as influências da velocidade e do consumo. Para a distância de 10 km os valores do custo de transporte foram praticamente semelhantes: R\$ 2,35 t⁻¹ para o cenário A e R\$ 2,49 t⁻¹ para a condição crítica. No raio de 100 km esses valores foram R\$ 17,17 t⁻¹ e R\$ 19,82 t⁻¹, respectivamente. É importante ressaltar que o custo da manutenção da CVC, para os dois cenários foi mantido constante o que não deve ocorrer quando o equipamento opera com sobrecarga. Nos talhões mais afastados existe uma maior influência da velocidade no tempo de ciclo. Para este caso a redução da velocidade diminui o número de ciclos por dia e

conseqüentemente a quantidade de carga transportada, afetando o custo da matéria-prima. Essa mesma tendência ocorre para o tempo de carregamento, figura 17, porém de maneira inversa. O tempo de carregamento tem uma maior influência nas curtas distâncias.

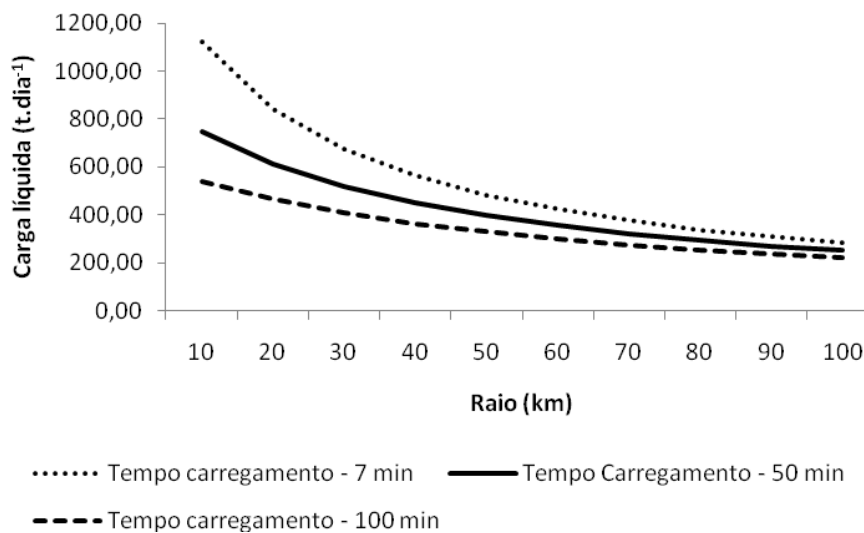


Figura 17 – Influência do tempo de carregamento na carga líquida transportada diariamente

4.3 Rendimento energético e energia despendida

O rendimento energético estabelece a relação entre a quantidade de carga transportada com o consumo de combustível na unidade de tempo, enquanto que a energia despendida é a razão entre a energia consumida pelo sistema de transporte e a carga líquida transportada. Na figura 18 é apresentado o rendimento energético no transporte de cana para os três cenários.

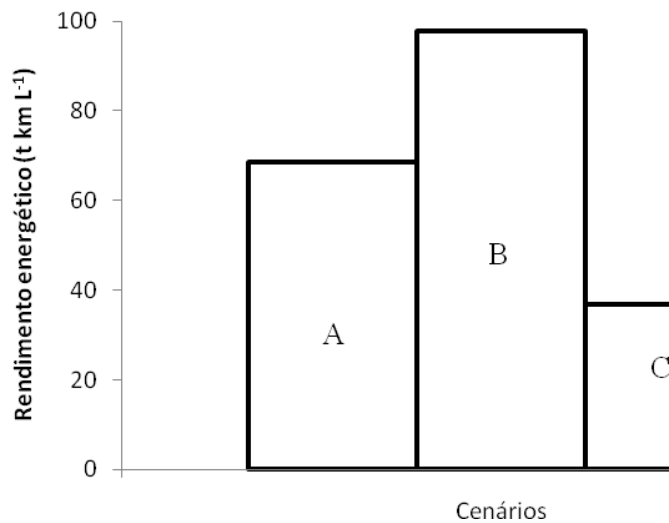


Figura 18 – Rendimento energético do transporte de cana

Para o cenário A, a CVC consome um litro de combustível para transportar 68,5 toneladas de cana na distância de um quilômetro, enquanto que no cenário B o mesmo volume de combustível transporta 97,9 toneladas na distância de um quilômetro e no cenário C um litro de combustível transporta somente 37,0 toneladas na distância. Pode ser interpretado também que para o cenário A um litro de combustível é suficiente para transportar uma tonelada de cana na distância de 68,5 quilômetros.

A energia despendida pela CVC por tonelada de cana transportada é apresentada na figura 19, para o cenário A. A energia despendida é calculada com base na composição (cavalo mecânico mais carrocerias), pneus e combustível.

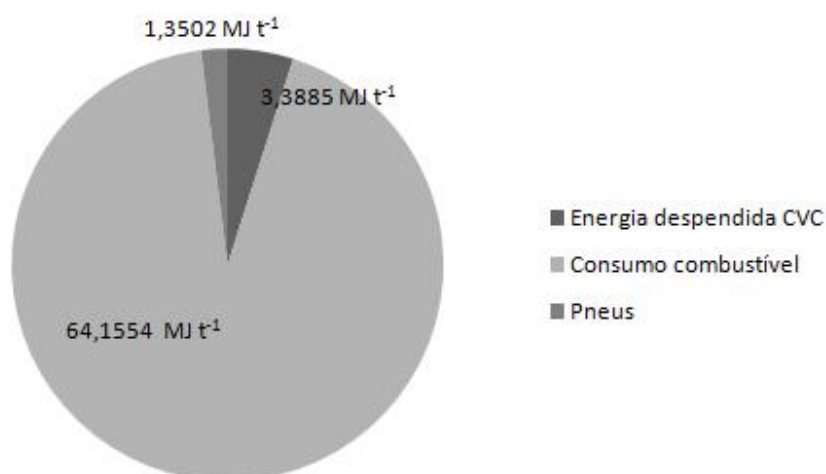


Figura 19 – Energia despendida pela CVC no transporte de cana. Cenário A

Na figura 19 o total de energia despendida é de $68,8941 \text{ MJ t}^{-1}$ e deste total o consumo de combustível representa 93,0%. A figura 20 apresenta a energia despendida no transporte de cana para o cenário B.

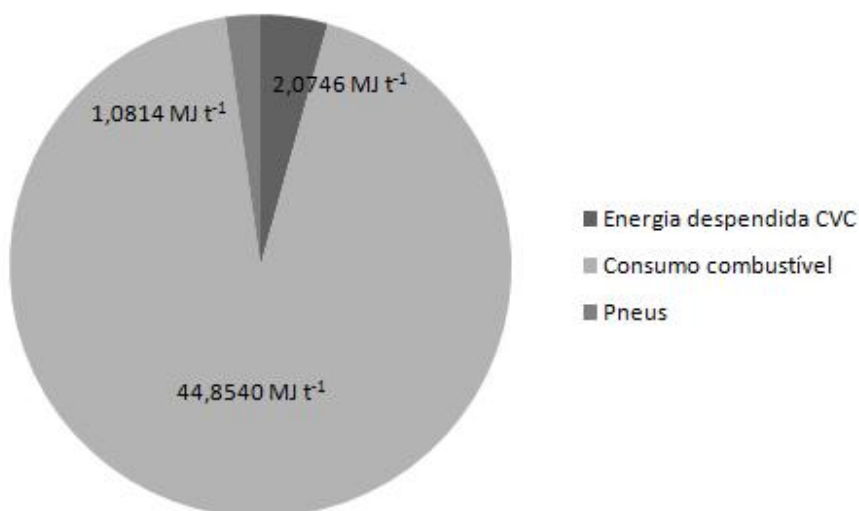


Figura 20 – Energia despendida pela CVC no transporte de cana. Cenário B

No cenário B a velocidade média e a carga líquida transportada são maiores, enquanto que o consumo de combustível foi reduzido. Com isso o despêndio de energia por tonelada foi reduzido de $68,8941 \text{ MJ t}^{-1}$ (cenário A) para $48,0100 \text{ MJ t}^{-1}$ equivalente a 30,3% de redução. No

caso do cenário C, figura 21, pior situação, a energia despendida foi de 133,2779 MJ t⁻¹, um aumento de 93,5% em relação ao cenário A. Esse resultado é reflexo do maior consumo (0,77 km L⁻¹) e menor carga líquida transportada (48,0 t) para esse cenário.

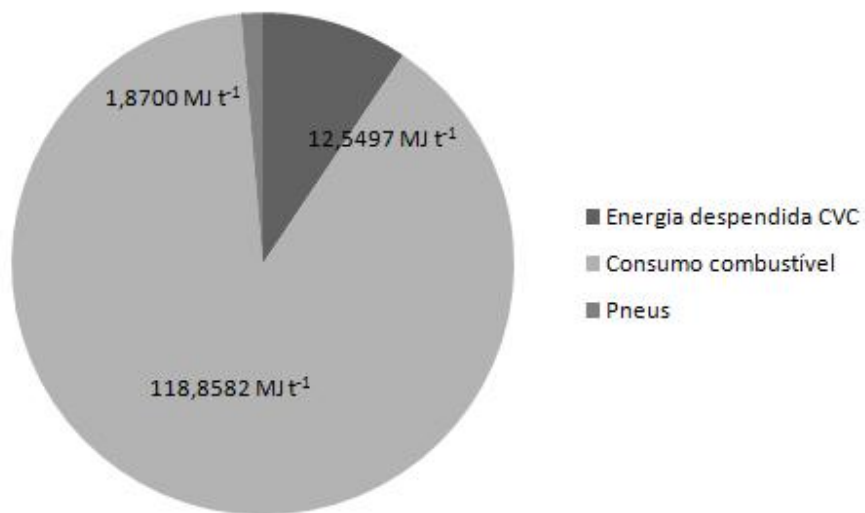


Figura 21 – Energia despendida pela CVC no transporte de cana. Cenário C

Conforme se observa para os três cenários o consumo de combustível é o fator predominante para a energia despendida. Isso se deve ao fato do consumo estar diretamente relacionado ao transporte, enquanto que a energia despendida pela CVC e pelo pneu é diluída pela vida útil desses componentes.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os dados e as condições estabelecidas para os cenários têm-se:

A planilha, modelo, pode ser aplicada para a análise de sistemas de transporte de cana;

A análise dos dados obtidos revelou que o desempenho operacional da CVC é extremamente variável principalmente em relação aos tempos de carregamento e descarga e que esses tempos foram influenciados pelo modo de operação da composição. A variabilidade desses dados e a conseqüente influência nos custos e no uso dos recursos energéticos implicam na necessidade de um gerenciamento adequado para estabilizar o processo de transporte analisado;

A carga líquida é um dos principais fatores que influenciam no custo da matéria prima transportada o que explica o fato de se operar com o equipamento acima dos limites de carga estabelecidos, mesmo que essa atitude possa implicar em maior gasto com a manutenção mecânica e das estrada, aumentando os risco referentes à segurança. Para uma carga líquida de 48,0 t o custo é de R\$ 0,2281 km⁻¹ e para 83,0 t é de R\$ 0,1319 km⁻¹, para as condições prevista no estudo;

O consumo de combustível afeta o custo, mas não tão acentuadamente quanto para a carga líquida. Para um consumo de 0,77 km L⁻¹ o custo é de R\$ 0,1836 km⁻¹ enquanto que para o consumo de 1,18 km L⁻¹ o custo é de R\$ 0,1576 km⁻¹, para uma carga líquida constata de 66,5 t;

A influência da velocidade nos custos da matéria prima é mais relevante para grandes distâncias de ciclo enquanto que nas proximidades da Usina os tempos de carregamento e descarga são os mais significativos;

O aumento da carga líquida tem um grande impacto no rendimento energético e para a energia despendida o que predomina é o consumo de combustível, uma vez que este está ligado diretamente ao sistema de transporte de cana. Já a CVC e os pneus tem pouca influência, pois a energia despendida é diluída ao longo da vida útil desses componentes.

REFERÊNCIAS

ALI, O.; Van OUDHEUSDEN, D. Logistics planning for agricultural vehicles. In: IEEE IEEM Industrial Engineering and Engineering Management, 2009. Hong Kong. **Proceedings of the 2009 IEEE IEEM**. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp>. Acesso em: 14 jun./2010.

ALVES, F.J.; NOVAES, J.R.P. Dinâmica do mercado de trabalho no setor sucroalcooleiro. In: GALEAZZI, M.A.M. (Org.). **Segurança alimentar e cidadania: a contribuição das universidades paulistas**. Campinas: Mercado das Letras, 1996. p. 301-318.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. **ASAE Standards 2001: machinery, equipment, and buildings: operation costs**. Ames, 2001. 226 p. (ASAE D472-3).

ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A.T.; GONÇALVES JÚNIOR, A.F.C. Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica. **Ambiência**, Guarapuava, v. 5, n. 3, p. 443-455, set./dez. 2009.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. ANFAVEA. **Indústria automobilística brasileira: empresas associadas**. Assessoria de Planejamento Econômico e Estatístico, 2009. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas2009.html>> Acesso em: 08 jul. 2010.

BALASTREIRE, L.A. Gerenciamento de operações agrícolas mecanizadas. In: _____. Máquinas agrícolas. São Paulo:Manole, 1987. p. 30-61.

_____. Determinação do ponto de renovação de frotas mecanizadas. **STAB. Açúcar, Álcool e Produtos**, Piracicaba, v. 14, n. 2, p. 30-34, 1995.

BALASTREIRE, L.A.; GOMES, E.S.; LOPES, M.B. Gerenciamento de operações agrícolas mecanizadas. In: CICLO DE ESTUDOS SOBRE MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA, 4., 1990, Campinas. **Anais...** Campinas, Fundação Cargill, 1990. p. 196-205.

BALLOU, R.H. **Logística empresarial**. São Paulo: Ed. Atlas, 1993. 616 p.

BANCHI, A.D.; BARRETO JR., E.A.; LOPES, J.R. Implementos .I: Custos de reparo e manutenção dos implementos rodoviários. **Revista Agrimotor**, São Paulo, v.5, n. 41, p. 8-11, 2009.

BERENDS, P.; ROMME, G. Simulation as a research tool in management studies. **European Management Journal**, Amsterdam, v. 17, n. 6, p. 576-583, 1999.

BERGER, R.; TIMOFEICZYK Jr., R.; CARNIERI, C.; LACOWICZ, P.G.; SAWINSKI Jr., J.; BRASIL, A.A. Minimização de custos de transporte florestal com a utilização da programação linear. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 1, p. 53-62, 2003.

BOFILL, A.; DIAZ, J. A.; GUIÓN, L.; MARTÍNEZ, R. Application of mathematical methods to the management of sugar cane enterprises. In: IFIP (International Federation for Information Processing). **Computer applications in food production and agricultural engineering**. Washington D.C., 1982. p. 175-190.

BOTTER, R.C. **Tratamento de dados em modelos de simulação discreta**. 2002. 147 p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário estatístico da agroenergia**. Brasília: MAPA; ACS, 2009. 160 p.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional 2009**: ano base 2008. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética, 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html> Acesso em: 08 jul. 2010.

BROWN, M.T.; ULGIATI, S. Energy evaluations and environmental accounting. In: CLEVELAND, C. (Ed.). **Encyclopedia of energy**. New York: Elsevier. 2004. p. 329-354.

BRUGNARO, C.; SBRAGIA, R. (Coord.). **Gerência agrícola em destilarias de álcool**. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1986. 212 p. (Coleção PLANALSUCAR, 1).

CAIXETA FILHO, J.V.; SILVA, N.D.V.; GAMEIRO, A.H.; LOPES, R.L., GALVANI, P.R.C., MARTIGNON, L.M.; MARQUES, R.W. Competitividade no agribusiness brasileiro: a questão do transporte em um contexto logístico. In: FARINA, E.M.; ZYLBERSZTAJN, D. (Ed.). **Competitividade no agribusiness brasileiro**. São Paulo: PENSA; FIA; USP, FEA, 1998. 194 p.

CARMO, M.S.; COMITRE, V.; DULLEY, R.D. Balço energético de sistemas de produção na agricultura alternativa. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 87-97, 1988.

CASTANHO FILHO, E.P.; CHABARIEBERY, D. Perfil econômico da agricultura paulista. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 63-115, 1983.

CAVALETT, O.; ORTEGA, E. Análise energética da produção de soja no Mato Grosso. **Revista Brasileira de Agrecologia**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 866-869, fev. 2007.

CROSSLEY, C. P. Computer programs for mechanization and transport planning in developing countries. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURE ENGINEERING, 88, Paris, 1988. **Paper...** Paris: Ag Eng, 1988. p. 149-161.

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da soja na região de Ribeirão Preto, SP**. 1993. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Planejamento Agropecuário) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, terceiro levantamento**. Brasília, 2009. 39 p.

EID, F. Progresso técnico na agroindústria sucroalcooleira. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 26, n. 5, p. 29-36, maio 1996.

FERNANDES, H.C.; SILVEIRA, J.C.M. da; RINALDI, P.C.N. Avaliação do custo energético de diferentes operações agrícolas mecanizadas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1582-1587, set./out. 2008.

FIGUEIREDO FILHO, O. Transporte de cana-de-açúcar: incidência dos principais parâmetros na capacidade de transporte da frota. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 3., 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: COPERSUCAR, 1986. p. 523-531.

FIGUEIREDO FILHO, O.; BANCHI, A.D.; BRAUNBECK, O.A. Transporte de cana-de-açúcar: incidência das principais variáveis na capacidade de transporte da frota. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 2., 1984, São Paulo. **Anais...** São Paulo: COPERSUCAR, 1984. p. 387-400.

FLUCK, R. Net energy sequestered in agricultural labor. **Transactions of the ASAE**, Amsterdam, v. 24, n. 6, p. 1449-1455, 1981.

FREITAS FILHO, P.J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas:** com aplicação em arena. Florianópolis: Visual Books, 2001. 379 p.

GAGO, J.S.N. Corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar: comparação de sistemas alternativos. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 3., 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: COPERSUCAR, 1986. p. 489-522.

GALEMBECK, F.; PARDINI, V. L. Alimentos, energia e matérias-primas: inovação no aproveitamento de recursos naturais. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 565, 2009.

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

GUALDA, N.D.F. **Terminais de transporte:** contribuição ao planejamento e dimensionamento operacional. 1995. 277 p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

HANH, M.H.; BRAUNBECK, O.A.; RIBEIRO, R.V. Um simulador para o problema de transporte de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 1994, Campinas. **Anais...** Jaboticabal; SBEA, 1994. p. 234-245.

_____. Um novo software para o planejamento de cana. **Álcool & Açúcar**, São Paulo, v. 79, p. 36-40, abr./maio 1995.

HETZ, E.J.; VILLEGAS, H.B.; RIQUELME, J.S.; CELIS, J.H. Utilizacion de energia em la produccion de raps, bajo cuatro sistemas de labranza, em la Provincia de Ñuble. **Agro Sur**, Valdivia, v. 22, n. 1, p. 1-6, jan. 1994.

IANNONI, A.P.; MORABITO, R. A discrete simulation analysis of supply system. **Transportation Research**. Part E, London, n. 42, p. 191-210, 2006.

ISARD, W. Introduction to regional science. Lansing:Michigan States, 1975.1v.

LAW, A.M.; KELTON, W.D. **Simulation modeling and analysis**. New York: Mc Graw-Hill, 1991. 745 p.

LEITE, A.M.P. **Análise dos fatores que afetam o desempenho de veículos e o custo do transporte de madeira do distrito florestal do Vale do Rio Doce-MG**. 1992. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

LOPES, M.B. **Simulação de um sistema de carregamento e transporte de cana-de-açúcar**. 1995. 143p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

MACEDO, I.C.; NOGUEIRA, L.A.H. Avaliação da expansão da produção do etanol no Brasil. In: CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Prospecção tecnológica: biocombustíveis**. Brasília, 2004. p.5-71.

MALINOVISK, J.R.; FENNER, P.T. **Otimização do transporte de madeira roliça de *Pinnus spp.*** Curitiba: FUPEF; UFPR, 1986. 68 p.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. São Paulo: Atlas, 2000. 388 p.

MEIRELLES, M.L. Efeito do fogo sobre a umidade em área de campo sujo de cerrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 42, n. 7, p. 359-360, 1990.

MOLINA JUNIOR, W.F. **Enfardamento de resíduo de colheita de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): avaliação dos desempenhos operacional e econômico**. 1991. 101 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

MUNDIM, J.U.C. **Uso de simulação de eventos discretos para dimensionamento de frota para colheita e transporte de cana-de-açúcar**. 2009. 104 p. Dissertação (Mestrado Engenharia de Sistemas Logísticos) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

NEWNAN, D.G.; LAVELLE, J.P. **Fundamentos de engenharia econômica**. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 417 p.

ODUM, H.T. Self organization, transformity, and information. **Science**, Washington, v. 242, n. 4882, p. 1132-1139. Nov. 1988.

_____. **Environmental accounting: energy and decision making.** New York: John Wiley, 1996. 370 p.

PEGDEN, C.D.; SHANNON, R.E.; SADOWSKI, R.P. **Introduction to simulation using SIMAN.** New York: McGraw-Hill, 1995. 689 p.

RIPOLI, T.C.C. Ensaio e certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificação.** Piracicaba: FEALQ, 1996. cap. 13, p. 635-673.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente.** Piracicaba: O Autor, 2004. 222 p.

ROMANELLI, T.L. **Sustentabilidade energética de um sistema de produção da cultura de eucalipto.** 2007. 121p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SANTOS, C.C.M.; LEAL Jr., I.C.; FERREIRA FILHO, V.J.M. A utilização da simulação para a escolha de modal de transporte. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11., 2004, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2004. p. 170-178.

SANTOS, H.P.; IGNACZAK, J.C.; LHAMBY, J.C.B.; BAIER, A.C. Conversão e balanço energético de sistemas de rotação de culturas para triticales, sob plantio direto. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 43-48, 2000.

SCOPINHO, R.A.; EID, F.; VIAN, C.E.F.; SILVA, P.R.C. Novas tecnologias e saúde do trabalhador: a mecanização do corte da cana-de-açúcar. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 1, p. 147-161, jan./mar. 1999.

SHIREMAN, W.K. Business strategies for sustainable profits: systems thinking in practice. **Systems Research and Behavioral Science**, New York, v. 16, n. 5, p. 453-462, May 1999.

SILVA, J.E.A.R. da. **Desenvolvimento de um modelo de simulação para auxiliar no gerenciamento de sistemas de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar.** 2006. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

SILVA, J.E.A.R. da; ALVES, M.R.P.A. Utilização de simulação computacional no gerenciamento de sistemas de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar. SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 10., 2003, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2003. p. 145-152.

SIQUEIRA, R.; GAMERO, C.A.; BOLLER, W. Balanço de energia na implantação e manejo de plantas de cobertura de solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 80-89, set. 1999.

YAMADA, M.C. Modelagem das cadeias de atividades produtivas da indústria sucroalcooleira visando a aplicação em estudos de simulação. 1999. 164 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

ANEXO

Dados de entrada e resultados do cenário A

		Dados de Entrada- Cenário Básico					Resultados- Cenário Básico							
		Variável	Sigla	Unid.	CVC		Variável	Sigla	Unid	CVC				
					Cavalo	Carroceria				Cavalo	Carrocerias			
Composição - CVC	Valor	Inicial	Vi	R\$	360000,00	170000,00	ECONÔMICO	Valor Final		R\$	119400,00	68000,00		
		Final	Vf	%	30,00	40,00		Depreciação	Dpa	R\$	27860,00	10200,00		
	Vida Útil	Ano	Vu	ano	10,00	10,00		Custo fixo Anual	Juros	Jra	R\$	31044,00	14280,00	
		Quilometro	Vuk	km	500000,00	500000,00			Alojamento	Ala	R\$	3600,00	1040,00	
	Taxa	Juro Ano	i	%	12	12			Seguro	Sga	R\$	10800,00	6240,00	
		Alojamento	Al	%	1	0,5			Licença	Lca	R\$	14400,00	8320,00	
		Seguro	Sg	%	3,00	3,00			Total	Cfa	R\$	87704,00	40080,00	
	Pneu Novo	Licenças	Lc	%	4,00	4,00		Custo Fixo	por km	CFk	R\$ km ⁻¹	2,11		
		Preço Combust	Pl	R\$ L ⁻¹	1,92				Total CVC	CFc	R\$ km ⁻¹	127784,00		
		Fator Rep/Man.	FRM	%	100,00	70,00		Custo Variável	Combustível	CCb	R\$ km ⁻¹	1,86	0,00	
		Numero	NPnE	n	10,00	24,00			Rep./Manut.	CRM	R\$ km ⁻¹	0,80	0,24	
	Durabilidade	VUPn	km	50000,00	50000,00	Pneus			CPnk	R\$ km ⁻¹	0,35	0,85		
	Valor Unitário	VPn	R\$	1761	1761	Recapagem			CRk	R\$ km ⁻¹	0,21	0,51		
	Pneu Recapagem	Número Pneus	NPR	n	10	24		Custo	Total	CVt	R\$ km ⁻¹	3,22	1,60	
		Durabilidade	VURc	km	90000,00	90000,00			Total Variável	CT	R\$ km ⁻¹	4,82		
		Valor Unitário	VRc	R\$	475	475		Total CVC	CTk	R\$ km ⁻¹	6,93			
	Geral	Quantidade	NRe	n	2	2		OPERACIONAL	Custo Transporte		CTr	R\$ t ⁻¹	8,94	
			Total Jornada	THj	h	24,00			Tempo ciclo	TC	h	4,02		
Efic. Administ		EFA	%	100,0		Viagens por dia	NVj		n	5,97				
Dias de Safra		NDs	dias	190,0		Viagens por Ano	Nva		n	1134				
Veloc. Média		VMC	km h ⁻¹	42,44		Cana por dia	QCTj		t	396,61				
Dist. Total Ciclo		DTc	km	100,00		Cana por Ano	QCTs		t	75355,14				
Carga Líquida		CLt	ton	66,48		Distância por dia	DTj		km	596,58				

Consumo	CCK	km L ⁻¹	1,03	Distância por ano	DTs	km	113350,10
Tempo Carregamento	TCar	min	50,00	Velocidade de ciclo	VMC	km h ⁻¹	24,86
Tempo Descarregamento	TDes	min	50,00	Consumo por tonelada	CoT	L t ⁻¹	1,46
				Rendimento Energético	REg	ton.km L ⁻¹	68,47