

AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE MANEJO DO PALHIÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NO CAMPO E NA INDÚSTRIA¹

LUIZ ANTONIO PEREA²; MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI³ & ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM⁴

RESUMO: Este trabalho apresenta e avalia os sistemas de colheita de palhiço de cana-de-açúcar para fins energéticos, por meio de estudos realizados em três indústrias sucroalcooleiras do Estado de São Paulo, como recolhimento no campo e colheita parcialmente integral com separação do palhiço na indústria (limpeza a seco). Trata-se de um desenvolvimento de oportunidades, pois somente quando há escassez de bagaço é que se volta a lembrar do uso energético do palhiço, o qual apresenta um custo maior por tonelada equivalente em energia que o bagaço da cana-de-açúcar, que já tem um comércio bem difundido no setor sucroalcooleiro. Outro fator que deve ser destacado é o ambiental, visto que existe o Protocolo Ambiental, sancionado pela maioria dos produtores de cana-de-açúcar, que reduz o prazo para eliminação de queimadas da cana-de-açúcar antes da colheita implantado pela Lei 11.241 de 2002. Porém é importante destacar que a colheita da cana-de-açúcar sem a queima prévia, aumenta à dificuldade no combate a praga importante denominada “cigarrinha-da-raiz”, tornando necessária a retirada de parte do palhiço não benéfico para o solo, contribuindo assim, com a prática de remoção do palhiço para aproveitamento energético. Dos resultados obtidos concluiu-se que a modalidade mais interessante economicamente, foi a separação do palhiço na indústria e que para melhor eficiência, a cana-de-açúcar deve passar por um processo duplo de sopragem para limpeza, ressaltando, porém, que houve redução da capacidade de transporte da cana-de-açúcar quanto maior foi a quantidade de palhiço na colheita parcialmente integral.

Palavras-chave: Biomassa, palhiço, eficiência de limpeza.

¹ Parte da tese de doutorado do 1º autor intitulada: Avaliação de sistemas de manejo do palhiço da cana-de-açúcar no campo e na indústria.

² Aluno do curso de PG Energia na Agricultura – FCA/UNESP – Botucatu/SP- Brasil. E-mail: perea@netsite.com.br

³ Orientador e docente do Departamento de Engenharia Rural - FCA/UNESP – Botucatu/SP- Brasil. E-mail: biaggioni@fca.unesp.br

⁴ Co-orientador e docente do Departamento de Engenharia Rural - FCA/UNESP – Botucatu/SP- Brasil. E-mail: seraphim@fca.unesp.br

EVALUATION OF METHODS OF TRASH HANDLING IN THE SUGAR-CANE FIELD AND INDUSTRIALIZATION

SUMMARY: *This work presents and it evaluates the systems of crop of sugar-cane trash for energy ends, through studies accomplished in three industries of sugar and alcohol, of the State of São Paulo, as withdrawal in the field and crop partially integral with separation of the trash in the industry (cleaning the dry). it is Treated of a development of opportunities, because only when there is pulp shortage it is that remembers the energy use of the trash, which presents a larger cost for equivalent ton in energy again that the pulp of the sugar-cane, that already has a very spread trade in the section the sugar and alcohol. Another factor that should be outstanding is the environmental, because the Environmental Protocol exists, sanctioned by most of the producing of sugar-cane, that reduces the period for elimination burned of the sugar-cane before the crop implanted by the Law 11.241 of 2002. However it is important to highlight that the crop of the sugar-cane without it burns her previous, it increases the difficulty in the combat the pest denominated “cigarrinha-da-raiz”, turning necessary the retreat of part of the trash non beneficial for the soil, contributing like this, with the practice of removal of the trash for energy use. Of the obtained results it is ended that the most interesting modality economically, was the separation of the trash in the industry and that for better efficiency, the sugar-cane should go by a double process of blowing for cleaning, pointing out, however, that there was reduction of the capacity of transport of the sugar-cane as adult was the amount of trash partially in the crop integral.*

Keywords: *Biomass, trash, efficiency of cleaning.*

1 INTRODUÇÃO

Embora conte com uma atividade agrícola bastante intensa, o Brasil dispõe, ainda, de vasta extensão de terra agriculturável disponível, sem prejudicar áreas de florestas e de preservação ambiental. Já a produção de cana-de-açúcar no Brasil se concentra em áreas onde não existem riscos de desmatamentos e em casos como do Estado de São Paulo, em áreas de zoneamento definidos e sustentáveis atendendo a itens de questionamento mundial sobre a produção de bicompostíveis sem afetar a agricultura de alimentos.

Após a escassez na oferta de energia elétrica em 2001, o governo brasileiro passou a incentivar a procura de fontes alternativas à hídrica, para geração de eletricidade, sendo uma delas a biomassa.

A utilização do palhiço da cana-de-açúcar como combustível em caldeiras a vapor pode ser viável técnica e economicamente desde que seja processado convenientemente; o mesmo deverá ser utilizado em mistura com bagaço devendo antes ser picado ou desfibrado para que não obstrua o sistema de alimentação das caldeiras. Sua composição físico-química é muito parecida com a do bagaço, diferenciando-se em densidade e umidade. Preconiza-se que seu percentual de mistura seja mantido constante para que não haja bruscas alterações físicas do combustível da caldeira. O palhiço por ser um material de baixo peso específico e com grande variação no tamanho das fibras é de difícil manuseio e suas características reduzem significativamente a capacidade das máquinas.

Braunbeck (2005) relatou que: O bagaço tem sido o único resíduo aproveitado da biomassa do canavial, principalmente porque está disponível espontaneamente ao lado da caldeira da indústria. Até hoje se fala muito pouco sobre o aproveitamento do palhiço, mas deve surgir uma valorização da energia embutida no palhiço diante da atual crise de escassez.

Hassuani (2005) citou que a maioria das usinas brasileiras que produz energia através da cana-de-açúcar desenvolve o processo para consumo próprio, em caldeiras de baixa pressão. Nesse sistema, em razão do baixo ganho energético, o palhiço não faz diferença. Mas se as usinas trocarem o equipamento por caldeiras de alta pressão, e gerarem energia com o bagaço da cana-de-açúcar, a adição do palhiço pode, sozinha, dobrar a produção de energia. Uma tonelada de bagaço de cana-de-açúcar em um sistema de alta pressão gera cerca de 50 quilowatts/hora. Com o palhiço, pode-se conseguir 100 quilowatts/hora.

A estimativa realizada pelo Centro de Tecnologia Canavieira – CTC (2005) é de que a quantidade de palhiço por hectare é igual a 14,4 t de matéria seca e equivale a 14% dos colmos da cana-de-açúcar, logo para uma produção brasileira de 500 milhões de toneladas de cana-de-açúcar existe um potencial de coleta de 70 milhões de toneladas de palhiço matéria seca. Paes (2005) comprovou por meio de pesquisas em diversas variedades de cana-de-açúcar e estágios de corte e produtividade e ainda em consulta a trabalhos de outros pesquisadores, os valores de palhiço estimados pelo Centro de Tecnologia Canavieira – CTC.

O setor sucroalcooleiro, por sua vez, foi convocado pelo governo, a participar do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA (2002) e Leilões de Energia Nova e Leilões de Energia de Reserva na forma de bioeletricidade (2005 e 2007), através do uso da biomassa, vislumbrando no uso do palhiço, um combustível complementar ao bagaço da cana-de-açúcar, com possibilidades de aumentar sua capacidade de produção de vapor e conseqüentemente, também o seu processo de cogeração e comercialização de energia elétrica excedente. Economicamente a bioeletricidade se viabiliza como complementar no período de maio a novembro (período seco) onde os custos marginais de operação são mais elevados.

O Governo do Estado de São Paulo instituiu a Lei 11.241 de 19/09/2002, eliminando as queimadas de cana-de-açúcar gradativamente estabelecendo como limite o ano de 2021 para as áreas mecanizáveis e 2031 para as demais áreas. Antecipando os fatos, em 2007 houve a assinatura do Protocolo Agroambiental entre o Governo do Estado de São Paulo e os produtores de cana-de-açúcar representados pela União da Agroindústria Canavieira de São Paulo, que reduziu os prazos finais para 2014 e 2017 respectivamente, fatos que vieram a contribuir para o uso do palhiço como combustível.

Outra razão para recolhimento do palhiço é que, nas áreas onde a colheita da cana-de-açúcar é feita sem a queima, o palhiço não retirado favorece a infestação da praga “cigarrinha -da -raiz” (*Mahanarva fimbriolata*) que causa o ressecamento da cana-de-açúcar. O controle dessa praga é feito biologicamente, através da aplicação do fungo “*Metarhizium anisopliae*”, que age por contato e tem que atingir as ninfas que se encontram protegidas pela palha.

Arrigoni (2005) destacou que a praga atinge São Paulo e os Estados limítrofes e que dependendo dos níveis populacionais pode causar perdas significativas em média de 15 toneladas de cana-de-açúcar/ha-ano, além da redução de 1,5 pontos percentual no teor de açúcar.

Rípoli (2007) lembrou que o termo correto é palhiço, pois a palha é um dos seus constituintes, o palhiço evita o impacto de gotas de chuva sobre o terreno, controlando a erosão do solo. Desta forma, 50% do palhiço devem permanecer no campo, pois devido ao abafamento, ele controla a maioria das ervas daninhas, levando a uma economia significativa de herbicidas.

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma avaliação no desempenho de sistemas de coleta e separação de palhiço de cana-de-açúcar, praticados na região central do Estado de São Paulo, visando seu aproveitamento como combustível em caldeiras a bagaço de cana-de-açúcar, e verificar a eficiência de separação em um sistema otimizado aerodinamicamente, realizando a sopragem da cana-de-açúcar por duas vezes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de pesquisa foi realizado em três indústrias sucroalcooleiras, localizadas no Estado de São Paulo, que estão operando com aproveitamento de palhiço como combustível complementar para as suas caldeiras, em queima conjunta com o bagaço residual da moagem da cana-de-açúcar.

2.1 Métodos de recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar no campo.

2.1.1 Recolhimento com colhedora para forrageiras, na Usina A.

Localizada na região central do Estado de São Paulo essa Usina, durante a safra 2008/2009, processou 7.378.408 t de cana-de-açúcar. Possuía três linhas de moendas e 47% da cana-de-açúcar recebida era proveniente da colheita mecanizada.

Devido à escassez de bagaço para sua atividade de refinação de açúcar, que ocorre nos 12 meses do ano, independentemente do período de safra, a usina A implantou um projeto de recolhimento de palhiço, após a colheita da cana-de-açúcar, utilizando máquinas agrícolas para forrageiras de fabricação CLASS, tipo Jaguar 860⁵, com motor de 435 cv e largura de alimentador de 3,00 metros. Estas máquinas faziam a safra de sorgo no Uruguai, e foram contratadas sob o regime de prestação de serviço, já que era época de entressafra de colheita naquele país e, após manutenção ficavam ociosas.

O recolhimento do palhiço se dava após a operação de aleiramento do mesmo que era feito pelo implemento New Holland modelo Rolabar 256 com largura de 3,00 metros acoplada a tomada de força de trator Ford 5360. O palhiço recolhido era transportado em caminhões do tipo semirreboque até a indústria onde a carga era pesada em balança rodoviária, tinha sua procedência identificada em planilha de controle e uma amostra homogeneizada retirada em 3 pontos distintos da carga para determinação da umidade e da impureza mineral.

Durante o período de recolhimento do palhiço, foram apropriados os gastos com aluguel das máquinas, combustíveis, lubrificantes e transporte para apropriação do custo final da tonelada de palhiço posta na Usina.

O experimento transcorreu em um período de tempo de 195 dias, durante todo o seu período de safra, com área de recolhimento de 3.583,61 hectares, distribuídos em 34 fazendas de cana-de-açúcar.

2.1.2 Recolhimento de palhiço com colhedora “Twyster,” na Usina A.

Em 2007, o setor agrícola da Usina A, em parceria com um fabricante nacional de máquina forrageira, desenvolveu equipamento específico que recolhia parcialmente o palhiço após a colheita da cana-de-açúcar, sem a operação de aleiramento, deixando uma quantidade de palhiço remanescente no campo, adequada para o novo brotamento da cana-de-açúcar (“soca”).

O equipamento denominado Twyster Press 5000 necessitava de um trator Massey Ferguson MF 6350, de potência 180 CV e continha um dispositivo hidráulico, acionado pela tomada de potência do trator, a 2200 rpm em primeira marcha, o qual transferia o palhiço recolhido para outro equipamento de

⁵ A citação de marcas ou modelos, não se entende como recomendação do autor.

transbordo de capacidade 10,5 m³ de volume, com dispositivo de elevação, que possibilitava a descarga em caminhões do tipo basculante para ser transportado para a indústria. O transbordo também foi desenvolvido pela Deltamaq, denominado Twyster Box e era tracionado por trator marca Valtra modelo VT 110.

O equipamento Twyster Press 5000, constituído de dois rotores recolhedores/picadores, sendo que o rotor inferior operava a 2387 rpm e o rotor superior a 2615 rpm. A velocidade de deslocamento do equipamento era de 4,3 km/h. Foram escolhidas e demarcadas áreas em 2 fazendas onde já se havia sido feita a colheita da cana-de-açúcar, num total de 4,15 hectares. Os experimentos foram com recolhimento do palhiço seco, em média 4 dias após a colheita da cana-de-açúcar, e com palhiço verde, praticamente junto com a colheita da cana-de-açúcar. Os experimentos ocorreram no período de 29 de agosto a 01 de setembro de 2007.

O palhiço recolhido foi transportado até a Usina A, onde teve o peso registrado na balança rodoviária para verificação da massa específica. Foi coletada uma amostra para análise de impureza mineral e umidade. Os dados obtidos foram registrados em planilha para tabulação dos resultados.

2.1.3 Recolhimento de palhiço com máquina colhedora e enfardadora, na Usina B.

Localizada na região central do Estado de São Paulo, esta Usina atingiu na safra 2008/2009 a marca de 4.222.913 t de cana-de-açúcar moída, com duas linhas de moendas que recebem 28 % de colheita mecanizada.

Essa usina terceirizou para uma empresa de prestação de serviço agrícola o recolhimento de palhiço que foi feito após a colheita da cana-de-açúcar, com enfardadora do tipo câmara fixa, modelo Agroform AF 120, com largura do recolhedor (pick-up) de 1600 mm, potência exigida 70 CV e propelida com trator Massey Ferguson MF 275, formando fardos cilíndricos de dimensões 1200 mm x 1200 mm, com produção nominal de 30 fardos/hora.

A máquina tinha o seguinte princípio de funcionamento: O “pick-up” recolhe o palhiço conduzindo-o diretamente na câmara. A rotação contínua de rolos e corrente comprimem o palhiço com movimento rotatório. O palhiço é prensado de maneira crescente, comprimindo o fardo mais na parte externa do que no núcleo. Ao completar o enchimento da câmara, está formado um fardo com uma camada externa particularmente prensada e muito resistente às variações climáticas. Feita a amarração a tampa traseira se abre hidráulicamente e o fardo é empurrado para fora.

Na forma como apresentado, o palhiço não conseguia ser utilizado como combustível nas caldeiras da usina, necessitando ser picado para ser misturado ao bagaço da cana-de-açúcar, que é o combustível principal da usina.

Essa modalidade de recolhimento de palhiço, então, tem que ser complementada com um sistema de preparação ou picagem do palhiço para que consiga a finalidade que é o seu uso como energético na área industrial da usina.

A usina tinha instalado na indústria um sistema de trituração de palhiço de fabricação Tectrix, capacidade nominal 140 toneladas/hora e capacidade efetiva 80 toneladas/hora, que tem como princípio desfibrar o palhiço, passando-o entre um rotor giratório e uma placa fixa, acionamento com 2 motores elétricos de potência 250 cv. Como não apresentava bom desempenho, recorreu-se ao expediente de, em dias de chuva, quando havia redução de moagem, ou no final da safra, destinar uma de suas moendas para triturar o palhiço, remanescente em seu estoque ainda em fardos cilíndricos. Esses fardos têm a corda sizal que os amarra cortada e são carregados em caminhões próprios para o transporte de cana-de-açúcar, e transportados e tombados na mesa alimentadora da moenda, passando pelo processo de preparo e moagem como se fosse cana-de-açúcar. A moenda usa o seu sistema de embebição de moagem em circuito fechado de modo a minimizar a poeira que se forma.

2.2 Otimização de sistema de separação do palhiço na indústria

A alternativa de se levar o palhiço junto com a cana-de-açúcar está sendo o método mais utilizado pelas usinas, por apresentar maior flexibilidade operacional, considerando a colheita parcialmente integral. Também, apresenta vantagem em relação ao recolhimento no campo pelo menor índice de impureza mineral, pois o palhiço não é recolhido do solo e a impureza trazida ainda diminui após a separação do palhiço pelo sistema de limpeza a seco.

Localizada na região centro-sudeste do Estado de São Paulo, a Usina C processou 2.560.949 t de cana-de-açúcar na safra 2008/2009 em uma linha de moenda com capacidade diária de 11.000 t. A colheita mecanizada representou 38% da cana-de-açúcar moída.

Na lavoura mecanizada, essa usina utilizava colhedoras de fabricação Case modelo 7700, sobre esteiras, com motor de 335 cv de potência, sistema de transmissão hidrostática, bitola 1880 mm, com extrator primário de acionamento hidráulico e com 1280 mm de diâmetro do ventilador e extrator secundário com ventilador de diâmetro 940 mm, também com acionamento hidráulico, que possibilita a variação de velocidade, condição essa, essencial para o experimento realizado.

A colhedora cortava a cana-de-açúcar em toletes de tamanho médio 200 mm e, por meio de um elevador, a depositava em uma carreta denominada transbordo com capacidade para 8 toneladas, tracionadas por um trator de 160 cv. O transbordo é dotado de um sistema hidráulico de elevação e articulação, que faz com que a carga seja descarregada nos caminhões que a transportam até a indústria.

Os toletes ou colmos da cana-de-açúcar são carregados juntamente com a quantidade de palhiço que se deseja, usando-se a variação de velocidade da hélice do extrator secundário, sendo que, quanto maior a velocidade de operação, menos palhiço é carregado.

O sistema de recepção da cana-de-açúcar com palhiço colhida mecanicamente e a separação do palhiço recebido era composto de um guindaste tipo Hillo (sistema de guindaste fixo no chão e que, através de cabos e roldanas, eleva a caçamba ou a carga do veículo com cana-de-açúcar descarregando-a em mesa alimentadora ou moega), com capacidade de elevação e articulação de carrocerias de 42 t, uma moega de recepção com capacidade para 40 t. Na sequência, existia uma esteira transportadora com 18 metros de comprimento, do tipo taliscas metálicas, de largura 2130 mm, acionada por motor elétrico de potência 75 cv, conectado a um inversor de frequência que possibilita variar a velocidade da esteira de 0 a 9 metros por minuto. Na saída da esteira metálica, existe um equipamento alimentador rotativo denominado nivelador acionado por motor elétrico de potência 30 cv e 1750 rpm. Esse dispositivo realiza a dosagem da cana na próxima esteira instalada em sequência, de maneira que esta fique com uma camada não muito espessa, para facilitar a sopragem do palhiço, quando da passagem pelo bico soprador.

Na sequência, após a esteira metálica, existe uma esteira de lona com comprimento de 41 metros e largura 2330 mm, acionada por motor elétrico de 60 cv e 1750 rpm, que conduz a cana-de-açúcar, ainda com palhiço, até o sistema de sopragem.

O sistema de sopragem é composto de um ventilador centrífugo com vazão de 70000 m³/h à pressão de 250 mmca, acionado por motor elétrico de potência 100 cv e 1750 rpm. O jato de ar sai pelo bico soprador sobre a cana-de-açúcar, fazendo com que o palhiço e as impurezas, que são mais leves, caiam na câmara de separação e os colmos da cana-de-açúcar, mais pesados, na esteira que alimenta a moenda.

O palhiço soprado para a câmara de despressurização é conduzido por uma esteira de lona instalada na parte inferior dessa câmara, até uma esteira de arraste denominada cuch-cush onde, no caso dessa usina, é lavado para retirada das impurezas minerais. A seguir, através de uma esteira transportadora de lona, o palhiço é enviado ao ultimo terno da moenda para ser triturado com a cana-de-açúcar.

Para determinação da eficiência do sistema de separação do palhiço recebido com a cana-de-açúcar, foi estabelecido que fossem amostradas cargas de cana-de-açúcar, colhidas com a rotação do extrator de palhiço da colhedora, variando sua velocidade entre 650 e 900 rpm, desejando-se avaliar as diferenças de desempenho ao se trabalhar com cargas com teor de palhiço entre 13 e 7%, respectivamente.

2.2.1 Determinação da eficiência do sistema de separação

Em observações anteriormente realizadas, verificou-se que, ainda após a cana-de-açúcar ter passado pelo processo de limpeza a seco, havia palhicho misturado aos colmos. Para se determinar o quanto de palhicho ficava remanescente, estabeleceu-se que a carga de cana-de-açúcar deveria passar por uma segunda etapa de limpeza. Adaptou-se uma esteira transversal instalada a 90 graus da esteira principal que conduzia a cana-de-açúcar para a moenda e um sistema de flap desviador, acionado por um volante. Esse sistema permitia carregar novamente no caminhão, através da esteira transversal, a mesma carga de cana-de-açúcar recebida e soprada, para se repetir o experimento e determinar os teores de impurezas mineral e vegetal.

O experimento foi realizado nos setores agrícola e industrial da usina, com 16 repetições, com coletas de amostras no campo em tambores de capacidade 100 litros. Além da amostragem de campo com tambores, a amostragem com sonda oblíqua foi efetuada tanto na primeira como segunda soproagem.

2.2.2 Determinação das impurezas totais e vegetais

Foram coletadas amostras diretamente das cargas de cana-de-açúcar em recipientes de capacidade 100 litros, e também, através das sondas oblíquas de amostragem do Laboratório de pagamento de cana-de-açúcar pelo teor de sacarose (LPCTS). Essas amostras foram processadas separando-se manualmente colmos, impurezas e palhicho, espalhando-se o material em lona plástica (2m x 2m), escovando-se os colmos com escovas de cerdas de nylon e peneirando as impurezas em peneira comum com abertura nominal de 4 mm e diâmetro de 70 cm e balde plástico com capacidade de 60 litros com a tara marcada no próprio balde e as classificando em baldes plásticos com capacidade para 10 litros.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação dos métodos de recolhimento de palhicho de cana-de-açúcar no campo.

3.1.1 Recolhimento de palhicho com colhedora para forrageiras

Tabela 1 – Resultados obtidos no recolhimento de palhicho com máquina para forrageiras.

	dados do experimento
palhão recolhido (t)	17724,5
área de colheita (ha)	3583,61
produtividade de recolhimento (t/ha)	4,95
umidade média (%)	10,7
Impureza mineral (%)	7,54
massa média transportada por viagem (t)	5,75
número de viagens	3081
distância média (km)	15,7
custo de transporte por viagem R\$ - (USD)	96,17 - (32,71)
custo palhão posto na usina R\$/t - (USD/t)	58,14 - (19,78)

3.1.1.1 Produtividade média do recolhimento

Considerando a média apurada pelo CTC – Centro de Tecnologia Canavieira de 14,4 t/ha de palhão, em diversos experimentos, o resultado obtido de 4,95 t/ha de palhão recolhido (com umidade de 10,7 %), permite concluir que foram recolhidos em média 35% do palhão disponível. O desempenho foi pior em solos argilosos do que em solos arenosos pois a argila se agregou as partes móveis da máquina, causando paradas para limpeza.

3.1.1.2 Umidade média do palhão

A umidade média determinada no experimento (10,7%) tem um valor energético elevado, PCI de 3731 kcal/kg ou 15620 kJ/kg, isso se deveu a insolação recebida no período ocorrido entre o recolhimento e colheita da cana-de-açúcar, que não foi item controlado no experimento. Devido à má performance mecânica da máquina forrageira, o recolhimento não seguiu o parâmetro estabelecido de ocorrer, até 4 dias da colheita da cana-de-açúcar, o que em média resultaria em umidade de 15%.

3.1.1.3 Impureza mineral

A impureza mineral média apurada de 7,54% foi considerada elevada para o uso do palhiço como energético para as caldeiras, requerendo peneiramento para separação da terra, antes de ser misturado ao bagaço. O bagaço já tem em sua composição resíduo mineral, que somado ao do palhiço, causará entupimentos na caldeira.

3.1.1.4 Massa média transportada por viagem

Observou-se também que, devido à limitação da altura do braço de descarga da máquina forrageira, o transporte foi adaptado com carrocerias com 4,00 metros de altura total do solo, o que reduziu sua capacidade de carga, pois essa altura poderia ser até 4,40 metros, que é a autorizada pela legislação, e que poderia ter o volume aumentado, e também a massa de palhiço transportado por viagem cujo resultado obtido, foi de 5,75 t/viagem.

3.1.1.5 Custo do transporte por viagem

O custo do transporte do experimento foi considerado elevado, e justificado em que, foi contratado um prestador de serviço do Uruguai, só que com um agravante, a máquina não foi submetida à manutenção adequada após a safra de sorgo e, com isso não apresentou a disponibilidade adequada para o serviço, sendo necessária a contratação de uma segunda máquina, que também apresentou alto índice de quebras, ou seja, necessitou-se de duas máquinas para executar serviço necessário para uma. Como o restante dos equipamentos, tais como tratores e implementos para aleiramento e caminhões para transporte até a indústria, eram da própria usina e com custo fixo, a ociosidade do sistema aumentou o custo por tonelada transportada. O custo de transporte extraído da Tabela de Custos Operacionais da usina foi de R\$ 9,44 por tonelada para raio médio de 20 km, logo o custo de 5,75 t/viagem deveria ser R\$ 54,28 e não R\$ 96,17 obtido.

3.1.1.6 Custo do palhiço posto na usina

Justificou-se pelo fato comentado no item 3.1.1.6, de que o custo fixo da estrutura, não se diluiu na ociosidade do sistema, e de que o experimento teve uma melhor apropriação de custos indiretos de administração das atividades.

3.1.1.7 Avaliação do processo de recolhimento com colhedora para forrageira

Essa modalidade de recolhimento de palhiço apresentou pontos positivos para a indústria porque é picado e carregado já com baixa umidade, em caminhões com carrocerias que facilitam seu descarregamento diretamente no pátio de bagaço, onde é misturado com o bagaço e conduzido para as caldeiras. Como pontos negativos estão à baixa densidade de carga, e o alto desgaste das facas e contra-facas das máquinas forrageiras.

3.1.2 Recolhimento de palhiço com colhedora “Twyster.”

Tabela 2 – Resultados de recolhimento de palhiço obtidos com a colhedora “Twyster” em condições da umidade.

condição	dados de colheita		produtividade	massa	volume	massa	umidade	impureza
	m linear	m ²	recolhimento	kg	m ³	específica	%	mineral
			t/ha			kg/m ³		%
seca	810	1215,0	4,83	587	10,5	55,46	13,92	3,41
verde	747	1120,5	10,29	1153	10,5	108,94	40,82	6,19

3.1.2.1 Produtividade do recolhimento

Na condição de palhiço seco, que é o mais desejável como combustível, a produtividade foi de 4,83 t/ha, contra 4,95 t/ha, do experimento com máquina forrageira, valor apenas 2% menor, com a vantagem de que, no experimento com a máquina “Twyster”, não há a necessidade se efetuar a operação de aleiramento, pois a máquina recolhe o palhiço da maneira com fica no solo, após a colheita da cana-de-açúcar.

3.1.2.2. Desempenho da máquina por característica de palhiço

Para a condição verde do palhiço, são considerados justificáveis os maiores valores de produtividade, massa e massa específica, uma vez que estão diretamente relacionados com a umidade, isto é, quanto mais úmido o palhiço, maior a sua massa específica. A produtividade da máquina com palhiço verde foi 113% superior ao palhiço seco, logo se deixarmos o palhiço secar na indústria, é mais vantajoso colhê-lo na condição úmida.

3.1.2.3 Impureza Mineral

O maior valor encontrado para o palhiço verde justificou-se, também, pela impureza mineral, que fica aderida ao palhiço logo após a colheita da cana-de-açúcar, causada pelo borriço de caldo e matéria líquida das folhas verdes, quando cizalhadas pelo cortador da colhedora de cana-de-açúcar.

Observou-se no experimento os tempos de operação e a partir desses dados, estimou-se os valores de produtividade, para uma eficiência adotada de 83%, ou seja, 20 horas/dia de trabalho. Os dados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Rendimentos calculados para 20 horas de trabalho da colhedora Twyster.

	rendimentos		
	base úmida t/h	t/20h	produtividade operação ha/20h minutos
palhiço seco	1,76	30,20	7,30
palhiço verde	3,46	41,00	6,70
tempo de recolhimento			20
tempo de transbordo			3
tempo de carregamento			3
tempo total p/vol. 10,5m ³			26

Para determinação do custo do palhiço recolhido posto usina, foi considerada a proposta da empresa Deltamaq, fabricante dos equipamentos Twyster Press e Twyster Box, que atestava que um conjunto de 2 recolhedoras e 3 transbordos produziria 8 toneladas/hora de palhiço recolhido. Foram considerados 2 recolhedoras Twyster Press com trator MF6350 e 3 conjuntos transbordo Twyster Box com trator

VT885. Para transporte foi considerada a média de 10 t por carga e distância média de 20 km. Os valores foram obtidos da Tabela de Custos Operacionais praticados da usina e estão demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Custo do palhicho recolhido pelo sistema de máquinas Twyster.

equipamento	quantidade	custo unitário para 8 t/h R\$/h	custo total para 8 t/h R\$/h	custo por t/palhicho R\$	custo transporte R\$/t	custo posto na usina R\$/t - (USD/t)
Trator MF 6350	2	85,70	171,40	21,43		
Trator VT8854	3	47,20	141,60	17,70		
<i>Twyster Press</i>	2	33,50	67,00	8,38		
<i>Twyster Box</i>	3	16,20	48,60	6,08		
transporte					9,44	
total		182,60	428,60	53,58		63,02-(32,15)

3.1.2.4 Custo do palhicho posto na usina

O valor apurado R\$ 63,02 foi 8% superior ao custo do recolhimento por máquina forrageira do segundo experimento. Excluída a participação do custo de transporte, os valores apurados para a tonelada do palhicho recolhido, são respectivamente R\$ 53,58 para a Twyster, contra R\$ 48,03 para a máquina forrageira, ou seja, 12% maior.

3.1.3 Recolhimento de palhicho com máquina colhedora e enfardadora

Os resultados dos dados operacionais estão apresentados na Tabela 5 e os de custos na Tabela 6.

Tabela 5 – Resultados operacionais do recolhimento do palhicho com máquina enfardadora.

produtividade de recolhimento/ enfardamento t/ha	impureza mineral média %	umidade média %	massa transporte por carga t
6,89	8	16	4,7

3.1.3.1 Produtividade do recolhimento

Considerando a média apurada pelo CTC – Centro de Tecnologia Canavieira de 14,4 t/ha de palhicho, em diversos experimentos, o resultado obtido de 6,89 t/ha de palhicho recolhido (com umidade de 16%), permite concluir que foram recolhidos em média 49% do palhicho disponível. A produtividade de recolhimento dessa modalidade foi 39% superior que o da máquina forrageira e 43% superior que a máquina Twyster para a condição seca e 49% inferior para a condição úmida.

Tabela 6 – Resultados econômicos do recolhimento do palhicho com máquina enfardadora.

palhicho recolhido t	custo do recolhimento R\$ - R\$/t	custo do transporte R\$/t - R\$ viagem	custo posto usina R\$/t - (USD/t)
4215,25	265434,45 - 62,97	6,47 - 30,41	69,44 - (37,95)

3.1.3.2 Custo do palhicho recolhido, posto na usina

O custo apurado foi o maior dentre as modalidades de recolhimento de palhicho no campo, respectivamente: máquina forrageira R\$ 58,14, máquina Twyster R\$ 63,02 e máquina enfardadora R\$ 69,44. Já para o custo de transporte, mesmo tendo uma média de carga por viagem menor que a da máquina forrageira (5,75 t), consegue ter menor custo, porque se utiliza de veículos comerciais ou de transporte de cana-de-açúcar, comparado à modalidade da máquina forrageira que tem transporte dedicado.

3.2 Resultados da otimização de sistema de separação do palhicho na indústria

Tabela 7 – Resultados das amostras antes das sopragens.

Antes das sopragens							
Tratamentos caminhão		carga		palhiço			umidade
rpm	número	kg	tambor %	sonda %	tambor kg	sonda kg	média %
900	1	22520	4,79	4,07	1078,71	916,56	42,32
	2	22220	4,90	3,24	1089,61	718,82	41,51
	3	20280	6,04	6,14	1224,78	1245,19	32,86
	4	22020	4,74	8,57	1043,78	1886,01	40,79
	média		19005	5,21	7,69	985,56	1397,81
650	5	16980	10,58	8,46	1796,78	1435,75	36,92
	6	15100	8,86	14,82	1337,97	2237,31	33,27
	7	16540	9,43	10,85	1560,48	1793,76	29,54
	8	13680	11,39	19,64	1557,71	2686,07	29,57
	média		13565	11,85	14,81	1570,26	1948,97

3.2.1 Apuração da quantidade de palhiço recebido

Com o extrator da colhedora em 900 rpm, foram apuradas as médias do palhiço recebido junto com a cana-de-açúcar, como sendo: de 5,21% pelo método do tambor e 7,69% pelo método da sonda oblíqua. Com o extrator em 650 rpm, as médias foram, 11,85% e 14,81%, respectivamente.

A quantidade de palhiço amostrada pela sonda oblíqua foi em média 2,48 pontos percentuais maior, que a amostrada pelo método do tambor, para o experimento com 900 rpm e 2,96 pontos percentuais maior, com 650 rpm. Isto pode ser explicado pelo fato da sonda ser um método destrutivo, onde o caldo da cana-de-açúcar, resultado da ação mecânica de cisalhamento e dilaceramentos dos colmos, se adere ao palhiço, causando aumento de sua massa. Considerando-se a relação de resíduos/produção estabelecida pelo Centro de Tecnologia Canavieira - CTC, cuja média é de 18,18% de palhiço disponível, dos resultados obtidos pelo método do tambor, pode-se afirmar que na rotação de 650 rpm e 900 rpm, foram colhidos 29 e 65% do palhiço disponível, respectivamente.

As cargas de números 9, 10, 11 e 12 da Tabela 7, foram as menores de cana-de-açúcar colhidas e as maiores em impureza vegetal agregada, isto demonstra a perda da capacidade de carga de cana-de-açúcar, quando se deseja maior quantidade de palhiço, considerado o volume fixo da carroceria do caminhão de transporte. A Figura 1 apresenta esta relação para modalidade de amostragem pelo tambor.

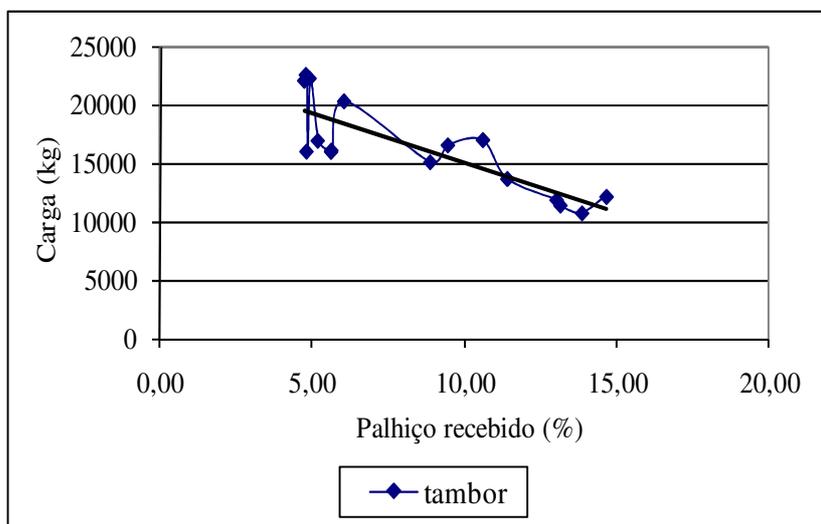


Figura 1 – Perda da capacidade de transporte em relação ao % de palhiço colhido, amostra colhida em tambor.

3.2.2 Apuração da umidade média do palhiço recebido

Foi apurado o valor de 38,99%, muito próximo ao valor verificado no recolhimento pela máquina Twyster, na condição úmida que foi 40,82%.

3.2.3 Apuração da eficiência do sistema de separação

Após a primeira sopragem, as amostras colhidas, tanto pelo método do tambor como pelo da sonda oblíqua, indicaram a quantidade de palhiço ainda contido na cana-de-açúcar, como sendo para a rotação de 900 rpm, 2,41 e 5,04% respectivamente, e para a rotação de 650 rpm 3,98 e 6,68%. A quantidade média de palhiço, amostrada pela sonda oblíqua, continuava sendo maior que a amostrada pelo método do tambor, no caso 2,63 e 2,70 pontos percentuais para as rotações de 900 e 650 rpm.

Após a segunda soproagem, ainda restaram 1,85 % de palhiço colhido com 900 rpm e 2,30% de palhiço, quando a rotação do extrator da colhedora estava com 650 rpm quando analisados pelo método do tambor. O efeito da segunda soproagem causou um incremento de 12,95 pontos percentuais, no sistema de separação de palhiço, resultado obtido pelo método do tambor,

A Figura 2 apresenta graficamente, os resultados do método do tambor.

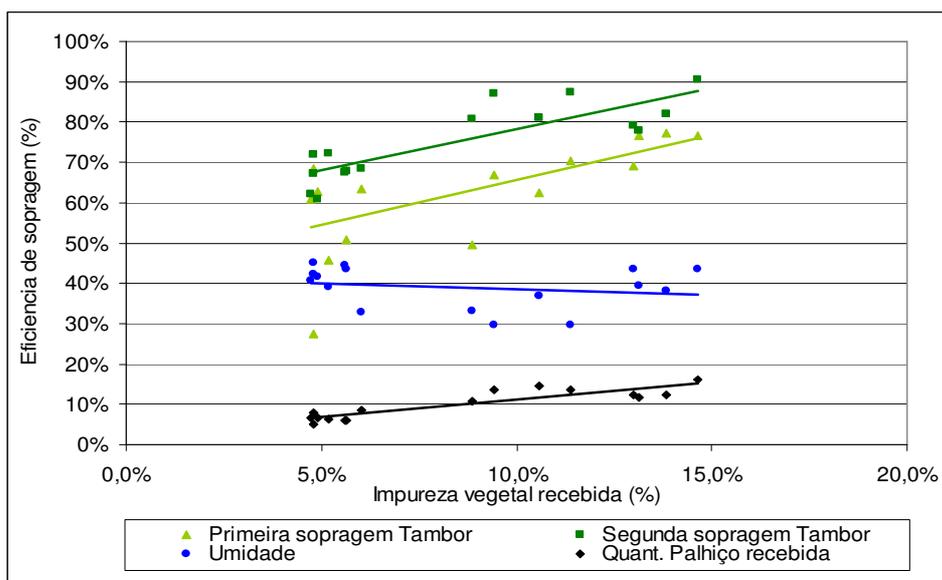


Figura 2 – Resultados da eficiência de separação de palhiço na indústria, pelo método do tambor.

Da Figura 2, se conclui também que é maior a eficiência de separação, quanto maior o volume de palhiço, porém deve-se ponderar que também quanto maior o volume de palhiço, menor a quantidade de cana-de-açúcar transportada no mesmo veículo. Isso vai refletir no dimensionamento de transporte de cana-de-açúcar e o conseqüente aumento de custos de transporte tanto da cana-de-açúcar quanto do palhiço.

O custo de corte, carregamento e transporte da usina, durante o experimento, foi de R\$ 19,75 por tonelada de cana-de-açúcar. Logo vem a ser também o custo do palhiço que é colhido, junto com a cana-de-açúcar em percentuais menores que 6%. Os custos da operação de separação do palhiço na indústria foram estimados em R\$ 11,00/t, considerando-se o custo do palhiço pronto para ser queimado nas caldeiras em R\$ 30,75/t.

4 CONCLUSÕES

Verificados os resultados das duas modalidades de colheita de palhiço, concluiu-se de que os três sistemas de recolhimento de palhiço no campo, após a colheita da cana-de-açúcar, apresentaram custo mais elevado (influência do custo de transporte por viagem) do que a colheita conjunta dos colmos e do palhiço, (colheita denominada de parcialmente integral) e posterior separação na indústria pelo sistema de limpeza a seco, sendo que o maior custo foi para o sistema que recolhia e enfardava o palhiço de valor R\$ 69,44/t contra R\$ 30,75/t que foi o custo apurado para o sistema de limpeza a seco.

Para as duas modalidades, concluiu-se da necessidade de peneiramento do palhiço recolhido ou separado, para retirada da impureza mineral, prejudicial ao processo de fabricação da Usina, o que seria um agravante para o sistema que recolhia e enfardava o palhiço, pois essa impureza mineral tende a causar desgaste nos picadores necessários para picar os fardos.

Na modalidade de colheita parcialmente integral, concluiu-se que quanto maior a quantidade de palhiço maior foi a eficiência de separação, com incremento de 13% quando efetuada uma segunda so-pragem, o que levou a um balanço energético positivo. Porém, como agravante houve redução na capacidade de carga e transporte de até 30%, quando se aumentou a quantidade de palhiço colhido junto com a cana-de-açúcar de 7% para 13%. Isso pode implicar em aumento de frota e conseqüente aumento de custo do transporte da cana-de-açúcar dos canaviais até a Usina.

5 REFERÊNCIAS

ARRIGONI, E.B. Uso de defensivos agrícolas. In: MACEDO, I.C. (org) **A energia da cana-de-açúcar**. doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendi, 2005. cap. 8, p. 143-157

BRAUNBECK, A.O. Idéias Acesas, Jornal da Unicamp, Campinas, n. 164, julho 2001, Disponível em: http://www.unicamp.br/unicamp_hoje/ju/ju/2001/uni_ju164pag18.html. Acesso em: 14 nov. 2005.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA - COPERSUCAR. **Biomass power generation sugar cane bagasse and trash**. Piracicaba, 2005. 1 CD-ROM.

COGENSP-ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. Bioeletricidade- reduzindo emissões e agregando valor ao Sistema Elétrico Nacional, Disponível em:

http://Cogensp.com.br/workshop/2009/Bioeletricidade_Agregando_Valor_Matriz_Elétrica_03jun2009.pdf>. Acesso em: 23 maio 2009.

HASSUANI, S. J. Ambiente Brasil, desprezada, palha pode dobrar energia. Disponível em: <http://www.valeverde.org.br/html/clipp2.phd?id=3531&categoria=Energia>>. Acesso em: 15 nov. 2005.

PAES, L. A. D. Uso de defensivos agrícolas. In: MACEDO, I.C. (org) **A energia da cana-de-açúcar** . doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendi Editores Ltda., 2005. cap. 3, p.73-86.

PROGRAMA DE INCENTIVO AS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA ELETRICA, Lei nº 10.438 de 26/04/2002. Disponível em: <http://www.camara.gov.br>>. Acesso em: 10 out.2005.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Protocolo agroambiental. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov/noticentro/2008/03/10_protocolo_apresentação.pdf>. Acesso em: 15 jan.2009.

RIPOLI, T.C.C. Recuperação da palha para fins energéticos. In: WORKSHOP TECNOLÓGICO SOBRE COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR E PALHA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL, 2.,ano 2006, Campinas. Disponível em: <http://apta.sp.gov.br/cana/anexos/paper>>. Acesso em: 14 fev. 2009.