

ANÁLISE ECONÔMICA E ENERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE BIOETANOL DE MANDIOCA VIS-À-VIS O DE CANA-DE-AÇÚCAR NAS REGIÕES DE IVINHEMA, ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL, PARANAÍ, ESTADO DO PARANÁ E ASSIS, ESTADO DE SÃO PAULO¹

Denyse Chabaribery²

1 - INTRODUÇÃO

A pesquisa em bioenergia no Brasil seguiu uma trajetória irregular ao longo do tempo e teve consequências, não de dano total ao desenvolvimento de um setor de energia advinda da biomassa, mas causando um descompasso de desempenho entre as alternativas de fontes de matérias-primas para a indústria bioenergética.

Se, por um lado, o histórico da exploração da cana-de-açúcar no país propiciou a implantação e a evolução de um complexo sucroalcooleiro de alta tecnologia, outros segmentos foram relegados por muito tempo. Nos últimos anos, percebeu-se esta falha no sistema de pesquisa e inovação tecnológica, e muitas iniciativas têm sido empreendidas para o estudo do potencial de outras origens de biomassa para a produção de bioenergia.

Assim, novas matérias-primas para a produção de bioetanol e de biodiesel vêm sendo investigadas no Brasil com resultados ainda pouco contundentes, pois as iniciativas são mais isoladas e dependem de projetos de pequenas equipes de pesquisadores. Com exceção da cana-de-açúcar, matéria-prima para a produção de bioetanol que sempre recebeu muita atenção em pesquisa e inovação. Já nos EUA, por exemplo, mais especificamente na Flórida, foi criado um extenso programa de pesquisa de plantas para bioenergia no qual várias espécies são pesquisadas e, em pouco tempo, montou-se uma rede de pesquisa e desenvolvimento envolvendo vários órgãos e instituições.

Os questionamentos que envolvem o avanço na pesquisa em bioenergia no Brasil são

de várias ordens, mas a questão crucial é: podemos apostar que a bioenergia desempenhará um papel tão importante no futuro, em que a produção de biocombustíveis será essencial para o transporte, médio e pesado, e a geração de energia elétrica?

Se a resposta for afirmativa e a bioenergia representa um caminho com potencialidade para se firmar no país e no mundo como opção para o desenvolvimento energético, então cabe questionar: quais políticas públicas são necessárias visando um desenvolvimento sustentável?

As políticas públicas devem visar corrigir distorções sociais e ambientais e fortalecer os potenciais tecnológico, econômico, agrícola, industrial e de mercado para determinadas cadeias produtivas. Sendo assim, os impactos da produção de bioenergia precisam ser levantados e estudados como forma de desenhar a implantação de ações positivas.

Várias fontes de biomassa servem como matéria-prima para a fabricação de etanol. Citam-se algumas destas fontes e os países onde são utilizadas: cana-de-açúcar (Brasil, Índia, Austrália, EUA, Peru, Argentina e América Central), milho (EUA e Canadá), mandioca (Tailândia e China), beterraba (França, Alemanha, Espanha), trigo (China), sorgo (China, países africanos, Índia), restos florestais (Suécia), entre outras.

A produção de mandioca se estende por todo o território nacional e é considerada uma cultura tecnologicamente atrasada, que não conseguiu alcançar o potencial produtivo que poderia ter. Porém, pouco recurso financeiro foi destinado ao seu desenvolvimento tecnológico e, na história da implantação do Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), a mandioca deveria ter sido priorizada na instalação de pequenas e médias usinas processadoras do produto, buscando uma

¹Cadastrado no CCTC, IE-18/2014.

²Engenheira Agrônoma, Doutora, Pesquisadora Científica aposentada do Instituto de Economia Agrícola (e-mail: denyse.chabaribery@gmail.com).

desconcentração e a não verticalização econômica e social no programa. Mas, em seu detrimento, houve um investimento maciço para o parque industrial do bioetanol tendo a cana-de-açúcar como a matéria-prima preferida.

O objetivo desta pesquisa é demonstrar a viabilidade econômica e energética da mandioca como matéria-prima para a produção de bioetanol, *vis-à-vis* a cana-de-açúcar. Os objetivos específicos são: estimar os custos de produção da mandioca e estudar seu balanço de energia, ambos na fase agrícola, comparativamente aos custos e ao balanço energético da cana-de-açúcar. Estas análises são realizadas em três regiões do país com o objetivo de avaliar se existem diferenças contundentes nos desempenhos econômico e energético das culturas conforme a região. As regiões foram escolhidas por serem importantes polos de produção de mandioca, tanto com destino à indústria quanto para o consumo *in natura*.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão a seguir tem como finalidade situar algumas questões que envolvem a produção de matéria-prima para a indústria do bioetanol.

2.1 - Aspectos Ambientais

Biomassa é a matéria orgânica que quando processada em usinas específicas pode ser transformada em produtos capazes de gerar energia. Em países tropicais, como o Brasil, a produção de biomassa com vistas à geração de energia encontra vantagens, principalmente pela intensidade e duração da insolação durante o ano. O substituto natural para o petróleo é a biomassa, pois, além de ser renovável, ela reduz a poluição, uma vez que é formada a partir de CO₂ e H₂O, aproveitando a energia solar.

Ao longo dos anos, foram adotadas no Brasil duas principais políticas públicas para desenvolver o uso de biocombustíveis com fontes renováveis: o PROÁLCOOL, em 1975, e o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel, 30 anos depois, em 2005. Segundo Paula e Silva

e Sakatsume (2007), o início efetivo do programa PROÁLCOOL fundou-se no relatório que a Secretaria de Tecnologia Industrial (STI) do Ministério da Indústria e Comércio apresentou em 1975, Etanol como Combustível, no qual o desenvolvimento independente de tecnologias de produção para a utilização de biomassa como combustível era o aspecto central. Enfatizavam-se ali as vantagens oriundas das características excepcionais da exploração da cana-de-açúcar e se promovia ao mesmo tempo a exploração de outras fontes, como o uso da mandioca, por razões de política de desenvolvimento. Mas, na época, a mandioca não obteve sucesso e se alegavam gargalos técnicos na produção agrícola.

O PROÁLCOOL se fortaleceu, então, pela considerável experiência acumulada em combustíveis renováveis baseada na cultura da cana-de-açúcar. De acordo com a Constituição, a expansão da agroenergia deve estar integrada com proteção ambiental.

Durante anos, a monocultura da cana-de-açúcar acarretou impactos ambientais que foram denunciados e combatidos, alguns conseguiram obter razoável solução e outros buscam solução. Segundo Paula e Silva e Sakatsume (2007), a cultura diminuiu o uso de água para irrigação de 5 m³/t cana (1990 a 1997) para 1,83 m³/t cana em 2004, em São Paulo; recicla os efluentes industriais (vinhaça, torta e cinzas); utiliza, em parte, controles biológicos de praga; e estão em curso programas para o reuso da água na usina, para a redução gradual da queima da cana e a proteção de Áreas de Preservação Permanente (APPs).

Ainda segundo Paula e Silva e Sakatsume (2007):

O consumo de bioetanol hidratado mais anidro deslocou, em 1989, quase 50% do consumo da gasolina. Este deslocamento ocorreu em um período de 11 anos. A frota de carros movidos somente a bioetanol hidratado, E100, aumentou continuamente a partir de 1979, e em 1985, a participação nas vendas alcançou 96% da frota comercializada.

Os principais efeitos do uso do álcool (puro ou misturado com gasolina) nos centros urbanos foram a eliminação do chumbo na gasolina e a redução das emissões do monóxido de carbono. Os benefícios que se manifestam no terreno da

redução de emissões de gases de efeito estufa podem ser sintetizados nos seguintes pontos principais: o setor (incluindo açúcar) promoveu redução equivalente a aproximadamente 18% das emissões dos combustíveis fósseis no país; o etanol promoveu grande redução na poluição atmosférica em centros urbanos, desde 1980 - com relação à gasolina houve eliminação do chumbo, de todos os compostos de enxofre, de particulados com carbono e sulfatos (etanol a 100%) -; compostos orgânicos voláteis passaram a ter menor emissão e mais baixa toxicidade; ocorreu redução de 70% do CO nos E-100 e 40% do CO nos E-22. O custo social evitado, a partir desses benefícios ambientais, é estimado, a partir de 2001, como superior a R\$ 500 milhões por ano (PAULA E SILVA; SAKATSUME, 2007, p. 32).

Esses dados se referem ao etanol proveniente da cana, mas poderia ser de qualquer outra fonte, inclusive da mandioca.

Portanto, só os aspectos positivos ligados à redução da poluição já transformariam o etanol em um produto ambientalmente amigável. Outros aspectos relacionados ao balanço energético da biomassa na transformação em etanol também conferem à bioenergia um setor distinto e que pode aproximar o país de um desenvolvimento sustentável.

Com relação à produção de energia a partir de restos culturais, informações sobre o sistema produtivo de etanol com base na mandioca são escassas na literatura. Recentemente, Veiga et al. (2011) avaliaram o potencial de geração de energia a partir de resíduos de campo da produção de mandioca para abastecimento de uma usina de produção de etanol e chegaram ao seguinte resultado:

O processo industrial de produção de etanol, considerando tecnologias de conversão de energia consagradas (geração de vapor e geração de energia termoelétrica) demanda 1.810 Mj por tonelada de raiz processada, o qual representa apenas 36% da energia disponível através dos resíduos de campo.

Somente a utilização da cepa é suficiente para o abastecimento energético de uma planta de produção de etanol a partir da raiz de mandioca.

A utilização dos resíduos do campo da cultura de mandioca para auto-geração de energia térmica e elétrica a fim de abastecer uma corres-

pondente usina de produção de etanol mostra-se viável (VEIGA et al., 2011, p. 4-5).

Portanto, segundo Veiga et al. (2011), a energia disponível (gerada pela cepa e parte aérea) supera a energia necessária (para a transformação industrial da raiz em etanol na usina) em 2,7 vezes. Considerando as devidas escalas industriais economicamente viáveis, a cultura da mandioca pode produzir etanol e, também, energia elétrica excedente, se for utilizado todo o resíduo da parte aérea e a cepa.

Na cana-de-açúcar a informação dada pela pesquisa de Macedo (2005) é que:

Para a parcela da cana usada para produzir açúcar, o balanço é praticamente zero (o que representa uma grande vantagem em relação ao açúcar produzido de beterraba, ou da hidrólise de amido, que têm balanço negativo). No processamento da cana as usinas têm um autoconsumo de energia de:

- 12 kWh/t cana (energia elétrica);
- 16 kWh/t cana (energia mecânica, acionamentos);
- 330 kWh/t cana (energia térmica, para os processos).

A energia contida na palha e bagaço é muito superior a estes valores. Além disso, como as necessidades de energia térmica são muito maiores que as de energia elétrica e mecânica, o sistema pode ser atendido com plantas de cogeração a vapor mesmo com eficiências de conversão termomecânicas muito baixas; esta foi a opção utilizada nos anos 1970, quando a abundância de energia hidroelétrica conduzia a uma legislação que praticamente impedia a venda de excedentes das usinas para a rede. Esta situação está mudando rapidamente, e a evolução tecnológica dos sistemas de geração de energia das usinas de açúcar e álcool tem sido um processo contínuo nos últimos vinte anos. Caldeiras com maior desempenho e capacidade e turbo geradores com potência nominal acima de 20 MW e com eficiências acima de 75% estão sendo comercializados, os sistemas são de cogeração pura, vinculados à operação da usina (MACEDO, 2005, p. 61-62).

Explicar o processo todo é bastante complexo. A produção de etanol consome no campo (fase agrícola) grande parte de energia fóssil contida nas operações de máquinas e transporte, mais a energia fóssil embutida nos

insumos e na depreciação de máquinas, equipamentos e benfeitorias. Na fase industrial, parte do bagaço é usada para produzir energia (cogeração; energia elétrica e térmica, para os processos de produção de açúcar e etanol na usina); parte é usada em indústrias externas. A palha ainda é pouco utilizada.

Cerca de metade da sacarose produz etanol (que substitui gasolina); a outra parte é usada na produção de açúcar. A energia elétrica produzida pelas usinas é suficiente para o seu abastecimento.

A relação entre a energia renovável produzida (com o etanol) e a energia injetada no sistema é de 8,8; com a utilização do bagaço na usina. A consequência é que o setor evita emissões de gases de efeito estufa (GEE) equivalentes a 13% das emissões de todo o setor de energia no Brasil (base 1994). O valor de 8,8 indica a grande capacidade do sistema para produção de energia renovável. O etanol de amido de milho, nos EUA, por exemplo, tem atingido, nos melhores casos, 1,4 (MACEDO, 2005).

2.2 - Aspectos Sociais

A produção de mandioca é, em grande parte, realizada por famílias de agricultores empobrecidos. As condições que facilitam esta relação têm respaldo na grande resistência da planta à seca, não necessitando de irrigação e de adubação e adequando-se às necessidades de subsistência destas famílias, que têm na sua força de trabalho o esteio para os tratamentos culturais e colheita.

Por essas características, um programa de desenvolvimento do bioetanol de mandioca com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda, poderia ser desenhado e implantado no Brasil.

A rota tecnológica poderia ser aprimorada envolvendo instituições de pesquisa regionais, que buscariam melhoramento genético e práticas agrícolas socialmente e ambientalmente apropriadas para a agricultura familiar e, também, para o agronegócio, desde que dentro de objetivos cooperativos. Organizando a cadeia produtiva, definindo linhas de financiamento e estrutu-

rando a base tecnológica, o governo poderia promover pequenas e médias usinas de produção de bioetanol em áreas estratégicas para atender mercados locais, ou até mesmo para exportação, dentro do conceito de comércio justo.

Uma usina vem sendo implantada em Porto Nacional, no Tocantins, juntamente com ações do Programa Bioálcool, uma iniciativa do Instituto Ecológica, Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP) que desenvolve planos de orientação a pequenos produtores nortistas, um projeto que poderá vir a servir de modelo para a região Norte.

A lacuna de literatura que aborde a produção de mandioca é imensa, porém, verifica-se, que, no Brasil, em 2006, a agricultura familiar participou com 83,2% da produção de mandioca³, e que uma avaliação completa da importância da mandioca para a alimentação dos brasileiros exigiria considerar a sua contribuição no fornecimento de proteínas, lipídios, etc. (HOFFMANN, 2014).

3 - METODOLOGIA

Com relação às culturas pesquisadas, mandioca e cana-de-açúcar, foram coletados dados de todas as operações e insumos utilizados no sistema de produção agrícola, em três regiões do Brasil: Ivinhema, Estado de Mato Grosso do Sul; Paranavaí, Estado do Paraná; e Assis, Estado de São Paulo. Os agricultores que responderam os questionários, três para cada cultura e cada região, foram indicados por técnicos regionais que participaram do projeto e tinham conhecimento dos sistemas produtivos mais adotados. Em geral, fazem uso de tratores, máquinas e equipamentos que são específicos para cada cultura. A colheita, que é considerada a operação gargalo pela alta demanda de mão de obra, é realizada parcialmente com máquinas, principalmente no transporte da produção no campo. No

³No que se refere à mandioca, cabe ressaltar que ela é muito importante na alimentação dos próprios agricultores familiares. Trata-se de uma lavoura rústica e, para o pequeno agricultor familiar, o produto fica "armazenado" na roça e, quando necessário, ele arranca um ou mais pés de mandioca" (HOFFMANN, 2014).

Estado de São Paulo, os coeficientes técnicos refletem a mais alta mecanização das lavouras, principalmente da cana-de-açúcar.

Os dados levantados foram usados para construir as planilhas de coeficientes técnicos de utilização de fatores de produção, máquinas, equipamentos, mão de obra e insumos para realizar a estimativa dos custos de produção da mandioca e da cana-de-açúcar e, também, para o cálculo do balanço energético de ambas.

Foi considerado pelo menos um período completo do ciclo de produção da mandioca e da cana-de-açúcar para comparação da produção em etanol/ha.

3.1 - Estimativa de Custo Operacional Total de Produção

A metodologia utilizada foi a do Instituto de Economia Agrícola (IEA), que adota o conceito de custo operacional total de produção (COT), englobando as despesas diretas - sementes ou mudas, adubos, corretivos, agroquímicos, mão de obra, combustíveis e lubrificantes, além de serviços de terceiros e empreitas - perfazendo o custo operacional efetivo (COE), e as despesas indiretas, como depreciação de máquinas, seguro agrícola, encargos sociais, seguridade social, encargos financeiros e o arrendamento quando efetivamente ocorrer. Ressalta-se que o capital investido em máquinas, implementos, benfeitorias específicas, animais e terra não é remunerado nessa metodologia. Por isso, o produtor deve adicionar à estimativa de custo operacional o respectivo custo de oportunidade desses fatores, ou taxas de retorno ao capital investido na produção, além da própria remuneração como empresário (MATSUNAGA et al., 1976).

Os coeficientes técnicos das matrizes de operações agrícolas realizadas são computados em horas de serviço e, depois, os custos horários e a depreciação horária de máquinas e equipamentos são calculados através da metodologia do IEA contida no Sistema Integrado de Custos Agropecuários (CUSTAGRI) (MARTIN et al., 1998). Os dados foram coletados para a safra 2010/2011 e os preços utilizados para as estimativas de custo operacional são referentes à média de abril a agosto de 2011.

Na elaboração da estimativa de custo

operacional total da cana-de-açúcar foi calculada a formação da cana planta e a depreciação da formação foi calculada sobre a média de seis anos de vida para o canavial. Em geral, é possível produzir até no dobro do tempo, mas o custo envolvido e a baixa produtividade não compensam. As médias das rentabilidades físicas nas regiões são resultado da média da produtividade do primeiro ano (cana planta) e mais cinco anos de cana soca, pois os produtores entenderam que desta forma espelhariam melhor a produtividade média de um canavial.

Na análise econômica dos sistemas produtivos da mandioca e da cana, utilizou-se o índice de eficiência econômica determinado pela relação receita bruta/custo operacional total da produção. A expressão utilizada para a determinação do indicador de eficiência econômica foi:

$$EEc = (Pv.Q)/(COT/ha)$$

Onde:

EEc = eficiência econômica,

Pv = preço médio de venda (R\$. kg-1),

Q = produtividade (kg . ha-1) e

COT/ha = custo operacional total por unidade de área (R\$. ha-1).

Quando o índice de eficiência econômica (*EEc*) apresentar valores superiores à unidade, indica que a receita obtida no sistema de produção é superior aos seus custos, portanto os produtores poderão cobrir parte dos custos fixos da atividade.

3.2 - Balanço Energético na Produção Agrícola

Para efeito deste trabalho, não se consideraram os fluxos de energia que intervêm depois da produção agrícola. Este estudo ateu-se ao fluxo de energia injetado na produção agrícola, que pode ser classificado em dois tipos básicos (CASTANHO FILHO; CHABARIBERY, 1983):

Energia Direta, constituída da:

- energia biológica do trabalho humano e contida nas sementes e mudas;
- energia fóssil do petróleo contida nos combustíveis e lubrificantes, adubos, defensivos, etc.; e
- energia elétrica, que neste trabalho não foi contabilizada.

Energia Indireta que foi necessária para

a construção das benfeitorias e fabricação das máquinas e implementos utilizados nas operações de plantio, tratos culturais e colheita da produção agrícola. Estima-se como uma depreciação energética, segundo os dias de utilização em função da vida útil e do material bruto envolvido (peso do equipamento).

Neste trabalho, não foram considerados os *inputs* das benfeitorias.

Na metodologia de cálculo da energia consumida no plantio da cana planta, o total foi rateado em seis anos, por isso o valor energético para mudas, calcário e outros itens aparece mais baixo do que se houvesse sido empregado às quantidades totais.

A localização e adoção de coeficientes energéticos utilizados nos cálculos de consumo e produção de energia nos sistemas produtivos agrícolas de mandioca e cana-de-açúcar estão contidas nos quadros 1 e 2.

O índice de eficiência energética é dado pelo consumo energético sobre a somatória das entradas de energias não renováveis (fósseis) como forma de analisar o grau de sustentabilidade da cultura.

O balanço energético é a diferença entre a energia produzida em etanol e o consumo de energia na produção agrícola.

O coeficiente energético é a razão en-

tre o balanço energético e o total de energia injetada na produção agrícola (consumo). É um coeficiente que baliza a produção a mais de energia, além da consumida no sistema.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Divide-se a análise dos resultados em dois tópicos: aqueles do desempenho econômico e os do balanço energético na fase agrícola das culturas da mandioca e de cana-de-açúcar.

4.1 - Resultados Referentes ao Desempenho Econômico das Culturas da Mandioca e da Cana-de-açúcar nas Regiões de Ivinhema, Paranavaí e Assis

O custo operacional total (COT) de produção da mandioca industrial na região de Ivinhema é de R\$3.735,98 por hectare (ha). Na mesma região, o COT para a cana-de-açúcar mostra-se superior em 22,5%, sendo R\$4.578,60 por hectare. Os custos operacionais por tonelada são de R\$124,53 para a mandioca e de R\$53,87 para a cana-de-açúcar (Tabela 1).

QUADRO 1 - Coeficientes Energéticos Utilizados na Pesquisa e Literatura Correspondente

Autor	Ano da publicação	Item	Coeficiente de energia	Unidade
Bueno	2002	Calcário	47.850,0	kcal/t
		Herbicida	72.248,8	kcal/kg
		Inseticida	73.349,3	kcal/kg
Salla	2008	N	17.520	kcal/kg
		P ₂ O ₅	3.340	kcal/kg
		K ₂ O	2.200	kcal/kg
		05-25-25	2.261.000	kcal/t
		25-00-25	4.930.000	kcal/t
		20-00-20	3.944.000	kcal/t
		20-005-20	4.111.000	kcal/t
10-30-20	3.194.000	kcal/t		
FGV	1979	Trabalho humano	350	kcal/h
Salla	2008	Tolete de cana	7.177,0	kcal/t
		Maniva de mandioca	19.676,87	kcal/m ³
		Óleo diesel	10.442,4	kcal/l

Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados consultados na literatura pertinente, autores relacionados na bibliografia.

QUADRO 2 - Informações Relativas à Concentração dos Princípios Ativos de Agrotóxicos Utilizados nos Sistemas Produtivos de Mandioca e Cana-de-açúcar

Princípio ativo (PA)	Unidade	Concentração do PA
Herbicida		
Tebutiuron	g/l	500
Ametrina	g/l	500
Clomazona	g/l	360
Diuron + hexazinona	g/kg	600
Clomazona + ametrina	g/l	500
Carbofuran	g/l	350
Imazapique	g/kg	700
Trifluralina	g/l	445
Glifosato	g/kg	792,5
Diuron	g/litro	500
Isoxaflutol	g/l	750
Haloxopope	g/l	124,7
Inseticida		
Fipronil	g/kg	800
Fipronil	g/kg	20
Triflumuron	g/litro	480
Alfacipermetrina	g/l	100
Cipermetrina + ciclosol	g/l	852,5

Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados consultados nas bulas dos produtos comercializados.

Em termos de participação dos itens que compõem o COT, relativamente, para a mandioca, o peso maior é o da mão de obra (25%), seguido dos encargos sociais diretos (22,5%). Para a cana-de-açúcar, o material consumido (adubos e agrotóxicos) tem maior participação no custo (60,4%), seguido da depreciação da formação da cana planta (10,1%). A participação do material consumido nas lavouras de cana-de-açúcar em geral mostra-se mais elevada devido às características desta cultura de envolver grande emprego de fertilizantes e agrotóxicos em suas plantações.

A melhor eficiência econômica é a da mandioca, com índice de 1,57, seguida pela cana, com indicador de 1,023. Significa que a mandioca auferirá renda bruta que consegue cobrir

parte dos custos fixos. Apesar da produtividade de 30 t/ha, o ponto de nivelamento é de 19 t/ha.

Na região de Paranavaí, o desempenho econômico da mandioca é ainda melhor. Com COT de R\$4.015,15 por hectare, apresenta um indicador de eficiência econômica de 2,21 e ponto de nivelamento de 17,64 toneladas, sendo a produtividade de 39 t/ha, indicando ser uma lavoura com nível de retorno financeiro alto (Tabela 2).

Em Paranavaí, o item de maior peso no custo para a cultura da mandioca é, também, a mão de obra (30,2%), seguida dos encargos sociais (28%). Assim como para a cana, a mão de obra tem maior participação (29,9%), seguida dos encargos sociais (28%). Os custos unitários são R\$102,95/t, de mandioca, e R\$37,25/t, de cana-de-açúcar.

A cana-de-açúcar está mais bem posicionada que em Ivinhema, mas, ainda assim, abaixo da mandioca na região de Paranavaí, com eficiência econômica de 1,45. Essa região apresenta o menor custo unitário entre as três regiões: R\$37,25/t.

Na região de Assis, os custos operacionais totais são de R\$3.046,57 e R\$3.694,36 por hectare, respectivamente, para a mandioca e para a cana-de-açúcar. Os custos operacionais por tonelada são R\$92,32 (mandioca) e R\$41,51 (cana). O item de maior participação no custo é a mão de obra, 32,9% e 22,3%, respectivamente, e os encargos sociais (30,5% e 20,3%) (Tabela 3).

A mandioca apresenta eficiência econômica de 2,38, muito acima que o indicador da cana (1,44), e o melhor desempenho entre todos os sistemas. Assis teve o menor custo unitário para a mandioca entre todas as regiões, o que explica o indicador elevado de eficiência econômica.

4.2 - Resultado Energético dos Ciclos Produtivos da Mandioca e da Cana-de-açúcar nas Regiões de Ivinhema, Paranavaí e Assis

A análise do desempenho energético para a transformação das matérias-primas em etanol, considerando-se apenas a fase agrícola das culturas da mandioca e da cana-de-açúcar,

TABELA 1 - Quadro Resumo do Custo Operacional Total da Produção de Mandioca e de Cana-de-açúcar, Região de Ivinhema, Estado de Mato Grosso do Sul, 2011

Item	Mandioca		Cana-de-açúcar	
	R\$/ha	Part. %	R\$/ha	Part. %
Mão de obra	933,53	25,0	402,57	8,8
Operações	823,25	22,0		5,7
Material consumido	666,23	17,8		60,4
COE	2.423,01	64,9		74,92
Depreciação da formação	-	-		10,1
Depreciação de máquinas	214,18	5,7		2,2
Encargos sociais diretos ¹	841,23	22,5		7,8
CESSR ²	134,90	3,6		2,4
Encargos financeiros ³	122,66	3,3		2,5
COT	3.735,98	100,0		100,00
Produtividade (t/ha)	30	-		-
Custo unitário (R\$/t)	124,53	-		-
Preço estimado (R\$/t)	195,49	-		-
Receita bruta (RB)	5.864,70	-		-
Receita líquida (RL=RB-COT)	2.128,72	-		-
Eficiência econômica (RB/COT)	1,57	-		-
Ponto de nivelamento ⁴ (t/ha)	19,11	-		-

¹Refere-se à mão de obra tratorista (70,5%).

²Refere-se à contribuição de seguridade social de 2,3% sobre a renda bruta.

³Taxa de juros de 6,75% a.a. sobre 50% do COE durante o ciclo de produção.

⁴Produção mínima que cobre o custo operacional total.

Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados básicos do Instituto de Economia Agrícola/APTA.

TABELA 2 - Quadro Resumo do Custo Operacional Total da Produção de Mandioca e de Cana-de-açúcar, Região de Paranavaí, Estado do Paraná, 2011

Item	Mandioca		Cana-de-açúcar	
	R\$/ha	Part. %	R\$/ha	Part. %
Mão de obra	1.212,69	30,2	1193,05	29,9
Operações	521,85	13,0	273,37	6,9
Material consumido	722,35	18,0	418,48	10,5
COE	2.456,89	61,2	1.884,90	47,29
Depreciação da formação	-	-	686,08	17,2
Depreciação de máquinas	112,56	2,8	101,77	2,6
Encargos sociais diretos ¹	1.124,05	28,0	1.116,89	28,0
CESSR ²	197,27	4,9	132,77	3,3
Encargos financeiros ³	124,38	3,1	63,62	1,6
COT	4.015,15	100,0	3.986,03	100,00
Produtividade (t/ha)	39	-	107	-
Custo unitário (R\$/t)	102,95	-	37,25	-
Preço estimado (R\$/t)	227,57	-	53,95	-
Receita bruta (RB)	8.875,23	-	5.772,65	-
Receita líquida (RL=RB-COT)	4.860,08	-	1.786,62	-
Eficiência econômica (RB/COT)	2,21	-	1,45	-
Ponto de nivelamento ⁴ (t/ha)	17,64	-	73,88	-

¹Refere-se à mão de obra tratorista (70,5%).

²Refere-se à contribuição de seguridade social de 2,3% sobre a renda bruta.

³Taxa de juros de 6,75% a.a. sobre 50% do COE durante o ciclo de produção.

⁴Produção mínima que cobre o custo operacional total.

Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados básicos do Instituto de Economia Agrícola/APTA.

TABELA 3 - Quadro Resumo do Custo Operacional Total da Produção de Mandioca e de Cana-de-açúcar, Região de Assis, Estado de São Paulo, 2011

Item	Mandioca		Cana-de-açúcar	
	R\$/ha	Part. %	R\$/ha	Part. %
Mão de obra	1.003,39	32,9	822,43	22,3
Operações	377,71	12,4	364,94	9,9
Material consumido	396,40	13,0	698,20	18,9
COE	1.777,50	58,3	1.885,57	51,04
Depreciação da formação		-	678,66	18,4
Depreciação de máquinas	74,47	2,4	193,09	5,2
Encargos sociais diretos ¹	927,70	30,5	751,30	20,3
CESSR ²	166,92	5,5	122,10	3,3
Encargos financeiros ³	99,98	3,3	63,64	1,7
COT	3.046,57	100,0	3.694,36	100,00
Produtividade (t/ha)	33	-	89	-
Custo unitário (R\$/t)	92,32	-	41,51	-
Preço estimado (R\$/t)	219,92	-	59,65	-
Receita bruta (RB)	7.257,36	-	5.308,85	-
Receita Líquida (RL=RB-COT)	4.210,79	-	1.614,49	-
Eficiência econômica (RB/COT)	2,38	-	1,44	-
Ponto de nivelamento ⁴ (t/ha)	13,85	-	61,93	-

¹Refere-se à mão de obra tratorista (70,5%).

²Refere-se à contribuição de seguridade social de 2,3% sobre a renda bruta.

³Taxa de juros de 6,75% a.a. sobre 50% do COE durante o ciclo de produção.

⁴Produção mínima que cobre o custo operacional total.

Fonte: Elaborada pela autora a partir de dados básicos do Instituto de Economia Agrícola/APTA.

foi realizada com base nos coeficientes técnicos de utilização de fatores de produção, insumos, mão de obra e máquinas, considerando-se o cultivo de uma unidade de terra (1 hectare), nas regiões de Ivinhema, Paranavaí e Assis.

A energia produzida pela cepa da mandioca e pelo bagaço da cana, após a colheita, supera a necessidade de energia para a fabricação do etanol na fase industrial. Diante disso, o balanço energético da fase agrícola passa a ser um indicador importante para a produção do etanol (VEIGA et al., 2011; MACEDO, 2005).

A análise da energia injetada na produção das culturas de mandioca e de cana leva em conta a formação da cana planta calculada nos itens de energia direta biológica, energia fóssil e a depreciação energética rateada em seis anos, que é a média de cortes que foi considerada.

O total de energia injetada (consumo) em 1 hectare da cultura de mandioca foi de 3.529,8 mil kcal em Ivinhema, 2.967,7 mil kcal em Paranavaí e 2.701,8 mil kcal em Assis, sendo que esta região é considerada uma tradicional

produtora de mandioca (comercial) no país. Na região de Ivinhema foram encontrados produtores que emigraram da região de Paranavaí para cultivar mandioca, adotando, em parte, as mesmas práticas agrícolas (Tabelas 4 a 6).

É possível observar que o item combustíveis tem alta participação no consumo de quilocalorias por hectare em todos os ciclos produtivos da mandioca: 75,7% em Ivinhema, 65,7% em Paranavaí e 69,1% em Assis (Tabelas 4 a 6).

O total de energia injetada (consumo) em 1 hectare da cultura de cana-de-açúcar foi de 3.272,0 mil kcal em Ivinhema, 3.370,4 mil kcal em Paranavaí e 5.840,3 mil kcal em Assis, que apresenta o mais alto consumo e, também, entre as três regiões é a produtora de cana mais tradicional (Tabelas 4 a 6).

Pode-se considerar que, para as duas culturas, a região de São Paulo é a mais antiga produtora, o Paraná é de transição e o Mato Grosso do Sul pode ser considerado como fronteira da produção agrícola.

Para a cultura de cana-de-açúcar é o

TABELA 4 - Energia Injetada em um Ciclo Produtivo Agrícola da Mandioca e da Cana-de-açúcar, para Indústria, Região de Ivinhema, Estado de Mato Grosso do Sul, 2011

Tipo de energia/cultura	Mandioca		Cana-de-açúcar	
	kcal/ha	Part. %	kcal/ha	Part. %
Energia direta				
a) Energia biológica				
Trabalho humano	54.180,00	1,5	25.147,50	0,8
Ramas ou mudas	92.481,29	2,6	16.746,33	0,5
Calcário	39.715,50	1,1	11.534,24	0,4
b) Energia fóssil do petróleo				
Combustíveis	2.670.696,01	75,7	1.069.250,90	32,7
Lubrificantes e graxas	45.401,83	1,3	19.877,41	0,6
Adubos químicos	277.760,60	7,9	1.854.372,73	56,7
Agrotóxicos	131.079,74	3,7	159.186,86	4,9
Subtotal energia direta	3.311.314,97	93,8	3.156.115,97	96,5
Energia indireta				
Depreciação energética/máquinas e equipamentos	218.506,21	6,2	115.908,24	3,5
Total de energia injetada	3.529.821,17	100,0	3.272.024,21	100,0
Eficiência energética	1,13	-	1,05	-

Fonte: Dados da pesquisa.

TABELA 5 - Energia Injetada em um Ciclo Produtivo Agrícola da Mandioca e da Cana-de-açúcar, para Indústria, Região de Paranavaí, Estado do Paraná, 2011

Tipo de energia/cultura	Mandioca		Cana-de-açúcar	
	kcal/ha	Part. %	kcal/ha	Part. %
Energia direta				
a) Energia biológica				
Trabalho humano	72.926,00	2,5	77.636,42	2,3
Ramas ou mudas	83.626,70	2,8	17.344,42	0,5
Calcário	0,00	0,0	5.981,25	0,2
b) Energia fóssil do petróleo				
Combustíveis	1.948.567,50	65,7	1.342.327,01	39,8
Lubrificantes e graxas	33.125,65	1,1	22.819,56	0,7
Adubos químicos	228.912,80	7,7	1.646.566,67	48,9
Agrotóxicos	447.673,24	15,1	132.878,25	3,9
Subtotal energia direta	2.814.831,89	94,8	3.245.553,58	96,3
Energia indireta				
Depreciação energética/máquinas e equipamentos	152.872,75	5,2	124.876,39	3,7
Total de energia injetada	2.967.704,64	100,0	3.370.429,97	100,0
Eficiência energética	1,12	-	1,07	-

Fonte: Dados da pesquisa.

consumo de adubos químicos que tem participação maior no total de energia injetada: 56,7% em Ivinhema, 48,0% em Paranavaí e 41,9% em Assis, este menor, relativamente, que a participação de combustíveis (51,3%).

Os indicadores de eficiência energética revelam que a relação total de energia consumida sobre a energia fóssil não renovável para a mandioca, nas três regiões, tem melhor desempenho. Então, para 1,12 kcal a 1,13 kcal injetados na lavoura de mandioca tem-se 1 kcal de energia

não renovável sendo consumida. Para a cana-de-açúcar, o indicador de eficiência energética varia de 1,04 kcal a 1,07 kcal que, injetados na cultura, requerem 1 kcal de energia fóssil não renovável.

Comparativamente, a região que apresentou melhores índices de conversão entre a energia produzida pelo etanol e a energia consumida na lavoura, para a mandioca e para a cana, foi Paranavaí. A mandioca com coeficiente energético agrícola de 12,78 e a cana com 14,01. Isso significa que ao computar-se a energia con-

TABELA 6 - Energia Injetada em um Ciclo Produtivo Agrícola da Mandioca e da Cana-de-açúcar, para Indústria, Região de Assis, Estado de São Paulo, 2011

Tipo de energia/cultura	Mandioca		Cana-de-açúcar	
	Kcal/ha	Part. %	Kcal/ha	Part. %
Energia direta				
a) Energia biológica				
Trabalho humano	76.307,00	2,8	58.309,42	1,0
Ramas ou mudas	98.384,35	3,6	15.550,17	0,3
Calcário	0,00	0,0	15.950,00	0,3
b) Energia fóssil do petróleo				
Combustíveis	1.866.359,71	69,1	2.998.427,25	51,3
Lubrificantes e graxas	31.728,12	1,2	50.973,26	0,9
Adubos químicos	292.215,04	10,8	2.444.600,00	41,9
Agrotóxicos	226.140,32	8,4	109.918,92	1,9
Subtotal energia direta	2.591.134,53	95,9	5.693.729,02	97,5
Energia indireta				
Depreciação energética/ máquinas, equipamentos	110.693,87	4,1	146.575,87	2,5
Total de energia injetada	2.701.828,41	100,0	5.840.304,89	100,0
Eficiência energética	1,12	-	1,04	-

Fonte: Dados da pesquisa.

sumida pela produção agrícola, a produção energética do etanol é, pelo menos, 12 vezes maior que o consumo no caso da mandioca (Tabela 7).

O coeficiente energético para a mandioca em Ivinhema é 7,91, o pior, comparado às demais regiões. A explicação para isso pode estar nas operações que são realizadas, nesta região, com a utilização intensiva de trator, que é mais que o dobro de horas de serviço que o sistema de plantio na região de Paranavaí, por exemplo. Apesar da compatibilidade das potências entre os tipos de tratores nas três regiões, diferenças nos solos, relacionadas à compactação e outras condições operacionais, podem estar influenciando no gasto de horas de serviço para o ciclo da lavoura de mandioca em Ivinhema. Trator consome grandes quantidades de óleo combustível e o gasto energético torna-se elevado.

Na cana-de-açúcar da região de Assis, são as operações de carregamento da produção e a aplicação de adubo e de agrotóxicos na soca que elevam o consumo energético em um nível que a torna a cultura com o coeficiente de energia menor entre as regiões (6,21).

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Economicamente, pode-se inferir que a cultura da mandioca tem melhores condições de

retorno financeiro, em curto prazo, nas regiões de Ivinhema, Paranavaí e Assis, a despeito das dificuldades para a mecanização e das lacunas em inovações agrônômicas. Os indicadores de eficiência econômica para a mandioca, nas três regiões estudadas, foram mais elevados (1,57, 2,21 e 2,38 para Ivinhema, Paranavaí e Assis, respectivamente) e, por isso, indicam que a mandioca tem maior capacidade de cobrir parte dos custos fixos e remuneração ao risco empresarial. Há que se salientar que a produtividade média dos produtores de mandioca selecionados encontra-se mais elevada (30 t/ha a 39 t/ha) que a média nacional, pois, em 2010, esta foi de 14 t/ha.

A rentabilidade para a cana-de-açúcar fica na dependência mais direta do nível de produtividade da cultura. No Paraná, a região de Paranavaí apresentou a melhor média de rendimento físico por hectare (107 toneladas), principalmente por ser área nova, com solos de muito boa qualidade, e teve o melhor indicador de eficiência econômica para a cana (1,45). Os solos em São Paulo já se apresentam desgastados e, por isso, na região de Assis a média da produtividade está em nível próximo ao da região de Ivinhema, no Mato Grosso do Sul, a despeito do nível tecnológico mais alto.

Para ambas as culturas, mandioca e cana, as participações mais importantes no custo operacional total são a mão de obra (de 25% a

TABELA 7 - Indicador Energético para a Produção de Etanol de Mandioca e de Cana-de-açúcar, Segundo as Três Regiões Estudadas, 2011

Item/região	Unidade	Ivinhema		Paranaíba		Assis	
		Mandioca	Cana	Mandioca	Cana	Mandioca	Cana
Fase agrícola							
Rendimento físico	t/ha	30	85	39	107	33	89
Consumo energético (a)	kcal/ha	3.529.821,17	3.272.033,21	2.967.024,21	3.370.429,97	2.701.828,41	5.840.304,90
Fase industrial							
Produção de etanol	l/t	187,8	84,7	187,8	84,7	187,8	84,7
Produção de etanol	l/ha	5.634,00	7.199,50	7.324,20	9.062,90	6.197,40	7.538,30
Coefficiente energético do etanol	kcal/l	5.583,35	5.583,35	5.583,35	5.583,35	5.583,35	5.583,35
Energia produzida em etanol (b)	kcal/ha	31.456.593,90	40.197.328,33	40.893.572,07	50.601.342,72	34.602.253,29	42.088.967,31
Balanco energético (b-a)	kcal/ha	27.926.772,73	36.925.295,12	37.926.547,86	47.230.912,75	31.900.424,88	36.248.662,41
Coefficiente energético (b-a)/a		7,91	11,29	12,78	14,01	11,81	6,21

Fonte: Dados da pesquisa.

32% e os encargos sociais relativos a ela (20% a 28%). São duas lavouras que possuem sistemas produtivos ainda bastante dependentes de operações manuais, principalmente nas fases de plantio e de colheita.

Em termos energéticos, o coeficiente de balanço energético mostra-se uma variável importante ao revelar que a região que tem melhores condições de produzir ambas as culturas, apresentando estes coeficientes com maiores valores positivos, é Paranaíba - 12,78 para mandioca e 14,01 para a cana -, talvez justamente por ser uma região de transição, que se apropriou da tecnologia desenvolvida em São Paulo, porém, com aspectos de solo, clima, disponibi-

dade de mão de obra, etc. mais favoráveis ao desenvolvimento das lavouras. Há que se lembrar que na literatura este coeficiente para a cana, no Brasil, tem valor de 8,8 e, nos EUA, para o etanol produzido de amido de milho, alcança 1,4 (MACEDO, 2005).

Portanto, a mandioca tem todas as condições de atingir um desenvolvimento que a faça competir em pé de igualdade com a cana-de-açúcar, desde que esforços em pesquisa, inovação e maturidade organizacional, aliados a programas governamentais com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, a tornem uma fonte alternativa de biomassa para a produção de bioetanol.

LITERATURA CITADA

BUENO, O. C. **Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural, Itaberá/SP**. 2002. 146 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

CASTANHO FILHO, E. P.; CHABARIBERY, D. Perfil energético da agricultura paulista. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 30, t. I-II, p. 63-115, 1983.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS - FGV. **Pesquisa sobre consumo alimentar**. São Paulo: FGV/IBRE, 1979. v. 3.

HOFFMANN, R. A agricultura familiar produz 70% dos alimentos consumidos no Brasil? **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 21, n. 1, 2014. (No prelo).

MACEDO, I. de 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: ÚNICA, 2005. 235 p.

MARTIN, N. B. et al. Sistema integrado de custos agropecuários - CUSTAGRI. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 7-28, jan. 1998.

MATSUNAGA, M. et al. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, t. I, p. 123-139, 1976.

PAULA E SILVA, E. M. de; SAKATSUME, F. A Política brasileira de biocombustíveis. In: WORKSHOP A EXPANSÃO DA AGROENERGIA E SEUS IMPACTOS SOBRE OS ECOSISTEMAS NATURAIS BRASILEIROS, 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: BNDES/ÚNICA/AGROPALMA, mar. 2007.

SALLA, D. A. **Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho**. 2008. 168 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2008.

VEIGA, J. P. S. et al. Avaliação do potencial de geração de energia a partir de resíduos de campo da produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) para abastecimento de uma usina de produção de etanol. Campinas: UNICAMP/IAC, 2011 (mimeo).

ANÁLISE ECONÔMICA E ENERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE BIOETANOL DE MANDIOCA VIS-À-VIS O DE CANA-DE-AÇÚCAR NAS REGIÕES DE IVINHEMA, ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL, PARANAÍ, ESTADO DO PARANÁ E ASSIS, ESTADO DE SÃO PAULO

RESUMO: Os objetivos desta pesquisa foram estimar custos de produção da mandioca e da cana-de-açúcar e estudar a capacidade produtiva de energia de ambas as culturas na fase agrícola em três regiões do Brasil, para comparação dos desempenhos econômicos e energéticos entre elas, utilizando as metodologias de custo operacional e de balanço energético na produção agrícola desenvolvidas no Instituto de Economia Agrícola. Os resultados demonstraram que a cultura da mandioca teve melhores condições de retorno financeiro que a da cana-de-açúcar nas três regiões pesquisadas (Ivinhema, Paranaíba e Assis). Os indicadores de eficiência energética mostram melhor desempenho para a mandioca: para 1,13 kcal injetados na lavoura tem-se 1 kcal de energia não renovável sendo consumida. Na cana-de-açúcar, o indicador atingiu 1,07 kcal. Portanto, a mandioca tem todas as condições de atingir um desenvolvimento que a faça competir com a cana-de-açúcar, desde que esforços em pesquisa, inovação e maturidade organizacional, aliados a programas governamentais com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, a tomem uma fonte alternativa de biomassa para a produção de bioetanol.

Palavras-chave: mandioca, bioenergia, bioetanol, inclusão social, balanço energético.

ECONOMIC AND ENERGETIC ANALYSIS OF CASSAVA AND SUGARCANE BIOETHANOL IN THE REGIONS IVINHEMA, MATO GROSSO DO SUL STATE, PARANAÍ, PARANÁ STATE, AND ASSIS, SÃO PAULO STATE, BRAZIL

ABSTRACT: The objectives of this research were to estimate cassava and sugarcane production costs and study the energy production capacity of both crops in the agricultural phase, in three regions of Brazil. To compare their economic and energetic performance, we applied the operating cost and energy balance in agricultural production methods developed by the Institute of Agricultural Economics. The results showed that cassava had better conditions for financial returns than sugarcane in the three regions surveyed (Ivinhema-MS, Paranaíba-PR and Assis-SP). The Energy Efficiency Indicators showed a better performance for cassava: whereas 1.13 kcal injected into farming consumed 1 kcal of non-renewable energy, the sugarcane ratio reached 1.07 kcal. Therefore, cassava has every condition to achieve a development that enables it to compete with sugarcane, as long as efforts in research, innovation and organizational maturity, coupled with government programs with a focus on social inclusion and regional development, make it an alternative source of biomass for bioethanol production.

Key-words: cassava, bioenergy, bioethanol, social inclusion, energy balance.

Recebido em 15/04/2014. Liberado para publicação em 08/09/2014.