MAPEAMENTO DO PALHIÇO ENFARDADO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*) E DO SEU POTENCIAL ENERGÉTICO

MARCO LORENZZO CUNALI RIPOLI

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz",
Universidade de São Paulo, para obtenção
do título de Mestre em Agronomia, Área
de Concentração: Máquinas Agrícolas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo – Brasil
Abril – 2002

MAPEAMENTO DO PALHIÇO ENFARDADO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*) E DO SEU POTENCIAL ENERGÉTICO

MARCO LORENZZO CUNALI RIPOLI

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Titular Luiz Antônio Balastreire

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz",
Universidade de São Paulo, para obtenção
do título de Mestre em Agronomia, Área
de Concentração: Máquinas Agrícolas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo – Brasil
Abril – 2002

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Ripoli, Marco Lorenzo Cunali

Mapeamento do palhico enfardado de cana-de-açúcar
(*Saccharum* spp.) e do seu potencial energético / Marco Lorenzo Cunali
Ripoli. - - Piracicaba, 2002.

91 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de
Queiroz, 2002.

Bibliografia.

1. Agricultura 2. Cana-de-açúcar 3. Energia de biomassa 4.
Enfardadoras 5. Fontes alternativas de energia 6. Instrumento de precisão
7. Mecanização agrícola I. Título

CDD 633.61

"It's about being better than you were the day before."

(Anonymous)

Aos meus pais,
Tomaz Caetano e Maria Lúcia
e Bianca, minha irmã, dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador e amigo, Prof. Titular Luiz Antônio Balastreire pela orientação, estímulo e sugestões seguras durante o estudo.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pela formação profissional desde a minha graduação.

Ao Prof. Titular Tomaz Caetano Cannavam Ripoli e ao Prof. Dr. Walter Francisco Molina Jr. pelas sugestões e apoio de campo durante o desenvolvimento deste estudo.

Aos colegas de pós-graduação Fábio Henrique Rojo Baio, Júlio César Dalla Mora Esquerdo, Domingos Guilherme Pellegrino Cerri, Hamilton Fernando Torrezan, Juliano Crivelenti Garcia Leal, e Mauricio de León, pela colaboração.

Aos engenheiros agrônomos da Usina Costa Pinto (Grupo Cosan), Rodolfo Geraldi, Elder Zotelli, João Américo Beltrame, José Carlos Matyis e José Waldir Pupin, pelo apoio e infra-estrutura disponibilizados, sem os quais seria impossível realizar o trabalho.

Aos professores do setor de Mecânica e Máquinas Agrícolas do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Marcos Milan e Casimiro Gadanha Jr., pelo estímulo.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	xi
RESUMO.....	xiv
SUMMARY.....	xvi
RESUMEN	xviii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Área colhida, produção e considerações sobre a queima de canaviais .	3
2.2 Considerações sobre poder calorífico.....	10
2.3 Energia calorífica de alguns materiais.....	13
2.4 Alguns aspectos econômicos do palhico.....	17
2.5 Caracterização das variedades e das condições de campo.....	19
2.6 Características físicas e químicas de sub-produtos da cana-de-açúcar.	22
2.7 Utilização da biomassa como fonte de energia	24
2.8 Agricultura de Precisão	30
2.8.1 Conceitos básicos da Agricultura de Precisão	33
2.8.1.1 Sistemas de posicionamento.....	34
2.8.1.2 Mapeamento da produtividade.....	36
2.8.1.3 Aplicação localizada de insumos.....	42
2.8.1.4 Sistema de Informações Geográficas	44
2.8.1.5 Geo-estatística	46
3 MATERIAL E MÉTODOS	47

3.1 Material.....	47
3.1.1 Condições de campo	47
3.1.2 Máquinas e veículos.....	48
3.1.3 Instrumentação e programas computacionais	50
3.1.4 Determinação da umidade dos fardos.....	52
3.1.5 Outros materiais.....	53
3.2 Métodos	53
3.2.1 Atividades de campo.....	53
3.2.2 Determinações laboratoriais	59
3.2.2.1 Determinação da umidade do palhiço.....	59
3.2.2.2 Elaboração dos mapas da quantidade de palhiço enfardado e de umidade	60
3.2.2.3 Elaboração dos mapas de equivalente energético do palhiço	61
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1 Mapas do palhiço enfardado	62
4.2 Mapas de umidade do palhiço.....	71
4.3 Mapas de equivalente energético do palhiço	74
5 CONCLUSÕES	78
5.1 Sugestão para estudo futuro	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
APÊNDICE	89

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 Exemplo de uma queimada de pré-colheita resultando em poluição ambiental	7
2 Aspecto de um canavial após a queima, com eliminação de grande parte do palhiço restando colmos e ponteiros	8
3 Vista interna de um canavial sem queima prévia	9
4 Condição do material remanescente (palhiço), resultante da colheita mecanizada, sem queima prévia, de cana-de-açúcar.....	10
5 Operação de colheita de cana-de-açúcar, sem queima prévia.....	48
6 Operação de enleiramento do palhiço, anterior ao enfardamento	48
7 Operação de enfardamento. A) Situação do fardo prismático de palhiço momentos antes de deixar a máquinas.	49
8 Enfardadora cilíndrica CNH modelo 658	49
9 Célula de carga Kyowa utilizada nas determinações de campo.....	50
10 Mostrador digital Micro-P e bateria utilizados no campo	51
11 GPS Trimble Pro XR utilizado para obtenção do georreferenciamento.....	51
12 A) Antena base localizada na ESALQ/USP. B) Detalhe dos receptores DGPS PFCBS.....	52
13 Fardo prismático de palhiço sendo depositado no campo	54
14 Fardo cilíndrico de palhiço da cana-de-açúcar.....	54
15 Georreferenciamento do fardo com utilização de GPS. A) <i>Datalogger</i> do GPS; B) Antena receptora do GPS.	55

16	Pesagem do fardo. A) Garra da carregadora; B) Célula de carga; C) <i>Display</i> digital Micro-P da célula de carga.	56
17	Levantamento da área pelo método de caminhamento	56
18	Tomada de amostra, através da sonda (A), para fins de determinação de umidade do palhiço enfardado	58
19	Retirada da amostra da sonda, em saco plástico, fechado hermeticamente, para fins de determinação de umidade do palhiço enfardado.....	58
20	Mapa de localização dos fardos, com diferenciação de tipos de fardos, percurso realizado pelas enfardadoras e divisão das áreas do talhão, em função dos tipos de enleiramento.....	64
21	Frequência das faixas de quantidades de palhiço enfardado.....	67
22	Semivariograma da variável palhiço recolhido em fardos.....	68
23	Mapa interpolado da quantidade de palhiço enfardado (Mg.ha^{-1})	69
24	Mapa de iso-linhas da quantidade de palhiço enfardado (Mg.ha^{-1})	69
25	Frequência das faixas de umidade dos fardos.....	72
26	Mapa de umidade (%), interpolado, do palhiço enfardado	73
27	Mapa de iso-linhas de umidade (%) do palhiço enfardado	74
28	Frequência das faixas de equivalente barril de petróleo (EBP.ha^{-1}) dos fardos	75
29	Mapa em equivalente barril de petróleo (EBP.ha^{-1}), interpolado, do palhiço enfardado	76
30	Mapa de iso-linhas em equivalente barril de petróleo (EBP.ha^{-1}) do palhiço enfardado	76

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Valores médios de umidade, massa e Poder Calorífico Útil (PCU) obtidos por Ripoli et al. (1991) para as diversas frações constituintes do palhiço.....	8
2 Poderes Caloríficos Superiores (PCS) obtidos por Sumner et al. (1983)	13
3 Poderes Caloríficos Superiores (PCS) de madeiras obtidos por Andrade (1961) e Arola (1976).....	13
4 Poderes Caloríficos Superiores (PCS) de algumas espécies de eucaliptos obtidos por Brito (1979)	14
5 Valores de massa específica e Poderes Caloríficos Inferiores (PCI) apresentados por Goldenberg (1979).....	15
6 Poderes Caloríficos Superiores (PCS) obtidos por Atchison (1977)	15
7 Resumo dos resultados obtidos por Ripoli et al. (1990b) de diversas variáveis do palhiço de cana-de-açúcar.....	16
8 Resultados obtidos por Lopes (1987) sobre operações agrícolas envolvidas na manipulação de palhiço.....	18
9 Média dos resultados obtidos por Ripoli (1991) das quantidades estimadas de colmos (MCOC); de ponteiros (MPOC); de folhas verdes (MFVC); de palhas (MPAC) e de palhiço (MMP)	20
10 Massas ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de palhiço em matéria úmida (PPT); potencial energético ($\text{Mcal} \cdot \text{ha}^{-1}$) do canavial (PEC) e índice de palhiço (IP), segundo Ripoli (1991).....	21

11	Valores extraídos da bibliografia por Perez (1982) a respeito de análises químicas do bagaço de cana-de-açúcar.....	22
12	Resultados obtidos por Zulauf et al. (1985) sobre algumas variáveis da palha da cana-de-açúcar.....	23
13	Resultados obtidos por Aguilar et al. (1989) referente a resíduos de colheita e bagaço de cana.	24
14	Estimativas obtidas por Ripoli & Molina Jr. (1991) em relação à energia contida no canavial.....	26
15	Equivalentes energéticos do palhiço, em relação ao petróleo, ao óleo diesel e ao etanol, segundo Ripoli (1991), para duas variedades estudadas.....	26
16	Determinações executadas durante o experimento.....	53
17	Massa dos fardos, em kg, dos diferentes tratamentos realizados.....	62
18	Localizações geográficas dos fardos de palhiço georreferenciados no campo, em graus, com suas respectivas massas.....	64
19	Valores estatísticos dos dados de produtividade de palhiço.....	66
20	Resultados das determinações de umidade do palhiço enfardado	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

α (%) = Quantidade de palhiço que será utilizada para produção de energia elétrica.

ABNT = Associação Brasileira de Normas e Técnicas

Ac ($\text{ha} \cdot \text{ano}^{-1}$) = Área colhida, por ano, com intuito de produção de energia elétrica através do palhiço.

Af (m^2) = Área correspondente ao fardo no talhão.

Ao (m) = Alcance do semivariograma.

ALI = Aplicação localizada de insumos.

$^{\circ}\text{C}$ = Graus Celsius.

C = Elemento químico carbono.

Cd ($\text{kWh} \cdot \text{d}^{-1}$) = Média de consumo diário por pessoa de baixa renda, conforme padrão CPFL.

Co = Efeito pepita do semivariograma.

Co+C = Patamar do semivariograma.

CH₄ = Metano.

CNH = Case New Holland.

CO₂ = Gás carbônico.

CPFL = Companhia Paulista de Força e Luz.

CPP = Composição percentual do palhiço.

CTC = Centro de Tecnologia Copersucar.

CV = Coeficiente de variação.

d = Dia.

DGPS = *Differential Global Positioning System*.

DP = Desvio padrão

E (%) = Grau de umidade da madeira com base em peso úmido.

Ef (%) = Eficiência de conversão do processo.

ESALQ = Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

EUA = Estados Unidos da América.

Gcal = Giga calorias.

GIS = *Geographical Information Systems*.

GPS = *Global Positioning System*.

H (%) = Teor de hidrogênio no material.

H = Elemento químico hidrogênio.

ha = Hectare.

IAA = Instituto do Açúcar e do Alcool.

IC = Intervalo de confiança.

INCRA = Instituto Nacional da Reforma Agrária.

INPE = Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

IP (%) = Índice de palhiço.

kg = Kilogramas.

L = Litro.

Mcal = Mega calorias.

MCOC ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e $\% \cdot \text{ha}^{-1}$) = Média das quantidades estimadas de colmos.

Mf (kg) = Massa do fardo elaborado pela máquina.

MFVC ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e $\% \cdot \text{ha}^{-1}$) = Média das quantidades estimadas de folhas verdes.

Mg = Mega grama.

MJ = Mega joule.

MMP ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e $\% \cdot \text{ha}^{-1}$) = Média das quantidades estimadas de palhiço.

MPAC ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e $\% \cdot \text{ha}^{-1}$) = Média das quantidades estimadas de palhas.

MPOC ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ e $\% \cdot \text{ha}^{-1}$) = Média das quantidades estimadas de ponteiros.

MW = Mega watt.

N = Elemento químico nitrogênio.

N_2O = Óxido nitroso.

Na = Elemento químico sódio.

NAVSTAR = *Navigation Satellite with Time and Ranging*.

° = Graus.

O = Elemento químico oxigênio.

O₃ = Ozônio.

PCI (kcal.kg⁻¹) = Poder calorífico inferior (com base em peso seco).

PCS (kcal.kg⁻¹) = Poder calorífico superior (com base em peso seco).

PCU (Mcal.ha⁻¹ e Mcal.Mg⁻¹) = Poder calorífico útil (com base em peso úmido).

Pd = Estimativa do número de pessoas que podem se beneficiar com a energia elétrica oriunda do palhiço de cana-de-açúcar.

ppb = Parte por bilhão.

PEC (Mcal.ha⁻¹) = Potencial energético do canavial.

PPT (Mg.ha⁻¹) = Massa de palhiço (com base em peso úmido).

Psp (kg) = Massa seca do palhiço enfardado.

Pu (MJ.Mg⁻¹) = Poder Calorífico Útil do palhiço a uma umidade "U".

Pup (kg) = Massa úmida do palhiço enfardado.

Qpr (Mg.ha⁻¹) = Quantidade de palhiço recolhida.

Qt (Mg.ha⁻¹) = Quantidade de palhiço, no campo, após a colheita da cana.

RAC = Resíduos agrícolas da cana.

SIG = Sistemas de informações geográficas.

t = Tonelada.

Trat. = Tratamento.

U (%) = Umidade do material.

MAPEAMENTO DO PALHIÇO ENFARDADO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*) E DO SEU POTENCIAL ENERGÉTICO

Autor: Marco Lorenzo Cunali Ripoli

Orientador: Prof. Titular Luiz Antonio Balastreire

RESUMO

O Brasil é um país tropical em desenvolvimento com abundantes recursos em biomassa. A cana-de-açúcar é, primariamente, produzida para a obtenção de álcool e açúcar. Atualmente, os canaviais são queimados como prática de pré-colheita. Abandonando-se essa prática, o palhiço constituído por ponteiros, folhas verdes, palhas e frações de colmos remanescentes após operações de colheita, poderia ser recolhido e utilizado para produção de vapor visando geração de energia elétrica, nas próprias usinas e destilarias. Este estudo teve o objetivo de mapear o palhiço remanescente da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, sem queima prévia, resultante do enfardamento do material por meio de duas diferentes enfardadoras (de fardos cilíndricos e prismáticos), utilizando-se os conceitos da Agricultura de Precisão. Essa atividade permitiu quantificar a massa de palhiço recolhido, sua umidade e o seu equivalente energético em barris de petróleo. A área objeto do estudo pertence à Usina Costa Pinto, município de Piracicaba, SP (22°40'30"S, 47°36'38"W). A produtividade foi estimada pela pesagem direta dos fardos, através de célula de carga e pela medição da área de origem do material enfardado. Foram realizadas determinações para os dois tipos de enfardamento resultantes da operação em áreas com três

diferentes tipos de enleiramento, que diferiram entre si em relação à massa de palhiço acumulada nas leiras. Os resultados obtidos médios para massa e volume dos fardos foram de 336,4kg e 1,54m³ para os prismáticos e de 452,9kg e 2,72m³ para os cilíndricos. Pelos mapas obtidos observou-se que a quantidade de palhiço enfardado, sobre a área, variou de 6,0 a 15,0Mg.ha⁻¹; sua umidade variou de 14,68 a 30,50% e o seu equivalente energético estimado foi de 6,33 a 17,80 barris de petróleo por hectare, todos numa distribuição não homogênea. A técnica adotada para geração de mapas para este tipo de matéria-prima mostrou-se adequada.

PALAVRAS-CHAVE: cana-de-açúcar, biomassa, Agricultura de Precisão, enfardamento, palhiço, mapeamento da produtividade, energia.

SUGAR CANE (*Saccharum spp.*) BAILED TRASH YIELD AND ENERGETIC POTENCIAL MAPPING

Author: Marco Lorenzo Cunali Ripoli

Adviser: Prof. Titular Luiz Antonio Balastreire

SUMMARY

Brazil is a developing tropical country with abundant potential for production of biomass. The sugar cane is primarily produced to obtain alcohol and sugar. Currently the sugar cane fields are burned as a pre-harvest practice. If such practice is abandoned, the trash (green leaves, tops and straws left after harvesting) could be collected and used for vapor production for electric energy generation in the sugar mills and distilleries. The objective of this study was to map the remaining trash of the mechanically harvested raw sugar cane, not burned, as a result from bailing the material with two different balers (in cylindrical and prismatic packs), using the Precision Agriculture concepts. This activity allowed to measure the sugar cane trash mass bailed, the moisture content and the energetic equivalent, in petroleum barrels. The studied area belongs to Costa Pinto Sugar Mill, in the Piracicaba county, SP (22°40'30"S, 47°36'38"W). The yield was estimated by direct weighing the bails using a load cell and measuring the area of origin of the baled material. Determinations were carried out in two different bailing process that were made from three different raking process that differed in the amount of material taken to produce the desired sugar cane trash row. The average results for mass and volume were

336.4kg with an 1.54m^3 for prismatic bales and 452.9kg and 2.72m^3 for cylindrical bales. Using the obtained maps it was observed that the sugar cane bailed trash yield on the area varied from 6.0 to $15.0\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, the moisture content varied from 14.68 up to 30.50% and the energetic equivalent was estimated from 6.33 up to 17.80 petroleum barrels per hectare, both in a non homogeneous distribution. The technique adopted to generate the maps for this type of raw material revealed itself adequate.

KEYWORDS: sugarcane, biomass, Precision Agriculture, baling, trash, yield mapping, energy.

MAPIAMIENTO DE LOS RESÍDUOS ENFARDADOS DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum spp.*) Y DEL POTENCIAL ENERGETICO

Autor: Marco Lorenzo Cunali Ripoli

Tutor: Prof. Titular Luiz Antonio Balastreire

RESUMEN

Brasil es un país tropical en desarrollo con grandes recursos de biomasa. La caña de azúcar es producida principalmente para obtener alcohol y azúcar. Actualmente, los cañaverales son quemados como una práctica de pre-cosecha. Cuando esta práctica no es utilizada los restos de cosecha constituidos por cogollos, hojas verdes, paja e fracciones de cañas que permanecen en el campo luego de las operaciones de cosecha pueden ser recojidos y utilizados para la producción de vapor con el objetivo de generar energía eléctrica, en los propios ingenios y destilarias. Este trabajo prioriza el mapeo del residuo de caña de azúcar verde, cosechado mecánicamente y enfardado por medio de dos enfardadoras diferentes (de fardos cilíndricos y prismáticos), a través del uso de Agricultura de Precisión. Esta actividad permitió obtener la cantidad de residuo recojido, la humedad y el equivalente energético en barriles de petróleo. El área de estudio pertenece al Ingenio Costa Pinto, municipio de Piracicaba, SP (22°40'30"S, 47°36'38"W). La producción fue estimada a través de peso directo de los fardos, por medio de una célula de carga y por la medida del área de origen del material enfardado. Fueron realizadas determinaciones para los dos procesos de enfardamiento provenientes de la operación en

areas con tres procesos de enleirameinto, para obtener la cantidad de residuos deseada. Los resultados promedios obtenidos para massa y volumen de los fardos fueran 336,4kg y 1,54m³ para los prismaticos y 452,9kg y 2,72m³ para los cilíndricos. Por médio de los mapas obtenidos se observa que la cantidad de residuos enfardados, sobre el área, varió de 6,0 a 15,0Mg.ha⁻¹; la humedad varió de 14,68 a 30,50% y el equivalente energético estimado fue de 6,33 a 17,80 barriles de petróleo por hectárea, en una distribución no homogénea. La técnica adoptada para la generación de los mapas para este tipo de matéria prima resultó adecuada.

PALABRAS-CLAVE: caña de azúcar, biomasa, Agricultura de Precisión, enfardamiento, residuos de caña, mapas de producción, energia.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país tropical em desenvolvimento com abundantes recursos em biomassa sendo, atualmente, o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, possuindo uma área plantada próxima a cinco milhões de hectares, com uma produção em torno de 285 milhões de toneladas de matéria-prima. Atualmente os canaviais são queimados como prática de pré-colheita, apesar de existir legislação que proíbe tal prática, sob determinadas condições de relevo e proximidades a centros urbanos. Abandonando-se essa prática, o palhiço (ponteiros, folhas verdes e palhas) remanescente sobre o terreno e decorrente da colheita mecanizada poderia ser recolhido e utilizado para co-geração de energia elétrica nas próprias usinas e destilarias, de acordo com Ripoli & Ripoli (1995). O palhiço não recolhido, considerado material vegetal remanescente poderia tornar-se, então, mais uma fonte de energia renovável.

A cultura canavieira, segundo relatos de vários autores, pode gerar biomassa indesejável à indústria, da ordem de 15 a 30% em peso da parte aérea das plantas, dependendo das condições de campo (variedade, idade, número de corte e condições edafo-climáticas), cujo poder calorífico é equivalente ao da madeira e superior ao do próprio bagaço da cana, o que o torna não mais um material descartável, mas um importante produto para agregação de valor no setor sucroalcooleiro.

O mapeamento da produtividade agrícola de uma cultura é uma das fases da Agricultura de Precisão que apresenta a maior facilidade de execução devido ao grande número de pesquisas já realizadas. Segundo

Balastreire (1998) a Agricultura de Precisão é um conjunto de técnicas que permite o gerenciamento localizado de culturas.

De acordo com Torres et al. (2000) o uso do DGPS não se resume a determinar e gravar a posição do veículo, podendo ser utilizado como guia do veículo em aplicações em faixas paralelas para a eliminação de falhas ou sobreposições entre passagens consecutivas. O uso desta tecnologia pode ocasionar uma redução nos custos e aumento de produtividade da cultura para o agricultor.

O presente estudo teve como objetivo verificar a aplicação dos conceitos de Agricultura da Precisão nas operações de enfardamento de resíduos de colheita mecanizada de cana-de-açúcar sem queima prévia, realizado por dois tipos diferentes de enfardadoras, por meio do mapeamento dos fardos. Essa técnica possibilita a quantificação do material enfardado e a avaliação da sua umidade e equivalente energético na área estudada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Área colhida, produção e considerações sobre a queima de canaviais

O Agrianual 2002 (FNP, 2002) informa que a área colhida no Brasil com cana-de-açúcar, no ano passado, foi da ordem de $4,728 \times 10^6$ ha, com uma produção de $282,621 \times 10^6$ Mg e uma produtividade média de colmos de $58,3 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Em função dos investimentos anuais, em 2002 e 2003 a área colhida deverá continuar a crescer. De acordo com a mesma publicação, espera-se para 2002 um recorde de produção de aproximadamente 358×10^6 Mg, em $5,161 \times 10^6$ ha. De acordo com este anuário e Fernandes (1998) a cultura da cana-de-açúcar é a terceira de maior importância no contexto da agricultura brasileira.

A prática de queima de canaviais apresenta diversas questões, conforme Delgado (1985), que as classifica sob aspectos agronômicos, industriais, econômicos, operacionais e energéticos.

De caráter agronômico:

- a palha pode ser incorporada ao solo aumentando o seu teor de matéria orgânica;
- leva a destruição dos inimigos naturais da broca da cana;
- cria facilidade nas operações de preparo de solo e de cultivo;
- colabora com a eliminação das pragas da cultura;
- oferece facilidades nas operações de corte, tanto manual como mecanizado.

De caráter industrial:

- causa dificuldades na conservação e purificação dos caldos;
- provoca o aumento de brix e fibra%cana devido ao ressecamento dos colmos;
- concorre para o aumento da infestação de microorganismos nos colmos, como resultado da exsudação, predispondo-os à deterioração.

De caráter econômico e operacional:

- torna a colheita mais fácil e barata;
- causa maiores prejuízos no caso de atraso no corte;
- provoca complicações para o tratamento de água de lavagem, pelo aumento de volume necessário e pela demanda biológica de oxigênio devido ao exsudado e pela solubilização de ceras.

De caráter energético:

- a queima tem causado perdas da ordem de 30% da matéria bruta, tornando-se claro que, caso fossem aproveitadas para a produção de biogás ou queimadas em caldeiras, poderiam ser geradoras de energia de biomassa.

Também Bassinello et al. (s.d.) descrevem vantagens e desvantagens da cana-de-açúcar como matéria-prima obtida de canaviais colhidos sem queima prévia, resultando restos culturais (palha e palmito) no campo. "Vantagens:

- manutenção da umidade do solo;
- controle de plantas daninhas sem a utilização ou com a diminuição da quantidade de herbicidas;
- melhor controle da erosão com proteção do solo contra o impacto das gotas de chuva;
- aumento da matéria orgânica no solo pela adoção da prática por vários anos;

- redução da população de nematóides nocivos à cultura, pelo acréscimo de nematóides predadores e microorganismos resultantes do aumento da matéria orgânica do solo;
- possibilidade de melhor aproveitamento da cana-de-açúcar do ponto de vista energético, levando-se toda a fonte de energia (biomassa) para a indústria;
- melhoria da qualidade da matéria-prima entregue para industrialização;
- no caso de micro e mini-destilarias, que exigem baixas toneladas diárias de matéria-prima, dificultando a queima de talhões inteiros de cana, a adoção da prática da colheita crua iria beneficiar o processo além de permitir a utilização de ponteiros para alimentação animal;
- redução da poluição atmosférica provocada pela queima da cana.

Desvantagens:

- dificuldade de mão-de-obra disponível para adoção da técnica e resistência do próprio cortador em executá-la;
- rendimento de corte menor, tanto manual como mecanizado, implicando em maiores custos de produção;
- aumento das impurezas vegetais e minerais na matéria-prima;
- tendência de apresentar o corte basal mais elevado, provocando perdas de matéria prima e prejudicando a brotação da soqueira;
- dificuldades de brotação de soqueira devido à menor temperatura do solo e do sombreamento;
- maior foco de infestação para alojamento das pragas;
- impossibilidade de utilização dos implementos tradicionais nos tratos culturais de adubação e cultivo (subsolagem);
- necessidade de maior quantidade de nitrogênio na adubação de soqueira com a finalidade de suprir a parte imobilizada na

decomposição da palha e aplicação no plantio de todo o fósforo exigido para o ciclo da cultura;

- perigo de fogo acidental no período de entressafra e durante a colheita;
- cuidado na escolha de variedades apropriadas (sem joçal, despalha fácil, com menor problema de doenças e broca);
- aumento da necessidade de transporte pela empresa;
- aumento no teor de fibra e conseqüente redução na extração de caldo pelas moendas;
- as colhedoras de cana picada ou de cana inteira foram basicamente desenvolvidas para o corte de cana queimada com raras exceções;
- diminuição da velocidade das colhedoras com aumento do consumo operacional e custo final;
- aumento da incidência de animais peçonhentos (cobra, aranha) no momento do corte, provocando sérios acidentes;
- maior incidência de broca (*D. saccharalis*) e de cigarrinha da raiz (*M. fimbriolata*)".

Ripoli (1988) considera que a queima prévia dos canaviais é consagrada em função dos reflexos econômicos imediatos que oferece, porém, enumera vários inconvenientes dessa prática, tais como: riscos de descontrole, podendo provocar incêndio em outras áreas agrícolas ou matas, dificuldade de implantação de controle biológico de pragas, danos às redes de transmissão de energia elétrica, perda de sacarose por exsudação dos colmos e desperdícios de cerca de $10\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de massa vegetal que poderia ser incorporada ao solo melhorando suas propriedades físico-químicas ou aproveitada como fonte de energia na agroindústria.

O Jornal de Piracicaba¹ citado por Ripoli (1995), apresenta matéria sobre as queimadas de canaviais. Segundo o Instituto Nacional de

---

¹ JORNAL DE PIRACICABA. INPE mede efeitos das queimadas em São Paulo. p. 25. 26 set. 1989.

Pesquisas Espaciais (INPE), “as queimadas contribuem, indiretamente, para a intensificação do efeito estufa, através da emissão de gases tóxicos, tais como o óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4)” (Figura 1). A matéria apresenta dados referentes a levantamentos efetuados pelo INPE, em regiões canavieiras do Estado de São Paulo, cujos resultados apontados foram de níveis de ozônio da ordem de 80ppb, durante o período de colheita dos canaviais, enquanto são considerados normais níveis da ordem de 20 a 40ppb.

Figura 1 – Exemplo de uma queimada de pré-colheita resultando em poluição ambiental.

Ripoli (1995), discorrendo sobre as implicações técnico-econômicas e sócio-ambientais, da queimada de pré-colheita, afirma que esta “é uma agressão ao ambiente, causando desequilíbrios biológicos na flora e na fauna, levando, em longo prazo, ao aumento da utilização de agro-químicos na cultura... apesar de facilitar o corte manual e mecanizado pela redução de matéria-estranha” (Figura 2).

Figura 2 – Aspecto de um canavial após a queima, com eliminação de grande parte do palhiço restando colmos e ponteiros.

Ripoli et al. (1991) estudaram a energia contida em resíduos de colheita de cana crua nas variedades SP701284; SP701143; SP706163; SP711406 e NA5679, no Estado de São Paulo. A Tabela 1 apresenta alguns valores médios obtidos a partir do trabalho. As figuras 3 e 4 mostram, como exemplo, a vista interna de um canavial e, o mesmo, após a colheita.

Tabela 1. Valores médios de umidade, massa e Poder Calorífico Útil (PCU) obtidos por Ripoli et al. (1991) para as diversas frações constituintes do palhiço.

Variáveis	Médias	CV	DP
Ponteiros			
Umidade (%)	76,79	3,33	1,82
Massa (Mg.ha ⁻¹)	6,00	30,00	1,80

Tabela 1 – Valores médios de umidade, massa e Poder Calorífico Útil (PCU) obtidos por Ripoli et al. (1991) para as diversas frações constituintes do palhiço.

Variáveis	Médias	CV	DP
PCU (Mcal.ha ⁻¹)	888,0	13,34	118,50
Folhas verdes			
Umidade (%)	66,21	5,90	3,88
Massa (Mg.ha ⁻¹)	6,87	29,80	2,05
PCU (Mcal.ha ⁻¹)	1.344,8	12,41	166,95
Palhas			
Umidade (%)	8,81	27,47	2,42
Massa (Mg.ha ⁻¹)	8,74	32,38	2,83
PCU (Mcal.ha ⁻¹)	3.609,0	0,67	24,25
Palhiço Ponderal			
Umidade (%)	46,11	11,23	5,18
Massa (Mg.ha ⁻¹)	21,61	23,80	5,14
PCU (Mcal.ha ⁻¹)	45.783,4	24,40	11.152,1

CV= Coeficiente de variação; DP = Desvio padrão.

Figura 3 – Vista interna de um canal sem queima prévia.

Figura 4 – Condição do material remanescente (palhiço), resultante da colheita mecanizada, sem queima prévia, de cana-de-açúcar.

2.2 Considerações sobre poder calorífico

O Poder Calorífico de materiais vegetais pode ser considerado, segundo Brito & Barrichello (1982), de duas maneiras: Superior (PCS), se é considerado o calor liberado pela condensação da água de constituição do combustível ou Inferior (PCI), quando esta consideração não é feita. Afirmam, ainda, que na prática o Poder Calorífico Inferior (PCI) deve ser o preferido apesar de, no processo de determinação de Poder Calorífico, geralmente utilizar-se da bomba calorimétrica, a qual fornece o Poder Calorífico Superior (PCS). Para se contornar a situação lança-se mão da relação entre PCS e PCI, a qual é regida pela quantidade de hidrogênio contida no combustível tendo-se, então, descontado o calor de vaporização da água formada no processo, conforme a Equação 1 apresentada por Doat (1977).

$$PCI = PCS - 600 \cdot 9 \cdot H / 100 \quad (1)$$

onde:

PCI (kcal.kg^{-1}) = Poder Calorífico Inferior (com base em peso úmido).

PCS (kcal.kg^{-1}) = Poder Calorífico Superior (com base em peso seco).

H (%) = teor de hidrogênio no material.

600 = valor médio (kcal) de energia absorvida por quilograma de água, para se atingir a temperatura de evaporação.

9 = múltiplo do peso de hidrogênio contido no combustível, que fornece o peso da água formada durante a combustão.

Doat (1977) apresenta também a Equação 2 que fornece valor bastante aproximado do Poder Calorífico Útil (PCU) de madeiras, ou seja, fornece o Poder Calorífico Inferior (PCI) com base em peso úmido, deduzindo-se a energia consumida na evaporação da água de formação.

$$\text{PCU} = \text{PCI} \cdot [(100 - E) / 100] - 6 \cdot H \quad (2)$$

onde:

PCU (kcal.kg^{-1}) = Poder Calorífico Útil à umidade E.

E (%) = grau de umidade da madeira com base em peso úmido.

6 = fator de conversão referente à energia para evaporação da água de formação.

Por sua vez, Oliveira (1982) afirma que são necessários 600 kcal para evaporar 1kg de água e que a massa dessa água formada durante a combustão é igual a nove vezes a massa do hidrogênio contido no combustível.

Para a ABNT (1984), segundo a Norma 8633, Poder Calorífico Superior vem a ser uma unidade de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa de uma substância, em bomba calorimétrica, em atmosfera de oxigênio, a volume constante e sob condições específicas de modo que toda a água proveniente da combustão esteja no estado líquido.

Estudando sistemas de colheita de biomassa para uso como fonte de energia no Estado de Indiana, USA, Mantovani et al. (1985) concluíram que a possibilidade de se usar feno de baixa qualidade, palha de milho e cavacos de madeira, como matérias-primas para uma unidade processadora de biomassa, demonstraram ser bastante interessantes. Desenvolveram um modelo matemático para simular colheita e transporte do material acima referido.

Brito² analisando a energia da biomassa como alternativa para a região tropical úmida do planeta, afirma que o componente energético é quem molda e sustenta as civilizações. Literalmente, diz que “a biomassa mais que uma simples alternativa energética, pode constituir a base de um modelo de desenvolvimento tecnológico e industrial auto-sustentado, baseado em dados concretos de realidade regional e na integração do homem a um ambiente econômico em harmonia com seu ambiente natural”. A seguir, com base em dados reais, diz não ter sentido falar-se na competição entre energia e alimentos “especialmente quando se considera que a produção de energia através da biomassa está sempre associada a resíduos e a subprodutos de alto valor alimentar, seja para consumo humano, seja como ração animal”. Exemplifica com os subprodutos da cana-de-açúcar, que podem ser utilizados para preparação de ração animal, podendo alimentar, por unidade de área, “três vezes mais animais do que, estes, em pastagens naturais e artificiais”. Afirma existir amplas oportunidades para uma participação mais efetiva dos combustíveis derivados da biomassa no Brasil e na América Latina. Todavia, para tanto, serão necessários clara opção política e esforços tecnológico e industrial mais autônomos. Diz que tal política terá como principais vetores energéticos o etanol, os óleos vegetais e a biomassa florestal na propulsão de veículos e na cogeração de energia elétrica.

---

² BRITO, J.O. RELATÓRIO DE ESTUDO. Centre Technique Forestier Tropical. Paris, 1979. 44p. não publicado.

2.3 Energia calorífica de alguns materiais

Sumner et al. (1983) determinaram os Poderes Caloríficos Superiores (PCS) de diversos materiais vegetais, por meio de bomba calorimétrica e obtiveram os seguintes resultados médios apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Poderes Caloríficos Superiores (PCS) obtidos por Sumner et al. (1983).

Materiais	PCS (kcal.kg ⁻¹)	Materiais	PCS (kcal.kg ⁻¹)
Painço var. Pearl	4.178	Casca de pecan	4.345
Painço var. Texas	4.178	Laranja	4.464
Colmos de sorgo	4.273	Pecan	4.536
Folhas de sorgo	4.631	<i>Grape Fruit</i>	4.464
Capim Napier	4.369	Cone de <i>Pinus spp.</i>	4.870
Gramma Bermuda	4.584	Palha de <i>Pinus spp.</i>	5.348
<i>Pinus spp.</i>	4.249	Pêssego	4.608

var. = variedade.

Andrade (1961) e Arola (1976) estudaram os Poderes Caloríficos Superiores (PCS) de madeiras secas provenientes de pinus e eucaliptos, cujos resultados médios são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Poderes Caloríficos Superiores (PCS) de madeiras obtidos por Andrade (1961) e Arola (1976).

Espécies	PCS (kcal.kg ⁻¹)
<i>Pinus strobus</i>	5.285
<i>Pinus ponderosa</i>	5.000
<i>Eucalyptus saligna</i>	4.670
<i>Eucalyptus robusta</i>	4.774

Brito (1979) determinou os Poderes Caloríficos Superiores (PCS) de carvão vegetal de algumas espécies de eucaliptos, conforme mostrado na Tabela 4. Afirma que se pode considerar, para carvão vegetal, para fins práticos, as médias de 7.500kcal.kg^{-1} para Poder Calorífico Superior (PCS) e de 7.365kcal.kg^{-1} para Poder Calorífico Inferior (PCI), este último valor calculado utilizando-se a equação 1.

Tabela 4. Poderes Caloríficos Superiores (PCS) de algumas espécies de eucaliptos obtidos por Brito (1979).

Espécies	Idades	PCS (kcal.kg^{-1})
<i>Eucalyptus urospila</i>	3	5.285
<i>Eucalyptus deglupta</i>	5	5.000
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	5	4.670
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	9	4.774

Para Carvalho (1974) um hectare de eucalipto produz 200Mg de madeira seca ao ar, a qual por sua vez, produz, na forma de lenha, energia equivalente a 55.000 litros de óleo diesel. Defende a volta do uso mais intenso da lenha e do carvão vegetal para geração de energia elétrica, na siderurgia, em indústrias que utilizam vapor, para aquecimento doméstico rural e em transporte ferroviário.

Segundo Goldenberg (1979), a biomassa representava 27% das fontes energéticas do Brasil, a qual encontrava-se distribuída em: lenha (20%), carvão vegetal (2,4%) e bagaço de cana-de-açúcar (4,6%). O autor apresenta valores de massa específica e de Poderes Calorífico Inferiores (PCI) de alguns combustíveis de origem vegetal e da gasolina (Tabela 5).

Tabela 5. Valores de massa específica e Poderes Caloríficos Inferiores (PCI) apresentados por Goldenberg (1979).

Produtos	Densidades (kg.L ⁻¹)	PCI (kcal.kg ⁻¹)	PCI (kcal.L ⁻¹)
Gasolina	0,734	11.100	8.150
Etanol	0,789	6.400	5.040
Metanol	0,796	4.700	3.740
Madeira	0,400	2.524	1.010
Carvão vegetal	0,200 – 0,440	6.798	1.980 – 3.000

Atchison (1977) foi outro autor que estudou comparativamente alguns materiais vegetais, neste caso, em termos de Poder Calorífico Superior (PCS) (Tabela 6).

Tabela 6. Poderes Caloríficos Superiores (PCS), obtidos por Atchison (1977).

Materiais	PCS (kcal.kg ⁻¹)
Palha de cereal	4.445
Madeira mole	4.665 – 5.500
Madeira dura	4.555 – 4.946
Bagaço de cana	4.445 – 4.665

Em estudos de campo, na Usina Santa Lídia, município de Ribeirão Preto, São Paulo, safra 89/90, Ripoli et al. (1990b) determinaram a Umidade (U%), o Índice de Palhiço (IP), o Teor de Hidrogênio (H%), os Poderes Caloríficos Superior (PCS), Inferior (PCI) e Útil (PCU), em kcal.kg⁻¹, de ponteiros, folhas verdes e palhas e a Composição Percentual dos Constituintes do Palhiço (CPP) de três variedades de cana-de-açúcar colhidas manualmente e sem queima prévia, cujos resultados são apresentados na Tabela 7. O IP é uma variável percentual criada por esses autores que correlaciona as massas de ponteiros, folhas verdes e palhas com as massas de colmos, por unidade de área de dado canavial.

Tabela 7. Resumo dos resultados obtidos por Ripoli et al. (1990b) de diversas variáveis do palhiço de cana-de-açúcar.

Variáveis	Variedades			Médias
	SP 701284	SP 706163	SP 701143	
U%				
Ponteiros	74,5 (1,58)	76,68 (2,89)	79,46 (2,89)	76,88 (3,30)
Folhas verdes	62,47 (2,03)	63,94 (3,11)	70,79 (3,83)	65,73 (6,47)
Palhas	6,89 (5,66)	8,75 (18,74)	7,26 (21,08)	7,63 (18,74)
IP				
	0,17 (9,48)	0,31 (7,96)	0,25 (9,84)	0,24 (25,42)
H%				
Ponteiros	6,20 (0,23)	6,27 (1,48)	6,23 (1,60)	6,23 (0,67)
Folhas verdes	6,33 (0,24)	6,33 (0,24)	6,26 (0,88)	6,43 (0,00)
Palhas	6,19 (0,40)	6,24 (0,34)	6,26 (0,00)	6,23 (0,67)
PCS				
Ponteiros	4.481,9 (3,24)	4.182,1 (3,25)	4.227,7 (3,57)	4.297,2 (4,60)
Folhas verdes	4.407,9 (2,47)	4.470,9 (3,78)	4.229,8 (2,31)	4.392,8 (3,21)
Palhas	4.283,6 (1,66)	4.295,7 (4,84)	4.276,4 (4,85)	4.285,2 (3,53)
PCI				
Ponteiros	4.147,1 (3,24)	3.843,6 (3,25)	3.891,4 (3,57)	3.960,7 (4,60)
Folhas verdes	4.407,9 (2,47)	4.132,5 (3,78)	3.952,8 (2,31)	3.948,9 (3,53)
Palhas	3.949,7 (1,79)	3.958,9 (5,25)	3.938,3 (5,29)	3.938,9 (3,53)
PCU				
Ponteiros	1.020,6 (7,26)	858,5 (4,31)	762,1 (12,28)	880,4 (14,74)
Folhas verdes	1.487,1 (2,47)	1.453,3 (7,74)	1.114,7 (7,69)	1.351,7 (14,22)
Palhas	3.640,4 (1,41)	3.573,5 (4,42)	3.615,7 (7,08)	3.609,8 (3,97)
CPP				
Ponteiros	27,63 (23,38)	31,17 (15,57)	24,38 (25,51)	27,50 (22,11)
Folhas verdes	33,91 (22,38)	37,12 (13,33)	40,36 (23,12)	36,86 (20,48)
Palhas	38,46 (24,13)	31,71 (6,72)	35,26 (13,92)	35,14 (18,41)

U% = Umidade do material; IP = Índice de palhiço; H% = Teor de hidrogênio do material; PCS = Poder calorífico superior; PCI = Poder calorífico inferior; PCU = Poder calorífico útil; CPP = Composição percentual do palhiço. Obs.: Números entre parêntesis referem-se aos coeficientes de variação.

Ripoli (1991) estimou, para as variedades SP 711406 e NA 5679, no Estado de São Paulo, o equivalente energético do palhço em equivalente barril de petróleo (EBP). Os valores médios foram $1,28\text{EBP.Mg}^{-1}$ de palhço e $30,90\text{EBP.ha}^{-1}$.

2.4 Alguns aspectos econômicos do palhço

Sobre a viabilidade econômica do aproveitamento de material remanescente de colheita sem queima prévia, Lopez (1987), apresenta resultados de estudos realizados na Usina Central Romana, na República Dominicana. Esclarece que toda a área plantada, de 66.000ha, foi colhida e carregada manualmente. Esse material constitui-se de ponteiros e de folhas secas e que, logo após a operação de colheita, ele representou, por volta de 30% do peso total da biomassa produzida. O menor valor encontrado foi de 15%. O autor esclarece, ainda, que ocorrem variações desse percentual em função das condições em que se desenvolveram os cultivos e das variedades utilizadas. Quanto à umidade do material, em dias ensolarados e em menos de uma semana, afirma que esta caiu para 30%, em média, e em certos casos chegou a 20%. Quanto ao Poder Calorífico Inferior (PCI) do material remanescente, apresentou em 4.180kcal.kg^{-1} , com base em peso seco e de 2.850kcal.kg^{-1} , quando ele continha 30% de umidade.

Finalmente, o autor apresenta resultados de desempenhos operacional e econômico de sistemas de recolhimento do material remanescente para posterior utilização energética, afirmando que a maior limitação se prende a sua baixa densidade, a qual, por sua vez, varia em função dos métodos de recolhimento e preparo para transporte. Dentre os métodos estudados, o que demonstrou viabilidade econômica foi aquele que utilizou enfardamento e picamento, no campo. Nesse método as operações agrícolas envolvidas foram o enleiramento convencional e recolhimento

através de colhedora-picadora de forragem, colocando o material sobre o transporte (Tabela 8).

Tabela 8. Resultados obtidos por Lopes (1987) sobre operações agrícolas envolvidas na manipulação de palhiço.

Operações	US\$.Mg ⁻¹	Mg.h ⁻¹ efetiva
Enleiramento	1,24	7,0
Recolhimento-picamento	2,93	5,7
Transporte	2,35	-
Carregamento (grua)	0,51	-

Partindo de resultados obtidos por vários autores brasileiros Ripoli et al. (1990a) projetaram uma estimativa do potencial disponível em um hectare de cana-de-açúcar, sem queima prévia, considerando-se uma produtividade agrícola de colmos de 70Mg.ha⁻¹ e industrial de 75L.Mg⁻¹ de etanol. Os 5.250L.ha⁻¹ de etanol obtidos oferecem uma energia de 20.877Mcal.ha⁻¹; as 17,5Mg.ha⁻¹ de bagaço obtidas, por sua vez, representam 31.325Mcal.ha⁻¹ e, finalmente, as 9,7Mg.ha⁻¹ de palhiço correspondem a 22.166Mcal.ha⁻¹, cujos valores totalizados, atingem 74.368Mcal.ha⁻¹. Esclarecem que, para o aproveitamento do palhiço como fonte energética, algumas dificuldades deverão ser enfrentadas, tais como: a sua baixa densidade *in natura* (25kg.m⁻³); o seu teor de terra (7%) e seu relativo e elevado grau de umidade (ponteiros=76,9%; folhas verdes=65,7% e palhas=7,6%). Todavia, entendem que soluções técnicas advirão, pois a adoção de sistemas de colheita de cana sem queima prévia beneficiará economicamente a agroindústria, diminuirá os impactos ambientais e fornecerá ao país nova fonte energética.

Ripoli (2001) afirma que na safra de 2001, segundo informações pessoais obtidas dos gerentes agrícolas J.P. Teixeira e C. Graminha da Usina da Barra, Estado de São Paulo, foram recolhidas 33.000Mg de palhiço, utilizando-se, para tanto, de uma ensiladora de forragem e transporte a

granel até a usina. A produtividade média do palhiço foi de 20Mg.ha^{-1} e a máquina apresentou uma eficiência de recolhimento de 50%, ou seja, foram recolhidos, em média de safra, 10Mg.ha^{-1} de palhiço. O custo de colheita foi de $\text{R\$}18,65.\text{Mg}^{-1}$, o de transporte atingiu $\text{R\$}7,35.\text{Mg}^{-1}$, totalizando $\text{R\$}26,00.\text{Mg}^{-1}$ de palhiço colocado na usina. O autor apresenta, ainda, resultados preliminares sobre produtividade de palhiço em áreas da Usina Costa Pinto, no município de Piracicaba, São Paulo: 5,5 a $19,6\text{Mg.ha}^{-1}$, com 15% de umidade e 4,7 a $16,6\text{Mg.ha}^{-1}$, com base em peso seco.

Ripoli³ procurando obter as perdas de açúcares totais em canaviais, determinou, também, o total de palhiço existente coletando amostras da biomassa, manualmente, de cinco áreas de estudo. O resultado médio obtido foi $25,48\text{ Mg.ha}^{-1}$ de palhiço.

2.5 Caracterização das variedades e das condições de campo

Entre outras metodologias, Ripoli (1991) desenvolveu uma para determinar as quantidades de ponteiros, folhas verdes, palhas e colmos e/ou suas frações não colhidas. Para as variedades estudadas foram tomadas amostras casualizadas de plantio com dez unidades experimentais caracterizadas, cada uma por uma fileira de dez metros lineares, durante a operação de colheita mecânica. Em cada fileira contou-se o número de colmos industrializáveis existentes. A seguir, nas mesmas unidades experimentais, manual e casualizadamente, foram cortados dez colmos sem eliminação dos ponteiros, folhas verdes e palhas. Em seguida, separou-se, manualmente, sobre lona plástica, para cada unidade experimental, as frações de colmos, ponteiros, folhas verdes e palhas (Tabela 9).

---

³ RIPOLI, M.L.C. "Relatório parcial de atividades". Piracicaba: PIBIC/CNPq, ESALQ-USP, Piracicaba, 1997. 72p.

Tabela 9. Média dos resultados obtidos por Ripoli (1991) das quantidades estimadas de colmos (MCOC); de ponteiros (MPOC); de folhas verdes (MFVC); de palhas (MPAC) e de palhiço (MMP).

Trat.	MCOC		MPOC		MFVC		MPAC		MMP
	Mg.ha ⁻¹	(%)	Mg.ha ⁻¹	(%)	Mg.ha ⁻¹	(%)	Mg.ha ⁻¹	(%)	
SP711406	73,54	71,24	9,91	9,60	8,23	7,97	11,53	11,18	28,67
NA5679	66,87	77,47	4,83	5,57	5,25	6,09	9,39	10,85	19,49

Trat.=Tratamentos.

Para a caracterização do canavial, Molina Jr. (1991) introduziu modificações no método proposto por Ripoli (1991). Foram tomadas 10 unidades experimentais, sendo cada uma delas considerada uma repetição. As unidades experimentais constituíram-se de três linhas de plantio consecutivas com dois metros de comprimento e espaçamento de 1,40m, com áreas, portanto, de 8,4m², as quais foram demarcadas casualizadamente. Em cada unidade experimental foram colhidas todas as partes aéreas das plantas, as quais foram retiradas do canavial cuidadosamente e depositadas sobre lona plástica no carregador. Também foram recolhidas as palhas, que ao longo do ciclo fenológico do canavial se desprenderam dos colmos e caíram ao solo.

De cada planta foram separadas manualmente as frações palhas, folhas verdes, ponteiros e colmos, e/ou suas frações determinado-se suas respectivas massas. A seguir, de cada fração retirou-se sub-amostras, acondicionando-as hermeticamente em sacos plásticos, para determinação laboratorial da umidade. Contou-se o número total de colmos existentes em cada unidade experimental, tomando-se ao acaso, 20 deles, dos quais determinou-se seu comprimento, seu diâmetro e o número de seus internódios. A determinação da quantidade de palhiço se deu após a colheita mecanizada do canavial, por meio de 10 repetições, com o auxílio de um gabarito quadrado de ferro de de polegada de diâmetro, com área de 1m². Arremessando-se o gabarito ao acaso, o material encontrado em seu

interior foi recolhido, ensacado, identificado e vedado para posterior determinação de massa e umidade. Os resultados, decorrentes dessas variáveis iniciais, assim como os seus coeficientes de variação e intervalos de confiança, são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Massas ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$) de palhiço em matéria úmida (PPT); potencial energético ($\text{Mcal} \cdot \text{ha}^{-1}$) do canavial (PEC) e índice de palhiço (IP), segundo Ripoli (1991).

Variáveis	Área A	Área B	Médias Gerais
PTT			
Médias	34,53	33,14	33,84
CV	14,11	14,16	13,38
IC	[23,52; 45,55]	[22,54; 43,74]	[33,84; 43,67]
PEC			
Médias	54.245,55	47.186,99	50.701,27
CV	16,96	30,39	24,32
IC	[33.245,9; 75.039,2]	[14.781,7; 79.592,3]	[24.802,5; 76.600,0]
IP**			
Médias	0,29	0,35	0,32
CV	8,70	7,65	12,98
IC	[0,23; 0,35]	[0,29; 0,41]	[0,23; 0,41]

**Significativo a 1%; CV = Coeficiente de variação; IC = Intervalo de confiança.

Molina Jr. (1991); Ripoli (1991); Tillmann (1994) e Furlani Neto (1995) apresentaram resultados de diversas variedades de cana-de-açúcar, sobre a variabilidade espacial referente ao número de colmos industrializáveis por metro linear de fileira de plantio, no momento da operação de colheita: 7,2 a 10,9; 9,2 a 13,6; 7,0 a 16,0 e 10,1 a 12,3, respectivamente.

2.6 Características físicas e químicas de sub-produtos da cana-de-açúcar

Perez (1982) resume os resultados obtidos por diversos autores em relação às análises típicas efetuadas em bagaço de cana-de-açúcar, com base em peso seco, além de outros valores relativos aos constituintes elementares desse material (Tabela 11).

Tabela 11. Valores extraídos da bibliografia por Perez (1982) a respeito de análises químicas do bagaço de cana-de-açúcar.

Países	Composições Químicas					PCS	CO ₂
	C	H	O	N	Cinzas	(kcal.kg ⁻¹)	% máximo
Brasil	47,00	6,00	44,00	-	3,00	4.280	20,4
Cuba	43,15	6,00	47,95	-	2,90	4.432	21,4
EUA	46,20	6,40	45,90	-	1,50	4.529	20,3
Java	46,03	6,56	45,55	0,18	1,68	4.818	20,1
México	47,30	6,08	35,30	-	1,32	5.072	19,4
Peru	49,00	5,89	43,36	-	1,75	4.650	20,5
Porto Rico	44,21	6,31	47,72	0,41	1,35	4.654	20,5

C = Carbono elementar; H = Hidrogênio elementar; O = Oxigênio elementar; N = Nitrogênio elementar; PCS = Poder Calorífico Superior; CO₂ = Gás carbônico.

Zulauf et al. (1985) estudaram, preliminarmente, o potencial energético da palha dos canaviais brasileiros, caso eles não fossem queimados como operação de pré-colheita. Para a safra 84/85, estimaram que, devido à prática de queima prévia, poderia estar se desperdiçando até 87.720Gcal.ano⁻¹ de energia, o que equivaleria à importação de 342.000 barris diários de petróleo, durante 162 dias e o que permitiria abastecer o país durante 63 dias, com uma economia de divisas da ordem de US\$1,464x10⁹. Estes autores apresentam, ainda, os valores médios de umidade, hidrogênio elementar e Poderes Caloríficos Superiores (PCS) e

Poderes Caloríficos Inferiores (PCI), da palha da cana-de-açúcar (folhas secas). Não consideraram os ponteiros e as folhas verdes (Tabela 12).

Tabela 12. Resultados obtidos por Zulauf et al. (1985) sobre algumas variáveis da palha da cana-de-açúcar.

Regiões	Variedades	Umidades (%)	H (%) Elementares	PCS (kcal.kg ⁻¹)	PCI (kcal.kg ⁻¹)
Bauru	SP 701143	21,3	5,0	4.315	3.073
Piracicaba	NA 5679	18,6	3,4	3.979	2.992
Araraquara	NA 5679	9,1	4,0	4.181	3.563
Ribeirão Preto	SP 701143	8,0	4,0	4.096	3.534
Campinas	CP 5122	11,3	4,0	4.098	3.389

Quanto à massa de palha (folhas secas) por unidade de área, em relação à massa de colmos, existente num canavial, o trabalho cita alguns outros dados obtidos pelo IAA – Instituto do Açúcar e do Alcool, 5% e pela Usina Santa Lúcia (SP), de 30 a 50%.

Em Cuba, na safra 86/87, Aguilar et al. (1989) estudaram algumas características do que chamaram de Resíduos Agrícolas da Cana (RAC) e sua preparação para o transporte e combustão nas usinas que usam o bagaço como fonte energética. São descritos três sistemas de preparação e transporte onde existem equipamentos para fracionamento e secamento do material. Os RAC estudados eram provenientes tanto de colheita mecânica como manual, em canaviais colhidos sem queima prévia. Afirmam que os resíduos estudados apresentaram tamanhos de suas frações inadequados para fins industriais. Em relação ao grau de umidade e Poder Calorífico Superior (PCS), apresentam resultados obtidos em três usinas, e cujas médias são confrontadas com o bagaço (Tabela 13).

Tabela 13. Resultados obtidos por Aguilar et al. (1989) referente a resíduos de colheita e bagaço de cana.

Materiais	Umidades (%)	PCS (kcal.kg ⁻¹)
RAC	33,78	4.774,0
Bagaço	47,98	4.902,3

RAC = Resíduos agrícolas da cana.

2.7 Utilização da biomassa como fonte de energia

Samuels (1970) apresenta valores relativos à constituição da matéria-prima cana-de-açúcar, em porcentagem de peso: cana móvel (60%), ponteiros e folhas (22%), cana esmagada (12%) e solo e cinzas (6%).

Para Betancourt (1976) a matéria estranha decorrente da colheita mecanizada em cana queimada e contida na matéria-prima que chega à usina é constituída, em média, dos seguintes elementos (em porcentagem de peso): ponteiros (60%); folhas e palhas (35,26%); rebrotos (1,86%); colmos secos (1,75%) e terra (1,13%).

Rosa (1977) referindo-se à capacidade fotossintética da cana-de-açúcar comenta que, 1,6% da energia solar incidente sobre a cultura é transformada em energia química, o que corresponde, em cada quilômetro quadrado de área plantada, à energia contida em 52 barris de petróleo, por dia, dos quais apenas o equivalente a 6,8 barris é transformado em álcool e/ou açúcar.

Lanças (1984) discorre sobre a evolução da utilização das alternativas energéticas. Em relação à utilização de biomassa em larga escala, cita as seguintes vantagens e problemas:

- recursos abundantes, renováveis e disponíveis em diversas formas e grande variedade de uso;

- produção descentralizada, com recursos regionais e locais mais apropriados;
- redução da poluição ambiental em relação aos combustíveis fósseis;
- colheita de grande quantidade de biomassa pode causar desequilíbrio ecológico em grandes proporções;
- baixa quantidade de energia por quantidade de massa, cuja viabilidade só poderá ser considerada quando o preço do petróleo se elevar muito;
- problemas de armazenamento e transporte devidos às várias formas de biomassa;
- devido à produção descentralizada, a necessidade de transporte para os centros de conversão pode tornar inviável sua produção, dependendo das distâncias;
- para melhor eficiência é necessário um sistema de pré-secagem devido à umidade da biomassa.

Ripoli et al. (1990a) determinaram a massa média de material remanescente de colheita (palhiço) como sendo $9,7\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e com Poder Calorífico Útil (PCU), da ordem de $2.280\text{kcal}\cdot\text{kg}^{-1}$. Estimaram que, num canavial com produtividade de colmos de $70\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, pode-se obter um equivalente energético de 20.877Mcal em etanol; 31.326Mcal no bagaço e 21.058Mcal no material remanescente da colheita.

Ripoli (1991) desenvolveu modelos matemáticos relativos ao equacionamento dos balanços energético e econômico do palhiço de cana-de-açúcar. Para a validação dos modelos, o autor realizou ensaios de campo na Usina Santa Lídia, no município de Ribeirão Preto, SP. Apresenta, ainda, novas definições de terminologia, relativas ao material remanescente de colheita mecanizada sem queima prévia, até então inexistentes na bibliografia canavieira. Por fim, com a aplicação dos modelos desenvolvidos, constatou que a substituição do bagaço pelo palhiço nas usinas de açúcar pode ser altamente vantajosa.

Ripoli & Molina Jr. (1991) estimaram que é possível obter 67.080Mcal de energia de um canavial com produtividade de colmos de 60Mg.ha⁻¹ de matéria-prima, como mostrado na Tabela 14. Afirmam que a utilização de resíduos de colheita como fonte de energia pode transformar a agroindústria sucroalcooleira em verdadeira usina de biomassa.

Tabela 14. Estimativas obtidas por Ripoli & Molina Jr. (1991) em relação a energia contida no canavial.

Produtos	Quantidades	Energias (Mcal)	%
Álcool	4.500L	18.830	25,09
Bagaço	15Mg	26.850	40,03
Resíduos (Palhiço)	12Mg	23.400	34,88

Ripoli (1991) estudando as variedades de cana-de-açúcar SP701143 e NA5679, determinou o Poder Calorífico e as percentagens de hidrogênio elementar das frações colmos, ponteiros, folhas verdes e palhas, obtendo como médias, os valores de 4.041,84kcal.kg⁻¹ e 6,34%, respectivamente. Em equivalente energético, quando o autor considerou o potencial do canavial e o comparou com combustíveis líquidos, os resultados para cada variedade foram os apresentados na Tabela 15. Concluiu que uma tonelada de material remanescente de colheita substitui 1,08Mg de bagaço, em termos de Poder Calorífico, caso considere-o como combustível para fornalhas de caldeiras.

Tabela 15. Equivalentes energéticos do palhiço, em relação ao petróleo, ao óleo diesel e ao etanol, segundo Ripoli (1991), para duas variedades estudadas.

Combustíveis	Unidades	SP 701143	NA 5679
Petróleo	(barril.Mg ⁻¹)	1,15	1,41
	(barril.ha ⁻¹)	31,49	30,30

Tabela 15. Equivalentes energéticos do palhiço, em relação ao petróleo, ao óleo diesel e ao etanol, segundo Ripoli (1991), para duas variedades estudadas.

Combustíveis	Unidades	SP 701143	NA 5679
Óleo diesel	(L.Mg ⁻¹)	205,37	251,61
	(L.ha ⁻¹)	5.631,24	5.417,16
Etanol	(L.Mg ⁻¹)	361,96	443,46
	(L.ha ⁻¹)	9.924,94	9.547,69

Molina Jr. (1991) estudou, na Usina Santa Bárbara, Estado de São Paulo, o enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar utilizando uma enfardadora de forragem marca SODE, modelo JS-90, de fabricação argentina, operando em canavial recém colhido e sem queima prévia. Obteve, entre outros, os seguintes resultados: massa (base úmida) de palhiço 33,84Mg.ha⁻¹; energia contida no palhiço 50.701,27Mcal.ha⁻¹; massa média de palhiço por fardo 164,93kg; densidade média dos fardos 189,64kg.m⁻³. Concluiu que a energia (combustível) consumida pelo conjunto trator enfardadora foi de apenas 1,16% da energia contida no palhiço enfardado, o que evidenciou o vantajoso balanço energético do processo.

Ripoli et al. (2000) apresentam um desenvolvimento matemático cujo resultado final é a Equação 3 que fornece uma estimativa do número de pessoas que podem ser atendidas por energia elétrica proveniente da biomassa do bagaço e palhiço de cana-de-açúcar e da palha de arroz.

$$Pd = (Pu \cdot \alpha \cdot Ac \cdot Qt \cdot Ef) / (1314 \cdot Cd) \quad (3)$$

onde:

Pd = estimativa do número de pessoas que podem se beneficiar com a energia elétrica oriunda do palhiço de cana-de-açúcar e palha de arroz.

Pu (MJ.Mg⁻¹) = Poder Calorífico Útil do palhiço a uma umidade "U".

α (%) = quantidade de palhiço que será utilizada para produção de energia elétrica.

A_c (ha.ano⁻¹) = área colhida, por ano, com intuito de produção de energia elétrica através do palhiço.

Q_t (Mg.ha⁻¹) = quantidade de palhiço no campo após a colheita da cana-de-açúcar.

E_f (%) = eficiência de conversão do processo.

C_d (kWh.d⁻¹) = média de consumo diário por pessoa de baixa renda, conforme padrão CPFL.

Concluíram que, cada um desses materiais, se utilizados para co-geração, podem atender, anualmente, para a região centro sul do Brasil, o seguinte número de habitantes de baixa renda conforme padrão CPFL, no que se refere a consumo de eletricidade; palhiço de cana: $9,85 \times 10^6$; bagaço de cana: $5,55 \times 10^6$ e a palha de arroz: $0,26 \times 10^6$.

Segundo Clemente (2001), as 308 usinas de açúcar do país poderiam acrescentar à matriz energética nacional, de imediato, megawatts suficientes para atender o consumo de cerca de 355 mil pessoas. O cálculo é considerado conservador. Leva em conta que, em média, 1,5MW estaria sendo desperdiçado na co-geração de energia a partir do bagaço de cana-de-açúcar. A estimativa é do especialista em co-geração e planejamento energético, da área de comercialização de energia da CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz), Barsanulfo Jacinto, citado pelo autor. A indústria sucroalcooleira atinge auto-suficiência em energia na safra, de maio a novembro, período que coincide com a estiagem e agravamento da crise do setor. Nesta fase sobra energia nas usinas e que poderia ser comprada pelas concessionárias.

De acordo com Castro (2001a), "o relógio de luz já gira ao contrário em pelo menos 12 usinas de açúcar e álcool do Estado de São Paulo. No fim do mês, são as concessionárias de energia que recebem a energia gerada do bagaço e do palhiço da cana. Elas pagam tarifas de

R\$0,055 a R\$0,10 por kW.h^{-1} , conforme a duração do contrato, e repassam aos consumidores residenciais por R\$0,12. Com apenas 25% do bagaço de um hectare de cana é possível iluminar 14 casas por mês, durante a safra, de maio a novembro, exatamente no período de estiagem, quando os reservatórios das hidrelétricas estão mais baixos”.

Segundo Castro (2001b), “se as usinas utilizarem o palhiço da cana cortada crua, o poder de geração de eletricidade dos canaviais será duas vezes maior. Essa realidade está se aproximando, rapidamente, com a redução gradativa da queimada da palha da cana para a colheita e para a mecanização do corte. Enquanto um hectare de cana, que rende em torno de 90 toneladas, dependendo da variedade nele plantada, em média, oferece 22 toneladas de bagaço, na mesma área fornece 25 toneladas de palhiço. Com 900 mil hectares de cana, na região de Ribeirão Preto, empregando o palhiço na geração, pode fornecer eletricidade para 6,36 milhões de residências (se todo o palhiço fosse utilizado exclusivamente na cogeração), com um consumo médio de cada residência avaliado pela CPFL em 250kW.h^{-1} por mês”.

Para Genoino (2001), “as vantagens da exploração da matriz energética da cana são inúmeras e incontestáveis. Em primeiro lugar, trata-se de uma matriz energética pouco poluente e renovável, substituidora da energia da matriz fóssil, uma das fontes mais poluentes do mundo e causadora do efeito estufa. Em segundo lugar, o Brasil tem a tecnologia mais desenvolvida de produção de álcool em relação a qualquer outro país. Com isso, o País, se apostar na exportação de álcool, açúcar e carros a álcool, pode se tornar competitivo no mercado internacional neste setor. Como decorrência, diminuiria sua dependência externa e melhoraria sua balança comercial. Mas esse processo não se implementará se não houver um direcionamento governamental, um planejamento de longo prazo e um pacto entre os setores de toda essa cadeia produtiva”.

De acordo com artigo publicado no Jornal de Piracicaba (2001), Ripoli reiterou que a biomassa da cana é a energia menos poluidora, um

recurso renovável e que gera empregos. “Tomando por base a região centro-sul do País e não considerando a energia do bagaço, ao recolhermos apenas 50% de palhiço de toda área de cana dessa região, podemos produzir energia para nove milhões de pessoas de consumo de baixa renda”. O bagaço na mesma região geraria energia para cinco milhões de pessoas nas mesmas circunstâncias. Outro exemplo utilizado é de que um hectare de canavial fornece, em palhiço, a mesma quantidade de energia que 22 barris de petróleo. “Sempre vai haver espaço para a energia de biomassa de cana, pois, a cada dia, a questão energética no País vai se agravar. A utilização do palhiço, porém, dependerá das condições econômicas. Ainda não existem meios de enfardamento e transporte eficientes para leva-lo do campo à usina, após a colheita da cana. Deixado no solo, esse palhiço tem se mostrado muito útil na proteção da terra e como agente inibidor do crescimento de plantas daninhas, reduzindo a necessidade de aplicação de herbicidas”.

Para Pereira (2001), não é por acaso que existem vários movimentos no País a favor de um Programa de Biomassa para incentivar a geração de energia. Estima-se que o potencial de co-geração a partir do bagaço de cana-de-açúcar possa chegar a 6.000MW, se considerado também a queima do palhiço. O autor comenta que falta uma diretriz clara do governo para estimular a co-geração por meio da biomassa. Das 140 usinas instaladas em São Paulo, apenas 15 produzem e vendem energia. As outras empresas geram eletricidade somente para o consumo próprio.

2.8 Agricultura de Precisão

Para Goering (1992), a agricultura convencional encontra-se embasada na pressuposição da homogeneidade das propriedades e características químicas, biológicas e físicas das culturas e dos solos onde são implantadas. Assim, para a análise química do solo, realizada para se

determinar as condições de fertilidade, várias amostragens são realizadas ao longo da área considerada, sendo que os resultados obtidos são considerados representativos, aceitando-se, assim, que as recomendações realizadas com base nas amostras são ideais para a área total representada. Dessa forma, como extensão do conceito da homogeneidade, todas as operações realizadas com base na agricultura convencional baseiam-se no conceito da uniformidade, sendo a aplicação de qualquer insumo realizada utilizando-se uma dosagem constante em toda a área. Quanto mais uniforme for a aplicação, melhor a “qualidade” da operação.

Goering (1992) e Goering & Han (1993) relataram que a Agricultura de Precisão tem sido cada vez mais utilizada, devido a motivações oriundas de razões ambientais e econômicas e também pela viabilização decorrente do desenvolvimento tecnológico desta prática. O gerenciamento da atividade produtiva agrícola passa a ter um novo enfoque.

Segundo Kincheloe (1994) os termos “práticas gerenciais otimizadas” e “máxima produtividade econômica” são conceitos extremamente importantes para a agricultura. A utilização de processos de gerenciamento pode contribuir para o aumento da produtividade agrícola das culturas. Por meio da utilização de técnicas otimizadas pode-se aproveitar, ao máximo, o potencial da área cultivada e da cultura implantada além de melhorar a utilização dos insumos, com reflexos positivos nos impactos ambientais decorrentes do uso excessivo destes produtos, contribuindo, sobremaneira, para a meta da auto-sustentabilidade. Sob esta visão o autor enfatiza fortemente a Agricultura de Precisão, definindo-a como uma “ferramenta” de grande perspectiva a ser utilizada pela agricultura em geral objetivando o incremento da eficiência da utilização de insumos, reduzindo os desperdícios e por consequência, minimizando os impactos ambientais e os custos de produção.

Para Kincheloe (1994) e Searcy (1995), existem vários termos diferenciados que vem sendo utilizados para explicitar a utilização de gerenciamento localizado das culturas. Os mais comumente encontrados

são: Tecnologia de Razões Variáveis (*Variable Rate Technology*); Gerenciamento Localizado de Culturas (*Site-Specific Crop Management*); Cultivo Auxiliado por Computadores (*Computer Aided Farming*) e Agricultura de Precisão (*Precision Agriculture*).

Clark & MacGukin (1996) dizem que a Agricultura de Precisão envolve sistemas automáticos compostos por microcontroladores, sensores e atuadores acoplados aos implementos/máquinas agrícolas existentes, conectados ao sistema de posicionamento global (GPS).

Para Colvin et al. (1996), com o advento de microcomputadores, sistemas de posicionamento e sensores para várias finalidades, o conceito de gerenciamento localizado renasceu ficando acessível ao agricultor.

Molin (2000) relata que os usuários e pesquisadores têm como uma verdade consagrada que o mapa de colheita é a informação mais completa para se visualizar a variabilidade espacial das culturas. O mapa de produtividade materializa a resposta da cultura e vem sendo utilizado nas produções de algodão, milho, soja, feno, amendoim, beterraba, batata, entre outras, tendo apresentado resultados animadores na geração de mapas de produtividade de pistache e outras frutas. Afirma que umas das culturas que ainda se recende da falta de um sistema apropriado para geração de mapas de produtividade é a da cana-de-açúcar. No entanto, é sabido que algumas empresas e instituições de pesquisa vêm trabalhando intensamente nesse sentido. Afirma que a correta geração e interpretação de dados da variabilidade espacial das lavouras é a etapa mais dispendiosa e mais importante do processo de implantação da Agricultura de Precisão e a qualidade das informações contidas nos mapas de produtividade é função direta de uma correta instalação e freqüente calibração dos equipamentos utilizados.

2.8.1 Conceitos básicos da Agricultura de Precisão

Um novo significado do gerenciamento da produção agrícola pode ser obtido através da Agricultura de Precisão, uma vez que está fundamentada na existência da variabilidade espacial dos fatores de produção. O campo agrícola passa a ser visto como sendo uma somatória de pequenas sub-áreas, as quais são tratadas individualmente e consideradas as menores unidades gerenciais, a fim de que a rentabilidade econômica de cada uma delas seja incrementada enquanto que a agricultura tradicional tem por base as aplicações de insumos, conforme afirmaram Han et al. (1994) e Searcy (1995).

Goering (1992), obteve comprovação do aumento da produtividade agrícola apenas com a melhor alocação na aplicação dos fertilizantes, sem que houvesse aumento da quantidade utilizada. Afirma que o principal objetivo da Agricultura de Precisão é aplicar localizadamente, sementes, fertilizantes e outros insumos, em função de variáveis de cada célula, com o intuito de se fazer o melhor uso das potencialidades do solo.

Chancellor & Goronea (1994) trabalharam com parâmetros de umidade, infestação de plantas daninhas e teores de nitrogênio, para verificar o impacto e as vantagens da utilização das técnicas de gerenciamento e aplicação localizada de insumos. Os resultados das análises de cada uma das amostras foram geo-estatisticamente analisados, com o uso de um software para determinação de sua variabilidade espacial.

Balastreire (1998) define a Agricultura de Precisão como um conjunto de técnicas que permite o gerenciamento localizado de culturas.

Atualmente, a Agricultura de Precisão é vista como um sistema integrado totalmente dependente de sistemas eletrônicos, mecânicos e computacionais, destinados ao levantamento em campo e em condições dinâmicas, de um número bastante elevado de dados e informações. O uso intenso destes elevados números de dados e informações exige a aplicação de sistemas de aquisição e análise de dados, sistemas automáticos

destinados à realização de operações de campo. A utilização de um sistema de navegação, capaz de fornecer o posicionamento geográfico de pessoas e de equipamentos no campo, é fundamental para o sucesso da Agricultura de Precisão (Searcy, 1995).

2.8.1.1 Sistemas de posicionamento

Segundo Blitzkow (1995) o Sistema de Posicionamento Global (GPS), foi desenvolvido em 1973 pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, e se originou da fusão de dois outros projetos da Marinha e da Força Aérea deste mesmo país e que recebeu o nome de *Navigation Sattelite with Time and Ranging (NAVSTAR)*, ou *Global Positioning System (GPS)*, tornando-se conhecido pela sigla *NAVSTAR/GPS*.

Goering & Han (1993) afirmaram que um dos problemas para a execução das atividades relacionadas com a Agricultura de Precisão referia-se às limitações dos sistemas terrestres de navegação. Um sistema de navegação via satélite denominado “Sistema de Posicionamento Global” (*Global Positioning System – GPS*), representava a mais promissora solução para o problema da navegação, à época.

Segundo Stafford & Ambler (1994), a execução de algumas operações de campo, a exemplo de mapeamento da produtividade agrícola, e operações de aplicação localizada de insumos, entre outras, somente podem ser realizadas com sucesso se contarem com um sistema adequado de posicionamento. Afirmam que a posição de um determinado ponto pode ser calculada a partir das distâncias e ângulos existentes entre este ponto e outros dois ou mais pontos cujas coordenadas sejam conhecidas.

Krügner et al. (1994) e Han et al. (1995), relataram que um sistema GPS seria formado, em sua versão final, por uma constelação de 24 satélites, dos quais 21 ativos e 3 de reserva, sendo que cada satélite possuiria uma órbita própria e conhecida a 20.000 quilômetros de altitude, e

emitiria uma composição de sinais que poderiam ser captados, em terra, por receptores especiais de microondas, denominados receptores de GPS, os quais processariam os sinais para o cálculo de sua posição. No entanto, por motivos de segurança, seria introduzido nos sinais dos satélites um sinal de interferência adicionando um erro na posição calculada pelo receptor.

Han et al. (1995) também afirmaram que para se aumentar a acurácia do sistema, poderia ser utilizada uma técnica de correção das posições, denominada correção diferencial. Assim, para o correto funcionamento do sistema GPS diferencial (*Differential Global Positioning System – DGPS*), um segundo receptor, denominado estação base ou receptor, deveria ser instalado em um ponto fixo sob coordenadas conhecidas. Esta correção de sinais poderia ser realizada durante a captação dos mesmos, ou pós-captação, daí surgindo a denominação correção pós-processada.

O uso do DGPS (*Differential Global Positioning System*) como sistema de posicionamento é o mais comumente utilizado, atualmente. Este sistema tem por objetivo informar o posicionamento do receptor GPS em qualquer ponto do planeta e em qualquer horário do dia. A acurácia do sistema depende de vários fatores, dentre eles: configuração da constelação GPS no momento do posicionamento; frequência do sinal GPS (*Global Positioning System*) utilizado para o posicionamento (L1, L2 ou C/A); configuração do receptor GPS, como taxa de aquisição, máscara de elevação, etc.; interferência do multi-caminhamento no sinal GPS; método utilizado para a correção diferencial (satélite, rádio, pós-processado), etc. (Baio et al., 1998).

Para Stafford (1996a), o êxito da implantação de um programa de Agricultura de Precisão está intimamente dependente do êxito na implantação e condução de operações de sensoriamento remoto e monitoração, visto que esta prática depende, diretamente, da disponibilidade da significativa quantidade de dados e informações que devem ser apresentadas em formas gráficas, através de mapas

georreferenciados. Afirma ainda, que diferentes operações ou atividades exigem diferentes acurácias dos sistemas de GPS.

Pode-se concluir que a Agricultura de Precisão não é uma atividade única, mas sim um conjunto de operações. Stafford (1996b), afirma que a Agricultura de Precisão compõe-se de quatro subsistemas essenciais: sensoriamento ou monitoramento do solo e da cultura; sistema de posicionamento geográfico em campo; mapeamento de campo e sistemas automáticos e de precisão para aplicação de insumos com controle automático. Para ele a Agricultura de Precisão é formada por três etapas básicas: aquisição e análise de dados; interpretação dos resultados e aplicação localizada de insumos.

2.8.1.2 Mapeamento da produtividade

O mapeamento da produtividade é considerado uma das etapas mais importantes da Agricultura de Precisão, pois o processo de gerenciamento será baseado na sua interpretação.

Wagner & Schrock (1989) identificaram os sistemas de medição da produtividade, de posicionamento e os de aquisição de dados como essenciais para o mapeamento da produtividade.

Han et al. (1995), afirmam que os mapas de produtividade são um importante componente da Agricultura de Precisão, pois identificam e quantificam a variabilidade espacial da produtividade das culturas, podendo ser utilizados para identificar problemas localizados, além de auxiliar os processos de gerenciamento localizado.

Segundo Balastreire (1998), o mapeamento da produtividade de uma cultura é considerado uma das fases que apresenta a maior facilidade de execução devido ao grande número de pesquisas já realizadas. A produtividade de uma cultura pode ser estimada pela pesagem direta do

produto colhido e pela medição da área colhida, fornecendo uma estimativa de produtividade.

O setor canavieiro se mostra com grande potencial de crescimento para o desenvolvimento de técnicas, instrumentos e metodologias para a Agricultura de Precisão, como mostraram Saraiva et al. (1999). Comentaram que se encontra em desenvolvimento um sistema para a pesagem de feixes de cana inteira, montado no braço de carregadoras.

Cugnasca et al. (2000) realizaram um trabalho de pesagem dinâmica de cana-de-açúcar para a elaboração de mapas de colheita, na Usina São José em Macatuba e nas dependências do Centro de Tecnologia Copersucar (CTC), em Piracicaba, ambas no Estado de São Paulo. Este estudo apresentou um sistema experimental desenvolvido com a finalidade de equipar as carregadoras com equipamentos apropriados para fornecer informações necessárias ao carregamento ideal dos caminhões e, com a incorporação de outros recursos adicionais, como um sistema de posicionamento preciso e dispositivo de armazenamento de dados para geração de mapas de produtividade. O sistema permite a pesagem dinâmica da cana inteira, durante o momento do seu carregamento, baseando-se em dados de uma célula de carga e de sensores de ângulo. Como resultado inicial obtido foi observado que houve uma boa correlação entre os valores medidos (na carregadora) e os obtidos por modelo matemático, durante um intervalo de tempo de aquisição razoável, evidenciando a adequação do modelo proposto. Concluíram que o sistema proposto para a correção dinâmica do peso de colmos de cana-de-açúcar em carregadoras mostrou um bom potencial.

Apesar de toda a importância econômica da cana-de-açúcar, a Agricultura de Precisão ainda não foi adotada, em escala comercial, para esta cultura. Sendo assim, Pierossi & Neves⁴, citado por Balastreire (2000),

---

⁴PIEROSI, M.A.; NEVES, J.L.M. Mapeamento de produtividade da cana-de-açúcar. In: BALASTREIRE, L.A. O estado da arte da Agricultura de Precisão no Brasil. Piracicaba, 2000. p.124-128.

em área experimental da Usina São Martinho, localizada no interior do Estado de São Paulo, optaram por monitorar a produtividade através da pesagem da cana picada, proveniente de uma colhedora Austoft A7700, equipada com GPS diferencial em uma caçamba instrumentada, montada sobre células de carga. Os dados obtidos geraram mapas de produtividade com valores oscilando de 20 a 140Mg.ha⁻¹.

Cox et al. (1999) estudaram a aplicação da Agricultura de Precisão na cana-de-açúcar, na região de Queensland, Austrália, onde, a primeira tarefa foi levantar o mapa da cultura. Em seguida, foram tomadas amostras de solo; as quais ao serem associadas à produtividade da cultura, e as concentrações de sódio e magnésio no solo obtiveram uma correlação negativa com a produtividade do canavial. Os resultados dos mapas de produtividade apresentaram variações significativas entre 70 e 190Mg.ha⁻¹. Concluíram, baseados nos dados obtidos, que é viável a aplicação da Agricultura de Precisão na cultura da cana-de-açúcar para os objetivos do estudo.

Segundo Pelletier & Uphadyaya (1999), o monitor de colheita é um dos principais elementos em um sistema de Agricultura de Precisão, pois ajuda a quantificar a variabilidade da produtividade de um campo e levantar questões pertinentes às práticas de manejo desta área. Os monitores de colheita estão comercialmente disponíveis para grãos, algodão e batata. Entre muitas culturas, monitores confiáveis ainda não estão disponíveis, como é o caso da colheita de tomate para fins de processamento industrial. Estes autores em área de estudo da *University of California*, em Davis, EUA, procuraram desenvolver um monitor de colheita para a lavoura de tomate e gerar seus respectivos mapas de produtividade para posterior análise. Utilizaram um sistema contínuo de fluxo de massa para a pesagem do produto, através de células de carga instaladas na esteira de descarregamento. Os resultados obtidos mostraram que houve uma significativa variabilidade espacial da produtividade do tomate na área

estudada. Concluíram que o monitor desenvolvido atingiu as expectativas esperadas e que o método de calibração utilizado foi o adequado.

Stafford et al. (1999) estudaram, em diversas fazendas na Inglaterra, a utilização de mapas de produtividade de diversas culturas para delimitação de áreas em potenciais unidades de manejo. Por mais de três safras foram coletados dados de monitores de colheita para elaboração destes mapas. Analisando-os, observaram não apenas uma grande variabilidade de produtividade numa mesma safra, como também, uma falta de consistência no padrão desta variabilidade de uma safra para outra. Para interpretar estas seqüências de mapas foi aplicada uma técnica de reconhecimento padrão com o intuito de identificar-se sub-regiões do campo que correspondem a um número limitado de padrões distintos de safra em safra. Entre suas conclusões, pode-se ressaltar a constante necessidade em desenvolver mais trabalhos no que se diz respeito à validação estatística das classes definidas como padrões nesse estudo.

Bross et al. (1999) desenvolveram em Leuven, na Bélgica, um sensor de fluxo de massa, baseado em dispositivos curvos, para aplicação em colhedoras de beterraba açucareira. Os dados georreferenciados foram convertidos em um mapa de produtividade da cultura e comparados com os mapas obtidos da cultura de feno de inverno que foi instalada na safra anterior. A correlação obtida foi baixa ($r=0,29\%$) quando o comparou todos os pontos dos mapas, pelo método proposto por Swindell⁵ citado pelos autores. Concluíram que, apenas em estudos futuros, e com a ajuda dos proprietários das fazendas, para obter explicações de como ocorreram as variações encontradas, poderá ser comprovada a consistência deste sensor. A variação espacial da produtividade de beterraba açucareira teve como causa o declínio da estrutura de solo, a incidência de sombras de árvores e a presença de infestação por *Rhizoctonia*.

---

⁵ SWINDELL, J.E.G. Mapping the spatial variability in the yield potencial of arable land through GIS analisys of sequential yield maps. Precision Agriculture. 1997, 1:345-350.

Durrence et al. (1999) ao longo da safra de 1997, em Calhoun, estado da Geórgia, EUA, utilizaram uma colhedora de amendoim de marca KMC, de quatro linhas, modelo 3355, equipada com sistema de monitoramento de colheita através de células de carga, em duas áreas distintas, abrangendo 37,6ha, para elaboração de mapas de produtividade. Compararam as leituras obtidas pelo monitor de colheita com dados obtidos por um vagão-balança. A média de produtividade obtida em uma dessas áreas foi próxima a $3,8\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. A percentagem média da diferença entre os dois métodos utilizados foi de 3,1%. A máxima diferença foi de 8,9%, a qual foi atribuída devido à interferência nos sinais de radio do monitor. Os mapas obtidos mostraram que a produtividade está relacionada diretamente com a umidade do solo, tipo de solo e incidência de doenças. Concluíram que o sistema de monitoramento de colheita para amendoim testado mostrou-se significativamente melhorado quando comparado às versões anteriormente estudadas. Devido ao erro total do sistema ser inferior a 1%, o monitor pôde ser comparado com aqueles já existentes comercialmente para grãos. O monitor, contudo, não está habilitado a medir a umidade e quantidade de matéria estranha no produto recolhido.

Balastreire et al. (1997) relatam o desenvolvimento, construção e utilização de um sistema automático de pesagem de milho, utilizado para o mapeamento da produtividade, constituído de um sub-tanque graneleiro de uma colhedora combinada apoiado sobre células de carga, montado no interior do tanque graneleiro de uma colhedora combinada com plataforma de quatro linhas. Um sistema de posicionamento global móvel foi utilizado na colhedora para o posicionamento georreferenciado desta, sendo a correção diferencial realizada pós-processamento. A produtividade média obtida da área foi de $3,76\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, sendo que 9,75% da área apresentou produtividade inferior a $2,41\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, e somente, 0,54% da área apresentou produtividade superior a $5,94\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Os autores apontam como principal vantagem da utilização deste sistema automático desenvolvido, a possibilidade de obtenção direta do peso do material colhido, sem que haja

a necessidade de utilização de sensores para a determinação do material colhido e, ainda, que este mesmo princípio de medição pode ser adequado a outras culturas, cujas características não permitam a utilização de sensores de fluxo de massa.

Sadler et al. (1999) estudaram o mapeamento da produtividade de trigo e milho em duas fazendas no estado da Carolina do Norte (EUA). Foram utilizadas neste estudo duas colhedoras com monitores de colheita e sistemas de posicionamento global para georreferenciamento dos dados instalados nas mesmas. Como resultado deste trabalho, os mapas apresentaram uma grande variação na produtividade para ambas as culturas em estudo. Sendo assim, os autores continuam a buscar parâmetros que correlacionem a variabilidade espacial das culturas de milho e de trigo, comparando-os com os dados de safras anteriores. Concluíram, entre outras, que os dados obtidos servirão para dar base ao desenvolvimento de um sistema de recomendação localizada para fertilizantes.

Pagnano et al. (2001) fizeram o mapeamento da produtividade de alguns talhões de cana-de-açúcar da Usina Santa Adélia, município de Jaboticabal, Estado de São Paulo. A pesagem dos rebolos colhidos foi feita com a utilização de um dispositivo projetado e construído por estes autores e fixado no final do elevador da colhedora, onde a inclinação é menor. Um sensor magnético foi instalado na lateral da esteira para determinação da velocidade das taliscas. A quantidade de cana colhida no primeiro talhão, pesadas na usina, foi de 31,2Mg. Na pesagem feita pelos autores pelo sistema automático de medição este valor foi de 27,3Mg, ou seja, um erro de 12,5%. Dispondo-se dos resultados obtidos, o sistema utilizado tem sensibilidade para registrar as diferenças de produtividade da cana-de-açúcar que está sendo colhida, apesar dos erros encontrados durante os ensaios.

2.8.1.3 Aplicação localizada de insumos

Tanto Stafford & Benlloch (1977) como Johnson et al. (1997) descrevem três possibilidades para a realização de aplicação localizada de herbicidas. Uma delas é que a aplicação pode ser realizada pela detecção instantânea das plantas daninhas por uso de sensores e câmeras digitais. Outra é baseada no conceito do mapeamento de plantas daninhas e por fim, a terceira baseia-se na variabilidade espacial de alguns fatores edáficos.

Balastreire (1993) descreve um sistema desenvolvido para aplicação localizada de nitrogênio na semeadura de milho, em estudo desenvolvido na *Texas A&M University*, EUA. O posicionamento do conjunto na área de estudo foi efetuado por um sistema de triangulação utilizando-se de emissores e receptores de microondas.

No Estado de Missouri, EUA, Stevens et al. (1999) estudaram a variabilidade econômica da aplicação localizada de calcário na cultura algodoeira. Concluíram que a produtividade foi mais elevada utilizando-se da aplicação variável do insumo em relação à aplicação tradicional e uniforme, promovendo um aumento no desempenho econômico por unidade de área de cultura implantada.

Segundo Goering (1992) o gerenciamento localizado de culturas teve seu início em 1929. Afirmam, ainda, que os requisitos de aplicação passaram por uma grande variação para uma mesma área analisada em suas necessidades de calcário. Dizem ter sido oportuna a realização de testes mais sistemáticos e detalhados no campo a fim de que o insumo pudesse ser aplicado ao terreno de acordo com a necessidade do solo.

Goering & Han (1993) em se tratando do mapeamento de atributos responsáveis pela geração de mapas de produtividade, consideram o princípio de que se levando em conta a natural variabilidade dos fatores de produção, é factível aplicar somente as quantidades necessárias em cada ponto, demonstrando que as técnicas de aplicação localizada se apresentam bastantes importantes para se atingir uma agricultura rentável.

Por sua vez, Balastreire (1994), sugeriu que a atividade de gerenciamento localizado fosse denominada de Aplicação Localizada de Insumos (ALI), visto que os insumos devem ser aplicados de forma localizada, em função dos requisitos técnicos da cultura a ser implantada, e das características de fertilidade das parcelas. Afirma, ainda, que esse conceito pode ser ampliado para o monitoramento de outras operações e atividades desenvolvidas em áreas agrícolas, tais como o monitoramento das operações de semeadura.

Para Nordmeyer et al. (1997), para as gerações dos mapas de plantas daninhas são necessárias informações oriundas dos mapas de prescrição, levantadas por meio de caminhamento na área em questão, em volta das áreas afetadas, de fotografias aéreas, de dados de anos anteriores e de técnicas de sensoriamento remoto, entre outras.

Segundo Qiu et al. (1998), os mapas de fertilidade do solo podem ser utilizados para a elaboração de mapas de prescrição de herbicidas com base na variabilidade espacial dos atributos mapeados. Os autores realizaram estudos envolvendo a aplicação localizada de herbicidas a razões variáveis de acordo com a variabilidade espacial de atributos do solo.

A variabilidade espacial de propriedades do solo e a distribuição espacial de plantas daninhas na região do delta do Mississipi, EUA foram estudadas por Gaston et al. (2001), por meio de geo-estatística. O carbono orgânico, a atividade microbiológica, o pH e a textura do solo foram analisados em uma área de 50ha, por meio de coleta de amostras. Com exceção da atividade microbiológica do solo, as demais variáveis estudadas demonstraram que a variabilidade espacial foi alta.

Para Balastreire & Baio (2001), a metodologia para o mapeamento de plantas daninhas deve ser simples e rápido, facilitando sua execução, devido ao dinamismo das suas populações. Afirmam existir um período ideal para realizar tal operação, onde se deve considerar o momento da ocorrência do controle das ervas daninhas e, devido ao componente

econômico, deve ser uma metodologia que possa ser utilizada em grandes áreas.

Segundo Clay et al. (1999) algumas outras informações sobre as plantas daninhas são úteis para a posterior elaboração dos mapas de prescrição, as quais devem ser coletadas durante a atividade de mapeamento, tais como, verificar o estágio de desenvolvimento da planta daninha, as espécies presentes e a densidade populacional das mesmas.

2.8.1.4 Sistema de Informações Geográficas

Yule et al. (1996) dizem que a Agricultura de Precisão pode ser utilizada para racionalizar a aplicação de insumos, reduzindo-se os impactos ambientais bem como os custos de produção. Para tanto, se faz necessário identificar, localizadamente, as reais necessidades da cultura. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas computacionais cujas características permitem o armazenamento, gerenciamento, análise e visualização de informações geograficamente referenciadas, e auxiliam os agricultores na identificação das células cujas capacidades produtivas sejam semelhantes. Esclarecem, ainda, que para a implantação da Agricultura de Precisão, devem ser definidos determinados objetivos primordiais, entre os quais destacam-se: identificação das áreas homogêneas no local de produção com base nas características do solo; identificação da variabilidade sazonal das culturas; desenvolvimento de programas de gerenciamento localizado a fim de otimizar a utilização de insumos, com base na predição do potencial produtivo da cultura. É fundamental, para o sucesso da Agricultura de Precisão, a elaboração dos mapas de produtividade. As técnicas de Agricultura de Precisão passíveis de adoção na cultura da cana-de-açúcar são: o mapeamento de solos, cultura e colheita e a aplicação localizada de insumos, apresentando diversos benefícios como, por exemplo, o ganho de produtividade agrícola da cultura.

Para Johannsen et al. (1999) o Sensoriamento Remoto, é uma tecnologia que vem ganhando popularidade e para a Agricultura de Precisão proporcionará uma maior quantidade de detalhes de uma desejada área, com maior e mais precisa quantidade de cores ou delineamentos das variações de vegetação e ainda, sendo passível de repetidas fotografias da mesma área a cada dois a sete dias, fornecendo um acompanhamento mais adequado do manejo da área. Dessa forma, o agricultor pode detectar plantas danificadas ou danos devido a algum tipo de estresse. A tecnologia de Sensoriamento Remoto irá aumentar as resoluções temporal, espacial e espectral quando utilizada em conjunto com softwares do tipo Sistema de Informações Geográficas (SIG), proporcionando um melhor entendimento do porque de certas variações de produtividade. O sucesso desta técnica será avaliado pelo tipo de informação que será adquirida pelo agricultor, pela rapidez que esta informação levará para atingí-lo e pelo custo cobrado por este tipo de informação.

Tozi (2000) estudando os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com aplicação na agricultura definiu estes sistemas como um conjunto de programas, de equipamentos, de metodologias, de dados e de usuários, perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informações derivadas de sua aplicação, os quais acabam interferindo de maneira positiva na administração do ciclo fenológico da cultura. Diz que os SIG's são ferramentas que fornecem todos os subsídios para a evolução natural do processo administrativo rural. Por fim, apresenta as principais aplicações dos SIG's na agricultura:

- produtividade e qualidade;
- gerenciamento de recursos naturais;
- análise e monitoramento ambiental;
- propriedades físico-químicas;
- sistemas de drenagem e irrigação;
- transporte e apoio logístico;

- análises e prevenções climáticas;
- reservas fixas legais;
- exploração de mineração;
- divisas e cadastros do INCRA e,
- gerenciamento de infra-estrutura.

2.8.1.5. Geo-estatística

Para Vieira (2000) a geo-estatística aplicada à Agricultura de Precisão tem por finalidade projetar estimativas de valores de locais não amostrados a partir de alguns valores conhecidos na população (Krigagem); identificar, na aparente desordem entre as amostras, uma medida da correlação espacial e permitir o estudo de padrões de amostragens mais adequados, além de identificar inter-relações de propriedades no espaço (análises de correlação entre atributos).

Segundo Lamparelli et al. (2001), a geo-estatística é um conjunto de técnicas que estima valores regionalizados e espacializados de atributos ou características de uma determinada área a ser estudada. A ferramenta básica desta técnica é a Krigagem, cujo produto é um mapa da área segundo um atributo, com estimativas não viciadas e de mínima variância. O autor considera a geo-estatística como bastante apropriada e, muitas vezes, fundamental para o estudo da variabilidade de determinada característica dentro de uma área específica. Para que essas técnicas sejam válidas, elas necessitam ser devidamente aplicadas, pois é necessário que o software utilizado permita a definição de parâmetros, os quais são cuidadosamente encontrados durante uma modelagem da estrutura da variabilidade existente. Essa modelagem é bastante subjetiva e, às vezes, pode-se tornar difícil, à medida que os dados proporcionam mudanças drásticas no modelo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Condições de campo

A área do estudo foi um canavial sem queima prévia, colhido por sistema mecanizado (Figura 5) e segundo informações oferecidas pela Usina Costa Pinto, localizada em Piracicaba, Estado de São Paulo, a área é codificada como talhão 83, zona 11, setor IV, código 5130 e sua localização geográfica é: Latitude 22°40'30"S, Longitude 47°36'38"W e uma altitude de 605 m. A variedade de cana-de-açúcar existente nesta área era a RB82 5336, em seu terceiro corte, com 11 meses de idade e com uma produtividade de colmos de 78Mg.ha⁻¹. O espaçamento de plantio foi de 1,40m.

Figura 5 – Operação de colheita de cana-de-açúcar, sem queima prévia.

3.1.2 Máquinas e veículos

As máquinas e veículos utilizados na área experimental foram:

- ancinho enleirador marca CNH^{®6}, modelo 256 (Figura 6);

Figura 6 – Operação de enleiramento do palhço, anterior ao enfardamento.

---

⁶ As marcas comerciais citadas neste trabalho não representam preferência ou indicação do autor.

- enfardadoras marca CNH®, modelos BB940 (Figura 7) e 658 (Figura 8);

Figura 7 – Operação de enfardamento. A) Situação do fardo de palhiço momentos antes de deixar a máquina.

Figura 8 – Enfardadora para fardos cilíndricos CNH modelo 658.

- trator New Holland®, modelo TM120, de 120cv no motor a 2.200rpm;
- carregadora de cana-de-açúcar convencional Motocana®, montada sobre um trator;
- caminhões de transporte tipo carga seca.

3.1.3 Instrumentação e programas computacionais

A instrumentação e os programas computacionais utilizados neste estudo são listados abaixo:

- célula de carga Kiowa® (Figura 9) de capacidade máxima de 10^3 N e capacidade de leitura de 10^{-1} N ;

Figura 9 – Célula de carga Kyowa utilizada nas determinações de campo.

- Mostrador digital Micro-P e bateria selada 12V (7Ah) (Figura 10);

Figura 10 – Mostrador digital Micro-P e bateria utilizados no campo.

- GPS Trimble Pro XR topográfico de 10 canais, associado a um coletor de dados (Figura 11);

Figura 11 – GPS Trimble Pro XR utilizado para obtenção para georreferenciamento.

- computadores PC;
- softwares: Excel®, Pfinder®, GS+® e SSToolBox®;
- Antena e receptores de GPS Trimble PFCBS de 12 canais (Figura 12);

Figura 12 – A) Antena base localizada na ESALQ/USP. B) Detalhe dos receptores DGPS PFCBS.

3.1.4 Determinação da umidade dos fardos

- sonda padrão, marca CODISTIL®, do laboratório de análise tecnológica da Usina Costa Pinto;
- estufa, marca FANEM®;
- balança semi-analítica, marca METLER®, modelo P11, capacidade de carga de 10N e capacidade de leitura de 10^{-4} N.

3.1.5 Outros materiais.

Foram utilizados, também, cordas de nylon, ganchos metálicos, prancheta, sacos plásticos, sacos de papel, marcadores, etiquetas e fiações.

3.2 Métodos

3.2.1 Atividades de campo

O palhiço resultante da colheita mecanizada da cana crua foi enleirado com o ancinho enleirador de maneira que o número de passadas fosse de uma a três, para se obter a leira de palhiço desejada.

Após as leiras efetuadas, o material foi enfardado com as duas enfardadoras disponíveis, uma de fardos prismáticos e outra, de fardos cilíndricos.

Desta forma, classificou-se como sendo as determinações a serem feitas, cada uma das máquinas e a forma de enleiramento, conforme o número de passadas do ancinho enleirador, como causa da variação. A associação destes dois parâmetros de análise encontra-se na Tabela 16. As letras referem-se ao tipo de fardo obtido: P = Prismático e C = Cilíndrico. Nas Figuras 13 e 14 podem ser observados os fardos prismático e cilíndrico.

Tabela 16. Determinações executados durante o experimento.

Determinações	Número de passadas do enleirador	Tipo de fardos
1P	1	Prismático
2P	2	Prismático
3P	3	Prismático
1C	1	Cilíndrico
2C	2	Cilíndrico

Figura 13 – Fardo prismático de palhiço da cana sendo liberado.

Figura 14 – Fardo cilíndrico de palhiço da cana-de-açúcar.

A metodologia adotada considerou a ação de enleiramento e subsequente enfardamento após 10 dias da operação de colheita mecanizada em cana-de-açúcar sem queima prévia. Após o enfardamento de parte do material contido na área de estudo, efetuou-se o georreferenciamento de cada um dos fardos obtidos por meio de um

receptor móvel de GPS (Figura 15). A seguir, com o auxílio de uma carregadora convencional de cana efetuou-se a pesagem individual dos mesmos, utilizando-se da célula de carga acoplada à garra da carregadora e cordas de nylon presas a ganchos metálicos (Figura 16). Utilizando-se do método do caminhamento, já consagrado por diversos autores para obtenção da área de interesse e munido de um receptor móvel e o coletor do GPS, levantou-se o contorno da área de estudo (Figura 17).

A unidade de GPS, em todos os fardos amostrados sempre foi posicionada de maneira que ficasse centralizada nos mesmos, em relação ao comprimento dos fardos.

Figura 15 – Georreferenciamento do fardo com utilização de GPS. A) *Datalogger* do GPS; B) Antena receptora do GPS.

Figura 16 – Pesagem do fardo. A) Garra da carregadora; B) Célula de carga; C) *Display* digital Micro-P da célula de carga.

Figura 17 – Levantamento da área por caminhamento.

Para se obter a quantidade de palhiço recolhida, em Mg.ha^{-1} , com base em cada um dos fardos, procedeu-se da seguinte maneira: com a utilização de uma trena, foram obtidas as medidas de distância, de centro a centro entre os fardos, de acordo com o trajeto realizado pelos conjuntos trator-enfardadora.

A largura efetiva de palhiço *in natura* utilizada para compor a leira de cada uma das determinações foi obtida com o uso de uma trena. Mediu-se a leira na sua extensão, em dez pontos diferentes, de extremidade a extremidade, para posterior extração da média dessas medições e determinação de sua largura efetiva, chegando-se à área de palhiço correspondente a um fardo. Utilizou-se desta metodologia para as três diferentes passadas do ancinho enleirador (uma, duas e três), responsável pela formação das leiras.

Esta quantidade pode ser obtida através da Equação 4.

$$Q_{pr} = (M_f / A_f) \times 10 \quad (4)$$

onde:

$Q_{pr} (\text{Mg.ha}^{-1})$ = quantidade de palhiço recolhida.

$M_f (\text{kg})$ = massa do fardo elaborado pela máquina.

$A_f (\text{m}^2)$ = área correspondente ao fardo no talhão.

10 = fator de conversão.

A Figuras 18 e 19 exemplificam a retirada de amostras através da sonda do laboratório de pagamento de cana-de-açúcar pelo teor de sacarose da usina, para posteriores análises do material amostrado.

Figura 18 – Tomada de amostra, através da sonda (A), para fins de determinação da umidade do palhiço enfardado.

Figura 19 – Retirada da amostra da sonda, em saco plástico, fechado hermeticamente, para fins de determinação de umidade do palhiço enfardado.

3.2.2 Determinações laboratoriais

3.2.2.1 Determinação da umidade do palhiço enfardado

Foram tomados, de forma casualizada, na área de ensaios, 20 fardos para a determinação da umidade do palhiço enfardado. Levados ao laboratório de análises tecnológicas da Usina Costa Pinto, foram coletadas duas amostras por fardo, através da sonda (vide Figura 18). Cada uma das amostras foi acondicionada hermeticamente em sacos plásticos, devidamente identificados e transportados para o laboratório do setor de Mecânica e Máquinas Agrícolas da ESALQ – USP.

De cada uma destas amostras, tomou-se uma sub-amostra, embalada em saco de papel perfurado, sendo determinado seu peso descontando-se o peso da embalagem. Em seguida, o material foi colocado em estufa, por 48 horas, à temperatura de 65°C. Após esse período o material foi novamente pesado para obtenção do peso de palhiço seco, a fim de obter a umidade do mesmo quando enfardado. Os valores ponderais obtidos foram aplicados na Equação 5 que fornece a umidade, com base em peso úmido. Os resultados obtidos encontram-se no Quadro 1, do apêndice.

$$U\% = [(P_{up} - P_{sp}) / P_{up}] \times 100 \quad (5)$$

onde:

U (%) = umidade do palhiço enfardado.

P_{up} (kg) = massa úmida do palhiço enfardado.

P_{sp} (kg) = massa seca do palhiço enfardado.

3.2.2.2 Elaboração dos mapas da quantidade de palhiço enfardado e umidade

A metodologia consistiu na utilização de diversos softwares para obtenção, tratamento e disponibilização dos dados. O primeiro utilizado foi o programa Pfinder® para descarregar os dados do coletor do GPS. A seguir, procedeu-se a correção dos dados de posicionamento utilizando-se os dados fornecidos pela estação base, para eliminação dos erros. Em seguida, foi realizada a conversão dos dados para a planilha do Excel®. Com este software importou-se os dados para transformação das coordenadas dos pontos obtidos de graus, minutos e segundos para décimos de graus. Tais dados convertidos foram gravados em um arquivo formatado para, finalmente, serem processados por um software específico de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A análise geo-estatística foi realizada pelo programa GS+. De posse dos valores da variável quantidade de palhiço recolhido, na forma de fardos, obteve-se o semivariograma para a mesma.

O modelo do semivariograma foi selecionado por meio de alguns fatores. O valor do coeficiente de correlação, obtido pela validação cruzada (valores lidos versus valores estimados), foi o fator que mais influenciou na escolha desse modelo (Vieira, 1995). Outro fator foi o menor efeito pepita, que ilustra o quanto da variabilidade espacial não está sendo descrito pelo modelo.

Também foi calculada a relação entre o efeito pepita e o patamar ($Co/(Co+C)$) para o modelo. Esta relação mede o grau da dependência espacial do atributo amostrado (Cambardella et al., 1994). O grau de dependência espacial pode ser classificado como: forte, quando o semivariograma apresentar efeito pepita menor ou igual a 25% do patamar; moderado, quando esta relação estiver entre 25 e 75%; fraco, quando o efeito pepita for superior a 75% do patamar. Assim, quanto menor esta relação, menor a dependência espacial dos dados.

O software para SIG utilizado foi o SSToolBox® 3.2.0.b para a importação e gerenciamento dos dados, com o qual elaborou-se os mapas desejados. Utilizando-se, ainda, de ferramentas existentes neste software foram corrigidos os posicionamentos dos fardos obtidos, para o centro de suas células de origem, para obtenção da produtividade de palhiço de cada célula considerada. As interpolações realizadas por este software utilizaram o método da Krigagem.

3.2.2.3 Elaboração dos mapas de equivalente energético do palhiço

Para se estimar a quantidade de energia disponível na área de estudo tomou-se como referência o valor, obtido por Ripoli (1991), de $1,28\text{EBP.Mg}^{-1}$ de palhiço, em base seca, o qual foi, portanto, multiplicado pelas produtividades agrícolas de palhiço recolhido, na forma de fardos, obtendo-se, então, o mapa de equivalente energético do palhiço, o qual é semelhante ao do palhiço recolhido.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi encontrado, na bibliografia disponível e consultada, nenhum trabalho apresentando a aplicação de GPS para obtenção de mapas de produtividade, de umidade, de equivalente energético ou qualquer outro parâmetro relativo ao palhiço de cana-de-açúcar.

4.1 Mapas do palhiço enfardado

Os resultados das pesagens dos fardos, convertidos em massa em cada um dos tratamentos efetuados, são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Massa dos fardos, em quilogramas, nos diferentes tratamentos realizados.

Fardos / Trat.	1P	1C	2P	2C	3P
1	358,70	425,00	441,20	472,30	354,80
2	334,50	447,00	414,20	456,10	358,20
3	302,70	454,80	328,50	440,60	340,20
4	301,90	472,20	317,50	423,40	332,10
5	324,50		308,50	433,60	350,70
6	322,20		306,30	456,90	340,20
7			309,40	499,50	362,50
8			304,50		348,30
9			332,80		360,30

Tabela 17. Massa dos fardos, em quilogramas, nos diferentes tratamentos realizados.

Fardos / Trat.	1P	1C	2P	2C	3P
10			351,60		
11			331,10		
12			312,10		
13			312,80		
14			309,50		
15			323,20		
16			332,80		
Médias	324,08	449,75	333,50	454,63	349,70
CV	6,56	4,35	11,76	5,64	2,98
DP	21,26	19,58	39,23	25,65	10,41
IC (1%)	[324,08 ± 22,36]	[449,75 ± 25,21]	[333,50 ± 25,26]	[454,63 ± 24,97]	[349,70 ± 8,94]

Trat. = Tratamentos; P = Fardos prismáticos; C = Fardos cilíndricos; CV = Coeficientes de variação; DP = Desvios padrão; IC = Intervalos de confiança.

Os dados obtidos das localizações georreferenciadas dos fardos, após terem os seus posicionamentos corrigidos, resultaram na Figura 20, na qual pode ser observada a divisão da área em três partes, referentes ao número de passadas do enleirador e os percursos efetuados pelas enfardadoras.

O sistema de posicionamento utilizado no estudo apresentou resultados adequados para a localização dos fardos no talhão e para o levantamento da área em questão. Estes posicionamentos podem ser encontrados na Tabela 18.

Figura 20 – Mapa de localização dos fardos, com diferenciação de tipos de fardos, percurso realizado pelas enfardadoras e divisão das áreas do talhão, em função dos tipos de enleiramento.

Tabela 18. Localizações geográficas dos fardos de palhiço geo-referenciados no campo, em graus, com suas respectivas massas.

ID	Latitude (°)	Longitude (°)	Massa (Mg)
1	-22,675286667	-47,608968889	0,4250
2	-22,674650000	-47,609878889	0,4470
3	-22,675394167	-47,608815000	0,4548
4	-22,674624444	-47,609972222	0,4722
5	-22,675043056	-47,609325000	0,3587
6	-22,674773333	-47,609908889	0,3345
7	-22,675461944	-47,608560556	0,3027
8	-22,675324444	-47,608537778	0,3019

Tabela 18. Localizações geográficas dos fardos de palhiço georreferenciados no campo, em graus, com suas respectivas massas.

ID	Latitude (°)	Longitude (°)	Massa (Mg)
9	-22,675003056	-47,609436111	0,3245
10	-22,674541389	-47,610036667	0,3222
11	-22,675904167	-47,609484444	0,4723
12	-22,675628056	-47,609917500	0,4561
13	-22,675178611	-47,610435278	0,4406
14	-22,675326389	-47,610127778	0,4234
15	-22,675655833	-47,609687778	0,4336
16	-22,675908889	-47,609078333	0,4569
17	-22,675910556	-47,609299722	0,4995
18	-22,675869722	-47,608675000	0,4412
19	-22,675781389	-47,609125833	0,4142
20	-22,675617778	-47,609533056	0,3285
21	-22,675338056	-47,609923056	0,3175
22	-22,674967500	-47,610321111	0,3085
23	-22,675309444	-47,609640278	0,3063
24	-22,675907500	-47,609682222	0,3094
25	-22,676184167	-47,608985000	0,3045
26	-22,675858056	-47,609040556	0,3328
27	-22,675731944	-47,609443333	0,3516
28	-22,675437500	-47,609893611	0,3311
29	-22,675092500	-47,610281667	0,3121
30	-22,675135278	-47,610557778	0,3128
31	-22,675581389	-47,610061944	0,3095
32	-22,675886667	-47,609616111	0,3232
33	-22,676131667	-47,608970278	0,3328

Tabela 18. Localizações geográficas dos fardos de palhiço georreferenciados no campo, em graus, com suas respectivas massas.

ID	Latitude (°)	Longitude (°)	Massa (Mg)
34	-22,675592222	-47,608643333	0,3548
35	-22,675502222	-47,609083611	0,3582
36	-22,675253611	-47,609573611	0,3402
37	-22,674931944	-47,609941111	0,3321
38	-22,674828056	-47,610158611	0,3507
39	-22,675309444	-47,609640278	0,3402
40	-22,675555000	-47,609196667	0,3625
41	-22,675662500	-47,608688889	0,3483
42	-22,675627778	-47,608219444	0,3603

ID = Código de identificação

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente. A Tabela 19 mostra os resultados descritivos para a variável quantidade recolhida, na forma de fardos, obtida da análise.

Tabela 19. Valores estatísticos dos dados de produtividade de palhiço.

Fardos	Média (Mg.ha ⁻¹)	Mínimo (Mg.ha ⁻¹)	Máximo (Mg.ha ⁻¹)	DP	CV (%)	Assimetria	Curtose
42	8,79	4,74	14,56	2,64	30,03	0,43198	-0,86795

DP = Desvio padrão; CV = Coeficiente de variação.

De acordo com Warrick & Nielsen (1980) o valor do coeficiente de variação de 6,98% exprime uma grande variabilidade espacial dos dados de produtividade de palhiço recolhido, os valores de assimetria e curtose próximos a zero indicam uma distribuição normal para esta variável.

As produtividades equivalentes a cada um dos fardos obtidos foram agrupadas em seis diferentes classes, como mostra a Figura 21.

Figura 21 - Frequência das faixas de quantidades de palhiço enfardado.

Pela análise da Figura 21, verificou-se que o maior número de ocorrências (30,3%) deu-se na faixa de 8,5 a 10,5Mg.ha⁻¹ comprovando-se a média dos fardos obtidos no estudo de 8,79Mg.ha⁻¹.

A Figura 22 foi obtida como resultado da análise geo-estatística realizada para os dados da variável produtividade de palhiço da cana-de-açúcar enfardado.

Figura 22 – Semivariograma da variável palhiço recolhido em fardos.

O melhor modelo encontrado para o semivariograma foi o esférico, com um efeito pepita (Co) de 1,27, um patamar ($Co+C$) de 6,066, um alcance (Ao) de 35,5 m e um coeficiente de correlação (r^2) de 0,911.

A relação entre o efeito pepita e o patamar ($Co/(Co+C)$) obtida foi de 0,20936 (20,936%) para o semivariograma, o que comprova a forte dependência espacial encontrada para o palhiço.

Foram obtidos dois mapas de palhiço recolhido, na forma de fardos, para o talhão estudado. O primeiro foi elaborado pela interpolação dos pontos obtidos com o software SSToolBox®, como mostra a Figura 23. O outro, um mapa de iso-linhas, o qual é a suavização dos dados interpolados da Figura 23 e pode ser observado na Figura 24.

Figura 23 – Mapa interpolado da quantidade de palhico enfardado (Mg.ha⁻¹).

Figura 24 – Mapa de iso-linhas da quantidade de palhico enfardado (Mg.ha⁻¹)

Conforme era de se esperar, as Figuras 23 e 24 mostram a existência de uma grande variabilidade espacial como já encontrada por Molina Jr. (1991), Ripoli (1991), Tillmann (1994) e Furlani Neto (1995), os quais mostraram que ocorrem significativas variabilidades espaciais no número de colmos industrializáveis por metro linear de fileira de plantio dos canaviais. De acordo com Molina Jr. (1991) e Ripoli (1991) existe uma relação entre massa de colmos e massa de palhiço, num canavial, o que foi chamado de Índice de Palhiço (IP), havendo variabilidade no número de colmos por metro linear de fileira, da mesma forma como constatado neste estudo. Seria esperado, portanto, encontrar uma variabilidade espacial na quantidade de palhiço por unidade de área, em se tratando da mesma cultura.

Cabe esclarecer que esses mapas de palhiço enfardado obtidos referem-se ao material recolhido, não devendo ser confundido com a quantidade real de palhiço da área estudada.

No processo de recolhimento, pelas enfardadoras, dependendo da regulagem que se efetua no órgão ativo da máquina responsável pelo recolhimento do material contido na sua largura de trabalho efetiva, nem todo o palhiço é recolhido. Regulagens objetivando enfardar maior quantidade de palhiço resultarão em maior quantidade de terra que o acompanhará, aumentando a contaminação deste material, o que não é desejável pois poderá causar problemas nas fornalhas das usinas, caso o palhiço tenha o destino de ser utilizado como combustível.

Em termos de material recolhido, o valor médio de $8,95\text{Mg.ha}^{-1}$ de palhiço enfardado obtido neste estudo foi próximo aos $9,7\text{Mg.ha}^{-1}$ apresentados Ripoli et al. (1990a) e aos 10Mg.ha^{-1} , apresentados por Ripoli (2001). Por sua vez a grande diferença entre o valor médio obtido neste trabalho e o resultado apresentado por Molina Jr. (1991), que foi de $33,84\text{Mg.ha}^{-1}$ pode ser explicada pelas situações diferenciadas entre ambos os estudos. Molina Jr. (1991) realizou o enfardamento logo após a colheita mecânica, enquanto que neste estudo, essa operação ocorreu dez dias após

a colheita, levando-se a perdas significativas de umidade contida no palhiço, nesse período.

4.2 Mapas de umidade do palhiço

Os resultados das umidades obtidas das amostras retiradas pela sonda dos fardos são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20. Resultados das determinações de umidade (%) do palhiço enfardado.

Amostras	Umidades (%)	Amostras	Umidades (%)
P3S1	16,21	P5T1	30,99
P3S2	38,15	P5T2	22,77
P4S1	42,09	P6T1	15,59
P4S2	18,06	P6T2	24,50
P5S1	17,85	C1S1	12,46
P5S2	23,52	C1S2	13,95
P6S1	16,16	C2S1	19,23
P6S2	52,09	C2S2	16,05
P2D1	30,87	C3S1	12,38
P2D2	17,16	C3S2	10,25
P10D1	11,22	C4S1	13,00
P10D2	20,96	C4S2	42,45
P11D1	16,61	C1D1	10,72
P11D2	31,54	C1D2	16,42
P14D1	20,24	C2D1	15,39
P14D2	17,47	C2D2	17,22
P3T1	8,82	C3D1	19,46
P3T2	16,12	C3D2	17,30
P4T1	34,03	C5D1	13,59

Tabela 20. Resultados das determinações de umidade (%) do palhiço enfardado.

Amostras	Umidades (%)	Amostras	Umidades (%)
P4T2	14,36	C5D2	16,08
Média		20,58	
DP		9,85	
CV		47,85	
IC (1%)		[20,58 ± 19,49]	

Onde: P = Fardo prismático; C = Fardo cilíndrico; Números seguintes = Identificação do fardo no campo; S = Tratamento enleiramento simples, D= Tratamento enleiramento duplo; T = Tratamento enleiramento triplo; Números seguintes = Número correspondente à amostragem pela sonda; DP = Desvio padrão; CV = Coeficiente de variação; IC = Intervalo de confiança.

As umidades de cada um dos fardos obtidos, em laboratório, foram agrupadas em seis diferentes classes, para melhor visualização dos dados, como mostra a Figura 25.

Figura 25 - Frequência das faixas de umidade dos fardos.

A umidade média de palhiço obtida para a variedade de cana-de-açúcar estudada, por georreferenciamento dos fardos, foi de 22,58% (máxima de 30,50% e mínima de 14,68%) com um desvio padrão de 9,85. As Figuras 26 e 27 representam os mapas obtidos para o atributo variedade da quantidade de palhiço enfardado.

Figura 26 – Mapa de umidade (%), interpolado, do palhiço enfardado.

Figura 27 – Mapa de iso-linhas de umidade (%) do palhiço enfardado.

Confrontando-se os resultados obtidos no presente estudo, cujos valores de umidade do palhiço variaram de 14,68 a 30,50%, conforme apresentado nas Figuras 25 a 27, com os obtidos por Zulauf et al. (1995), de 8,0 a 21,3% e por Aguilar et al (1989), que apresentou 33,78%, pode-se afirmar que, os valores aqui obtidos estão adequados.

4.3 Mapa de equivalente energético do palhiço

Os equivalentes energéticos de cada um dos fardos obtidos foram agrupados em seis diferentes classes, como mostra a Figura 28.

Figura 28 - Frequência das faixas de equivalente barril de petróleo ($\text{EBP} \cdot \text{ha}^{-1}$) dos fardos.

A energia média encontrada no palhço, em termos de equivalente barril de petróleo ($\text{EBP} \cdot \text{ha}^{-1}$), foi de 11,22 (máximo de 17,80 e mínimo de 6,33), com um desvio padrão de 1,45.

Os mapas de equivalente energético do palhço recolhido de cana-de-açúcar obtidos são apresentados nas Figuras 29 e 30.

Figura 29 – Mapa em equivalente barril de petróleo (EBP.ha⁻¹), interpolado, do palhio enfardado.

Figura 30 – Mapa de iso-linhas em equivalente barril de petróleo (EBP.ha⁻¹) do palhio enfardado.

Analisando-se o resultado apresentado por Ripoli (1991), ou seja, de 30,90EBP.ha⁻¹ de palhiço de cana-de-açúcar fica claro que este valor refere-se a todo o palhiço existente na área estudada, enquanto que o valor médio obtido no presente estudo, de 11,22EBP, refere-se apenas ao palhiço que foi enfardado.

Por fim, não houve condições de se comparar os resultados aqui obtidos no que diz respeito às variabilidades espaciais do material enfardado, de umidade e de equivalente energético do palhiço, dentro de uma mesma área com outros trabalhos em função do exposto no primeiro parágrafo deste capítulo.

5 CONCLUSÕES

O objetivo proposto no presente trabalho foi plenamente atendido.

O método proposto supriu as expectativas. O sistema de posicionamento por GPS, utilizando um receptor móvel e um receptor base permitiu a localização dos fardos para as estimativas das variáveis objeto do estudo.

A correção diferencial da posição, em laboratório, realizada após a coleta dos dados de campo, permitiu a elaboração dos mapas do palhico enfardado, de umidade e de equivalente energético, o que possibilita a aplicação de técnicas de Agricultura de Precisão em grandes áreas comerciais.

A análise dos resultados mostrou que existe uma variação na quantidade do palhico recolhido, como também acontece com a própria produtividade de colmos da cana-de-açúcar. O mesmo ocorreu com o mapeamento da umidade do palhico recolhido e enfardado no campo.

Comprovou-se que a variabilidade espacial encontrada é muito grande, o que requer muito cuidado nas amostragens para a realização de futuros estudos desta natureza. Sabe-se que a energia contida no palhico, que hoje, na sua grande maioria, é descartado com a prática de queima de pré-colheita, é considerável e deve ser levada em conta como componente relevante na matriz energética brasileira, mesmo este não sendo recolhido em sua totalidade.

5.1 SUGESTÃO PARA FUTURO ESTUDO

Utilização de GPS e técnicas de Agricultura de Precisão em outros sistemas de recolhimento do palhiço de cana-de-açúcar, tal como a aplicação adaptada de prensas móveis utilizadas na colheita de algodão para o acondicionamento deste material no campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. **Método de determinação de Poder Calorífico de carvão vegetal**: norma 8633, São Paulo. 1984.
- AGUILAR, A.; PEÑA, V.; FRIEDMAN, P.; BRITO, B. La combustion de los residuos agrícolas de la caña de azúcar. Parte I. Características combustibles. **Cuba Azúcar**, p.40, ene./mar. 1989.
- ANDRADE, E.N. **O eucalipto**. Jundiaí: Cia. Paulista de Estrada de Ferro, 1961. 667p.
- AROLA, R.A. **Wood fuels**: how do they stack up? Forest Products Research Society, 1976. 12p.
- ATCHISON, J.E. Making bagasse available for pulp, paper, board, fiber board, particle board and other industrial products at what price equivalent fuel values of bagasse and other fibrous raw materials as compared to fossil fuels. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16., São Paulo, 1977. **Proceedings**. São Paulo: COPERSUCAR, 1977. v.2, p.3129-3144.
- BAIO, F.H.R.; ÂNGULO FILHO, R.; VETTORAZZI, C.A.; RAFFO, J.G.G.; ELIAS, A.I. Estudo da exatidão de um GPS operando em duas taxas de aquisição de dados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., Poços de Caldas, 1998. **Anais**. Jaboticabal: SBEA, 1998. p.347-349.
- BALASTREIRE, L.A. **MAPS – Modeling of agricultural systems spatially**. Austin: Texas A&M University, College Station, 1993. 42p. (Final Report).
- BALASTREIRE, L.A. Aplicação localizada de insumos – ALI: um velho conceito novo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., Campinas, 1994. **Anais**. Campinas: UNICAMP, 1994. p.248.

- BALASTREIRE, L.A.; ELIAS, A.I.; AMARAL, J.R. do. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade da cultura do milho. **Engenharia Rural**, v.8, n.1, p.97-111, jul.1997.
- BALASTREIRE, L. A. **Agricultura de precisão**. Piracicaba: L. A. Balastreire, 1998. p.81
- BALASTREIRE, L.A. A agricultura de precisão na cultura da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE SOLUÇÕES E NOVIDADES NA MECANIZAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1., Ribeirão Preto, 1999. Ribeirão Preto: IDEA, 1999. p. 18-29.
- BALASTREIRE, L.A. **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: L.A. Balastreire, 2000. 224 p.
- BALASTREIRE, L.A.; BAIO, F.H.R. Avaliação de uma metodologia prática para o mapeamento de plantas daninhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.5, n.2, p.349-352, maio/ago. 2001.
- BASSINELLO, A.I.; FURLANI NETO, V.L.; MACEDO, N.; PARRAZI, C.; CASAGRANDE, J.C. **Implicações agrícolas e industriais da colheita da cana crua**. Araras: IAA, PLANALSUCAR, s.d. 55p.
- BETANCOURT, A. F. Materias estrañas en la cosecha de la caña de azúcar. **Boletim Oficial de la Asociación de Tecnicos Azucareros de Cuba**, v.22, n.2, p.3-29, 1976.
- BLITZKOW, D. **Aspectos gerais do sistema NAVSTAR/GPS**. São Paulo: EPUSP, 1995. 31p.
- BRITO, J.O.; BARRICHELLO, L.E.G. Aspectos técnicos na utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., São Paulo, 1982. **Anais**. São Paulo: Secretaria de Ciência e Tecnologia, 1982. p.101-108.
- BROSS, B.; MISSOTTEN, B.; REYBRUCK, S.; BAERDEMAEKER, J. M. Mapping and interpretation of sugar beet yield differences. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Madison, 1999. **Proceedings**. Madison: ASA;CSSA;SSSA, 1999. p.753-763.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.5, p.1501-1511, Sep. 1994.

- CARVALHO, J.F. Madeira como fonte de energia. **Brasil Florestal**, v.5, n.17, p.5-6, jan./mar. 1974.
- CASTRO, M. Doze usinas de Ribeirão Pretas já geram excedentes. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 17 jun. 2001a. p.B5.
- CASTRO, M. Energia equivaleria a 2 turbinas de Itaipu. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 17 jun. 2001b. p.B5.
- CHANCELLOR, W.J.; GORONEA, M.A. Effects of spatial variability of nitrogen, moisture and weeds on the advantages of site-specific applications for wheat. **Transactions of the ASAE**, v.37, n.3, p.717-724, May/June 1994.
- CLARK, R.L.; MACGUKIN, R.L. Variable rate application technology: an overview. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION FARMING. 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison: ASA;CSSA;SSSA, 1996. p.855-863.
- CLAY, S.A.; LEMS, G.L.; FORCELLA, F.; ELLSBURGY, M.M.; CARLSON, C.G. Sampling weed spatial variability on a fieldwide scale. **Weed Science**, v.47, n.6, p.678-681, Nov./Dec. 1999.
- CLEMENTE, I. Bagaço de cana daria luz a 355 mil pessoas. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 20 maio 2001. p.A11.
- COLVIN, T.S.; JAYNES, D.B.; KARLEN, D.L.; LAIRD, D.A.; AMBUEL, J.R. Six years yield variability within Central Iowa field. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FARMING PRECISION, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison: ASA;CSSA;SSSA, 1996. p.863-870.
- COX, G.; HARRIS, H.; COX, D. Application of precision agriculture to sugar cane. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Madison, 1999. **Proceedings**. Madison: ASA;CSSA;SSSA, 1999. p.753-763.
- CUGNASCA, C.E.; HIRAKAWA, A.R.; SARAIVA, A.M.; SANTANA, J.I.; PIERROSSI, M.A.; HASSUANI, S.J. Pesagem dinâmica em carregadora de cana-de-açúcar para a elaboração de mapas de colheita. In: BALASTREIRE, L.A. **O estado da arte da Agricultura de Precisão no Brasil**: Piracicaba: L.A. Balastreire, 2000. p.129-135.
- DELGADO, A.A. Os efeitos da queima dos canaviais. **STAB. Açúcar, Alcool e Subprodutos**, v.3, n.6, p.42-45, jul./ago. 1985.

- DOAT, A. Lê pouvoir calorifique dès bois tropical. **Bois et Forets des Tropiques**, v.172, p.33-42, mars/avr. 1977.
- DURRENCE, J.S.; PERRY, C.D.; VELLIDIS, G.; THOMAS, D.L.; KVIEN, C.K. Mapping peanut yield with an experimental load cell yield monitoring system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Madison, 1999. **Proceedings**. Madison: ASA;CSSA;SSSA, 1999. p.1131-1141.
- FERNANDES, A.C. **Desempenho da agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil: 1990/1997**. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1998. 32p. (RT, B1783).
- FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 2002**: Anuário da agricultura brasileira, São Paulo, 2002. 536 p.
- FURLANI NETO, V.L. Colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): Avaliação em canaviais com e sem queima prévia. Piracicaba, 1995. 110p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- GASTON, L.A.; LOCKE, M.A.; ZABLOTOWICZ, R.M.; REDDY, K.N. Spatial variability of soil properties and weed population in the Mississippi delta. **Soil Science Society of America Journal**, v.65, p.449-459, 2001.
- GENOÍNO, J. A crise de energia e a cana. **Jornal de Piracicaba**, Piracicaba, 10 jul. 2001. p.A3.
- GOERING, C.E. How much and where. **Agricultural Engineering**, v.73, n.4, p.13-15, July. 1992.
- GOERING, C.E.; HAN, S.A. **A field information system for SSCM**. Warrendale: SAE International, 1993. 6p. (SAE Technical Paper Series, 932422).
- GOLDENBERG, J. Biomassa como fonte de energia. **Energia**, v.1, n.2, p.21-2, maio/jun. 1979.
- HAN, S.; HUMMEL, J.W.; GOERING, C.E.; CAHN, M.D. Cell size selections for site-specific crop management. **Transactions of the ASAE**, v.37, n.1, p.19-26, Jan./Feb. 1994.
- HAN, S.; RAWLINS, S.L.; SCHNEIDER, S.M.; EVANS, R.G. **Yield mapping with differential GPS**. St. Joseph: ASAE, 1995. 6p. (ASAE Paper, PNW95-302).

- JOHANNSEN, C.J.; CARTER, P.G.; WILLIS, P.R.; OWUBAH, E.; ERICKSON, B.; ROSS, K.; TARGULIAN, N. Applying remote sensing technology in precision farming. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4. Madison, 1999. **Proceedings**. Madison: ASA;CSSA;SSSA, 1999, p.1413-1421.
- JOHNSON, G.A.; CARDINA, J.; MORTENSEN, D.A. Site specific weed management: Current and future directions. In: PIERCE, F.J.; SADLER, E.J. (Ed.). **The site specific management for agricultural system**. Madison: ASA;CSSA;SSSA, 1977. cap.7, p.131-147.
- JORNAL DE PIRACICABA. Co-geração pode ser saída para a crise. **Jornal de Piracicaba**, Piracicaba, 17 jul. 2001. p.B6.
- KINCHELOE, S. Tools to aid manegement: The use of site specific manegement. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.49, n.2, p.43-45, 1994. Special Supplement.
- KRÜGNER, G.; SPRINGER, R.; LECHNER, W. Global navigation satellite systems (GNSS). **Computers and Electronics in Agriculture**, v.11, p.3-21, 1994.
- LAMPARELLI, A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e Agricultura de Precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118p.
- LANÇAS, K.P. **A evolução das alternativas energéticas com a crise do petróleo e a projeção da biomassa**. Botucatu: UNESP, 1984. 34p.
- LOPEZ, P.A. Recolección de barbojo como fuente energética em el Central romana. In: GRUPO DE PAÍSES LATINOAMEWRICANOS Y DEL CARIBE EXPORTADORES DE AZÚCAR. **Uso alternativo de la caña de azúcar para energia y alimento**. Ciudad del México, 1987. p. 57-62. (Coleccion GEPLACEA).
- MANTOVANI, B.H.; PEART, R.M.; GIBSON, H. Análise dinâmica de sistemas de colheita e manuseio de biomassa para utilização como fonte de energia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, n.9, p.1085-1099, set. 1985.
- MOLIN, J.P. Geração e interpretação de mapas de produtividade para agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. **Agricultura de Precisão**. Viçosa: UFV,2000. p.237-257.

- MOLINA JR., W.F. Enfardamento de resíduos de colheita de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): avaliação dos desempenhos operacional e econômico. Piracicaba, 1991. 101 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- NORDMEYER, H.; HÄUSLER, A. Spatial distribution of weeds – Geostatistical analysis. In: WORKSHOP ON COMPUTER MODELING IN WEED SCIENCE. Copenhagen, 1996. **Proceedings**. Copenhagen: Danish Informatics Network in the Agricultural Sciences, 1997. p.44-46.
- OLIVEIRA, E.R. Bagaço de cana: um combustível que ainda não recebeu a devida atenção. **Álcool e Açúcar**, v.2, n.4, p.10-19, maio/jun. 1982.
- PAGNANO, N.B.; MAGALHÃES, P.S.G.; UMEZU, C. Mapeamento da produtividade de cultura da cana-de-açúcar. In: BALASTREIRE, L.A. **Avanços da agricultura de precisão no período de 1999 1999-2001**. Piracicaba: L.A. Balastreire, 2002. 347p.
- PELLETIER, M.G.; UPADHYAYA, S.K. Development of a tomato yield monitor. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Madison, 1999. **Proceedings**. Madison: ASA;CSSA;SSSA, 1999. p.1119-1129.
- PEREIRA, R. Potencial de biomassa pode atingir 6 mil MW. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 18 nov. 2001. p.B4.
- PEREZ, N.P. **Eficiência em caldeiras na agro-indústria canavieira**. Piracicaba: STAB, 1982. 74p.
- PIEROSI, M.A.; NEVES, J.L.M. Mapeamento de produtividade da cana-de-açúcar. In: BALASTREIRE, L.A. **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: L.A. Balastreire, 2000. p.124-128.
- QIU, W.; WATKINS, G.A.; SOBOLIK, C.J.; SHEARER, S.A. A feasibility study of direct injection for variable rate herbicide application. **Transactions of the ASAE**, v.41, n.2, p.291-299, Mar/Apr. 1998.
- RIPOLI, M.L.C.; RIPOLI, T.C. Caracterização dos principais constituintes da biomassa de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 4., São Paulo, 1995. **Resumos**. Piracicaba: Ed.EDUSP, 1996. v.1, p.463.
- RIPOLI, T.C. Fogo na palha? **Notícias da ESALQ**, Piracicaba, v.1, n.5, p.2-3, nov. 1988.

- RIPOLI, T.C. Utilização do material remanescente de colheita de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) - Equacionamento dos balanços energético e econômico. Piracicaba, 1991. 150p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- RIPOLI, T.C. O uso energético da biomassa da cana: implicações técnico-econômicas e sócio-ambientais. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE DESENVOLVIMENTO SUSTENTADO AGRÍCOLA E URBANO, 1., Piracicaba 1995. **Anais**. Piracicaba, 1995. p. 131-142.
- RIPOLI, T.C.; MOLINA JR., W.F. Cultura canavieira: um desperdício energético. **Maquinaria Agrícola**, v.6, n.1, p.2-3, jan. 1991.
- RIPOLI, T.C. Algumas considerações sobre palhico como fonte de energia (compact disc). In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL CANA & ENERGIA. Ribeirão Preto, 2001. Ribeirão Preto: Instituto Nacional de Eficiência Energética; Instituto de Desenvolvimento Agroindustrial, 2001.
- RIPOLI, T.C.; MIALHE, L.G.; BRITO, J.O. Queima de canavial: o desperdício não mais admissível! **Álcool & Açúcar**, v.10, n.54, p.18-23. 1990a.
- RIPOLI, T.C.; MOLINA JR., W.F.; RIPOLI, M.L.C. Energetic potencial of the sugar cane biomass in Brazil. **Rivista de Ingegneria Agraria**. n.1, p.2-7, Feb. 2000.
- RIPOLI, T.C.; MOLINA JR., W.F.; NOGUEIRA, M.C.S.; MATOS, J.R. Equivalente energético do palhico de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., Piracicaba. 1990. **Anais**. Piracicaba: FEALQ; SBEA, 1990b. p.249-262.
- RIPOLI, T.C.; MOLINA JR., W.F.; J.P. STUPIELLO; M.C. NOGUEIRA; J.B. SACCOMANO. Potencial energético de residuos de cosecha de la caña verde. **Revista da STAB**. v.10, n.1, p.22-26, set./out. 1991.
- ROSA, A.V. Energia derivada do aguapé. **Silvicultura**, p.179-183, dez. 1977. (Edição especial)
- SADLER, J.; MILLEN, J.; FUSSELL, P.; SPENCER, J.; SPENCER, W. Yield mapping on on-farm cooperative fields in the Southeast Coastal Plain. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Madison, 1999. **Proceedings**. Madison: ASA;CSSA;SSA. 1999, p.1767-1776.

- SAMUELS, G. Foreign matter in sugar cane: some basic facts. In: CONGRESO ASOCIACIÓN DE TÉCNICOS AZUCAREROS PUERTO RICO, 1., Puerto Rico, 1969. **Proceedings**. Puerto Rico, 1970. p.57-62.
- SARAIVA, A.M.; SANTANA, J.I.; HIRAKAWA, A.R.; CUGNASCA, C.E.; POEROSI, M.A.; HASSUANI, S.J. Yield mapping of sugar cane: dynamic weighing on grab loaders. In: STAFFORD, J.V., (Ed.) **Precision agriculture '99**. Sheffield: Sheffield Academic Press, 1999. v.1, p.343-352.
- SEARCY, S.W. Engineering systems for site-specific management: opportunities and limitations. In: INTERNATIONAL MANAGEMENT FOR AGRICULTURAL SYSTEMS, 1., Madison, 1995. **Proceedings**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1995. p.603-611.
- STAFFORD, J.V. Essential technology for precision agriculture. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., Minneapolis, 1996. **Proceedings**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1996a. p.595-604.
- STAFFORD, J.V. Spatially variable field operations. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.14, p.99-100, 1996b.
- STAFFORD, J.V.; AMBLER, B. In-field location using GPS for spatially variable field operations. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.11, p.23-36, 1994.
- STAFFORD, J.V.; BENLLOCH, J.V. Machine-assisted detection of weeds and weed patches. In: PRECISION FARMING, Warrick, 1997. **Proceedings**. Oxford: SCI, 1997, v.2, p.511-518.
- STAFFORD, J.V.; LARK, R. M.; BOLAM, H.C. Using yield maps to recognize fields into potential management units. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 4., Madison, 1999. **Proceedings**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1999. p.225-237.
- STEVENS, G.; MOYLAN, C.; DUGGER, P.; RICHTER, D. Effect of variable rate lime on cotton yields. In: BELTWIDE COTTON CONFERENCE. Orlando, 1999. **Proceedings**. Memphis: National Cotton Council, 1999. v.2, p.1285-1286.
- SUMNER, H.R.; SUMNER, P.E.; HAMMOND, W.C.; MONROE, G.E. Indirect fire biomass furnace and bomb calorimeter determinations. **Transactions of ASAE**, v.2, p.280-285, 1983.

- TILLMANN, C.A. da C. Avaliação dos desempenhos operacional e econômico de sistema de colheita mecanizada em cana-de-açúcar, com e sem queima prévia. Piracicaba, 1994. 111p. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- TORRES, F.P.; RIBEIRO FILHO, A.C.; BAIO, F.H.R. Comparação da utilização da barra de luz na Agricultura de Precisão em relação ao marcador de espuma. In: BORÉM, A.B.; GIÚDICE, M.P.; QUEIROZ, D.M.; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R.; GOMIDE, R.L. **Agricultura de precisão**. Viçosa: UFV, 2000. p.357-364.
- TOZI, F. A. Sistemas de informação geográfica na agricultura. In: BALASTREIRE, L.A. **O estado da arte da Agricultura de Precisão no Brasil**. Piracicaba: L.A. Balastreire, 2000. p.187-192.
- VIEIRA, S.R. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: BORÉM, A.; GIÚDICE, M.P. del.; QUEIROZ, D.M. de; MANTOVANI, E.C.; FERREIRA, L.R.; VALLE, F.X.R. do; DOMIDE, R.L. (Ed.). **Agricultura de Precisão**. Viçosa: UFV, 2000. cap.5, p.93-108.
- VIEIRA, S.R. Uso da geoestatística em estudos de variabilidade espacial. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CONSERVAÇÃO DE SOLO, 1995. **Apostila**. Campinas: IAC, 1995. 61 p.
- WAGNER, L.E.; SCHROCK, M.D. Yield determination using a pivoted auger flow sensor. **Transactions of ASAE**, v.32, n.2, p.409-413, 1989.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. 385p.
- YULE, I.J.; CAIN, P.J.; EVANS, E.J.; VENUS, C. A spatial inventory approach to farm planning. **Computers and Eletronics in Agriculture**, v.14, p.151-161, 1996.
- ZULUAF, W.E.; CAPORALI, S.A.; VIDEIRA, R.M. Cálculo preliminar da energia liberada anualmente na queima dos canaviais brasileiros. In: SIMPÓSIO SOBRE QUEIMA DE PALHA DE CANAVIAIS, 2., Araraquara, 1985. p1-7.

APÊNDICE

Repetições	Pesos brutos úmidos	Pesos brutos secos	Pesos líquidos úmidos	Pesos líquidos secos	Umidades (%)
P3S1	37,89	20,78	16,59	13,90	16,21
P3S2	63,00	32,67	41,70	25,79	38,15
P4S1	47,96	22,32	26,66	15,44	42,09
P4S2	33,02	24,48	21,48	17,60	18,06
P5S1	76,82	52,49	55,52	45,61	17,85
P5S2	60,89	37,16	39,59	30,28	23,52
P6S1	28,06	20,73	16,52	13,85	16,16
P6S2	129,91	58,91	108,61	52,03	52,09
P2D1	52,24	28,27	30,94	21,39	30,87
P2D2	61,52	40,20	40,22	33,32	17,16
P10D1	25,36	19,15	13,82	12,27	11,22
P10D2	42,15	23,36	20,85	16,48	20,96
P11D1	32,74	16,42	11,44	9,54	16,61
P11D2	52,00	34,58	40,46	27,70	31,54
P14D1	44,15	32,89	32,61	26,01	20,24
P14D2	48,32	29,18	27,02	22,30	17,47
P3T1	29,57	23,32	18,03	16,44	8,82
P3T2	57,53	37,27	36,23	30,39	16,12
P4T1	61,50	33,40	40,20	26,52	34,03
P4T2	38,28	29,78	26,74	22,90	14,36
P5T1	35,19	23,20	23,65	16,32	30,99
P5T2	23,22	15,90	11,68	9,02	22,77
P6T1	48,88	30,16	27,58	23,28	15,59
P6T2	64,00	39,12	42,70	32,24	24,50

Quadro 1 - Valores obtidos (g) para determinação da umidade (%), com base em peso úmido, do palhiço enfardado.

Repetições	Pesos brutos úmidos	Pesos brutos secos	Pesos líquidos úmidos	Pesos líquidos secos	Umidades (%)
C1S1	23,90	17,70	12,36	10,82	12,46
C1S2	51,34	32,73	30,04	25,85	13,95
C2S1	37,21	19,73	15,91	12,85	19,23
C2S2	34,20	17,71	12,90	10,83	16,05
C3S1	50,70	32,64	29,40	25,76	12,38
C3S2	28,32	21,94	16,78	15,06	10,25
C4S1	46,46	28,77	25,16	21,89	13,00
C4S2	42,05	24,44	30,51	17,56	42,45
C1D1	46,31	29,21	25,01	22,33	10,72
C1D2	48,59	29,69	27,29	22,81	16,42
C2D1	29,15	21,78	17,61	14,90	15,39
C2D2	26,81	19,52	15,27	12,64	17,22
C3D1	57,27	35,85	35,97	28,97	19,46
C3D2	38,88	29,49	27,34	22,61	17,30
C5D1	39,48	22,59	18,18	15,71	13,59
C5D2	36,04	27,44	24,50	20,56	16,08

Onde: P= fardo prismático; C= fardo cilíndrico; números seguintes = identificação do fardo no campo; S= tratamento enleiramento simples, D= tratamento enleiramento duplo; T = tratamento enleiramento triplo; números seguintes= número correspondente à amostragem pela sonda.

Quadro 1 - Valores obtidos (g) para determinação da umidade (%), com base em peso úmido, do palhiço enfardado.