

ENERGIA DE BIOMASSA

LER 244 – RECURSOS ENERGÉTICOS E AMBIENTE
DER – ESALQ/USP

Edição: 2008

Prof. Walter F. Molina Jr
Prof. Tomaz C C Ripoli

O QUE É BIOMASSA?

Todo material de origem orgânica.

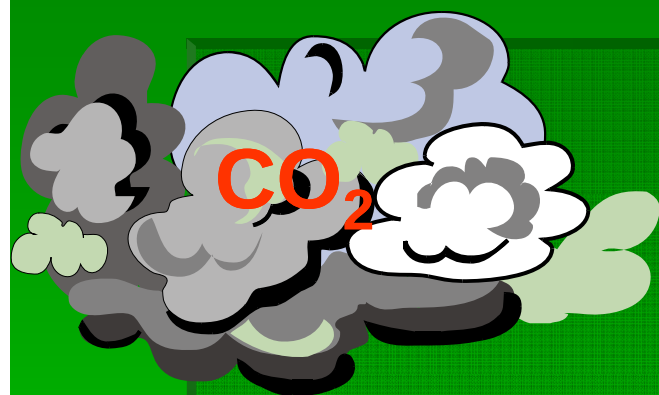
Pode ser proveniente de:

- Colheitas agrícolas e florestais**
- Produtos animais**
- Massa de células microbianas**
- Resíduos em geral e**
- Produtos renováveis em bases anuais**

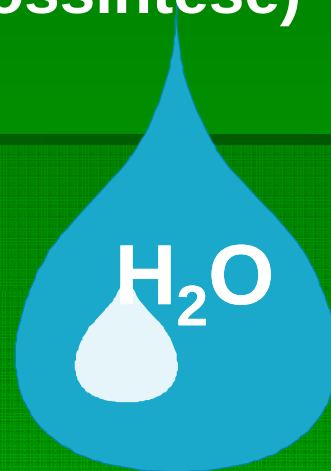
(Hiler & Stout, 1985)

CONVERSÃO DE BIOMASSA

(fotossíntese)



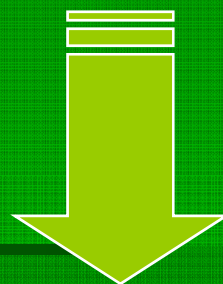
+



+



**ENERGIA
LUMINOSA**



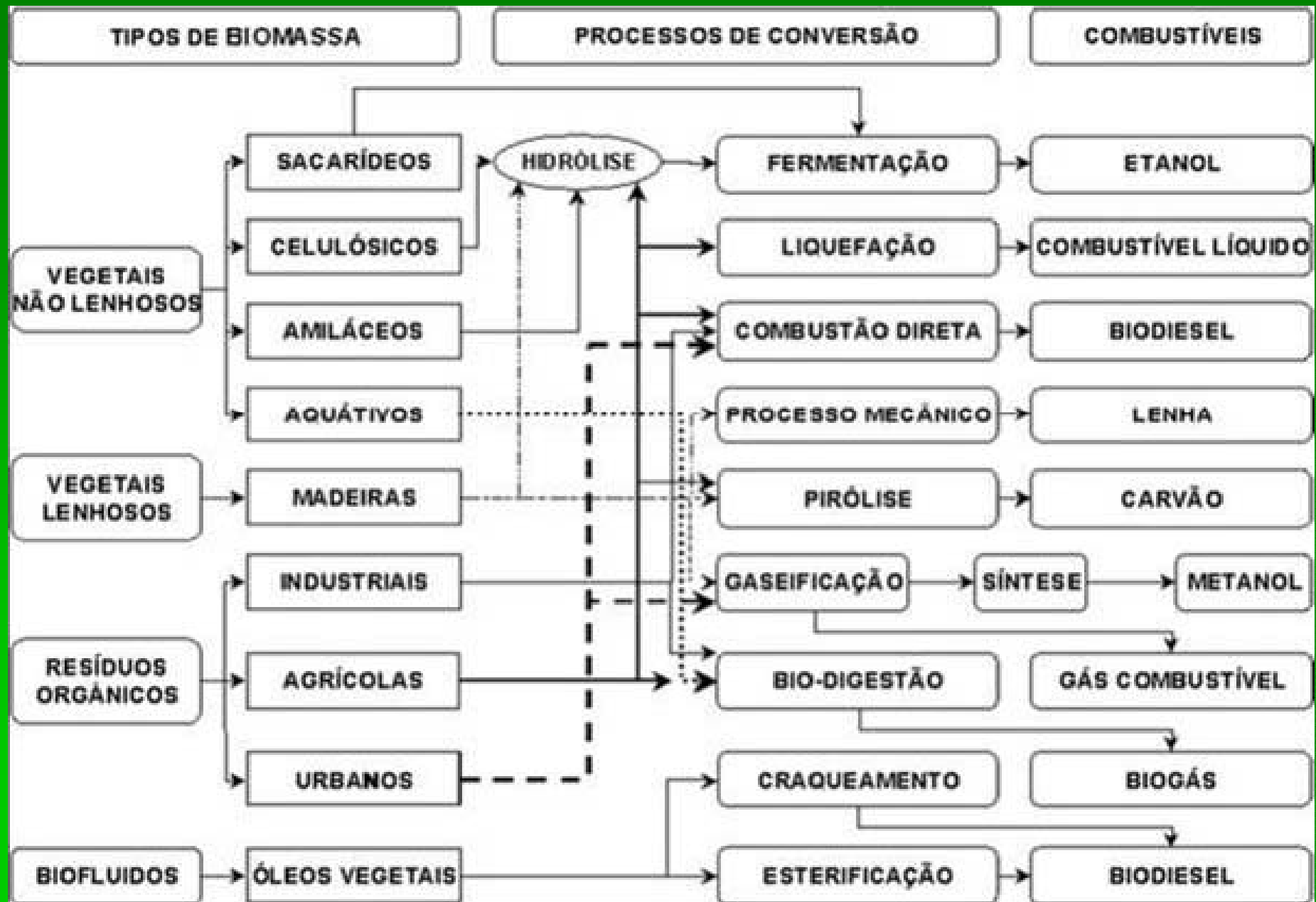
O_2

+

**CARBOHIDRATOS
(AÇÚCARES E AMIDO)**

(a combustão de O_2 e Carboidratos = “respiração”)

FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS PARA OBTENÇÃO DE COMBUSTÍVEIS A PARTIR DE BIOMASSA (HILER & STOUT, 1985)



PRINCIPAIS PROCESSOS

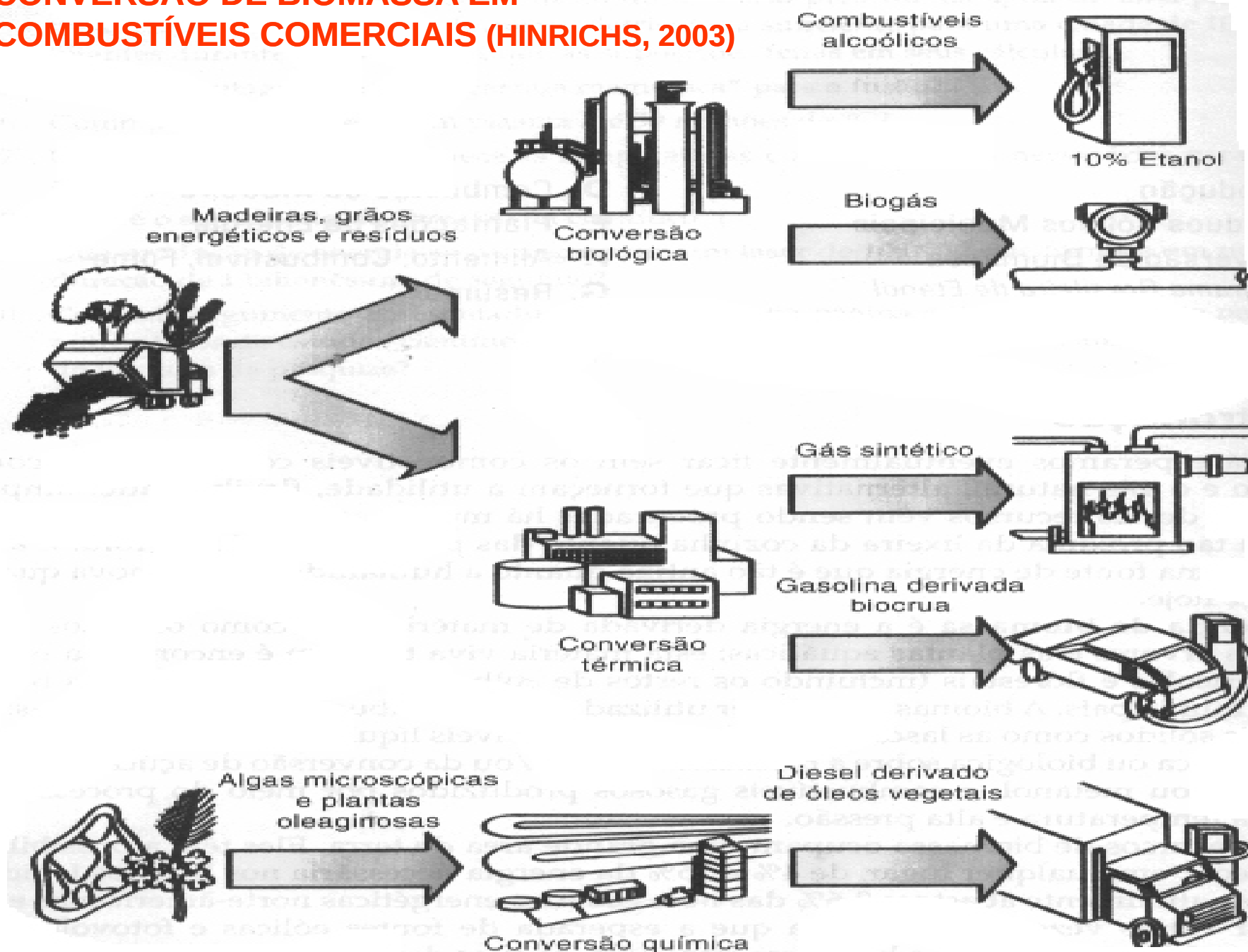
(DE CONVERSÃO DE BIOMASSA EM OUTRAS FORMAS DE ENERGIA)

COMBUSTÃO DIRETA: QUEIMA PARA PRODUÇÃO DE CALOR (AQUECIMENTO OU ACIONAMENTO DE TURBINAS ELÉTRICAS)

PIRÓLISE: DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA DE RESÍDUOS, SOB ALTAS TEMPERATURAS (500 A 900° C) EM ATMOSFERA POBRE EM O₂, PRODUZINDO UM GÁS OU LÍQUIDO DE BAIXO PODER CALORÍFICO.

PROCESSOS BIOQUÍMICOS: DECOMPOSIÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, EM ATMOSFERA POBRE EM O₂, COM PRODUÇÃO DE METANO; OU FERMENTAÇÃO CONTROLADA PARA OBTENÇÃO DE ÁLCOOL.

CONVERSÃO DE BIOMASSA EM COMBUSTÍVEIS COMERCIAIS (HINRICHS, 2003)



PODER CALORÍFICO ?

SUPERIOR

“É O NÚMERO DE UNIDADES DE CALOR LIBERADO, 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 ÁGUA PROVENIENTE DA COMBUSTÃO, ESTEJA NO ESTADO LÍQUIDO” (ABNT NBR8633 (1984).

OU SEJA, OBTIDO EM LABORATÓRIO E CONSIDERA O MATERIAL COM BASE EM PESO SECO!

INFERIOR e ÚTIL: OBTIDOS ANALITICAMENTE

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 600 \cdot 9H / 100$$

PCI (kcal/kg) = PODER CALORÍFICO INFERIOR BASE PESO SECO

PCS (kcal/kg) = PODER CALORÍFICO SUPERIOR (BOMBA CALORIMÉT.)

$$\text{PCU} = \text{PCI} [(100 - U) / 100] - 6H$$

PCU (kcal/kg) = PODER CALORÍFICO ÚTIL À UMIDADE U DO MATERIAL

H (%) = TEOR DE HIDROGÊNIO NO MATERIAL

600 (kcal) = VALOR MÉDIO ENERGIA ABSORVIDA/kg DE ÁGUA PARA ATINGIR TEMPERATURA DE EVAPORAÇÃO.

9 = MÚLTIPLO DO PESO DO H₂, CONTIDO NO MATERIAL, QUE FORNECE O PESO DA ÁGUA FORMADA DURANTE A COMBUSTÃO

U = UMIDADE DO MATERIAL, BASE PESO ÚMIDO (% - decimal).

6 = FATOR DE CONVERSÃO REFERENTE A ENERGIA PARA A EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DE FORMAÇÃO.

Tabela 5.5. Poderes caloríficos superiores (PCS), em kcal/kg, de diferentes biomassas vegetais obtidas por diversos autores: (1) Summer et al. (1983); (2) Andrade (1961); (3) Aroha (1976); (4) Brito (1979) e (5) Atchison (1977).

Biomassas	PCS	Biomassas	PCS
Pinho (1)	4.178	Casca de pecan (1)	4.345
Colmo de sorgo (1)	4.273	Laranja (frito) (1)	4.464
Folhas de sorgo (1)	4.631	Pecan (frito) (1)	4.536
Capimnapier (1)	4.369	"Grape fruit" (1)	4.464
Gramma Bermuda (1)	4.584	Cone de pinus spp.(1)	4.870
Pinus spp (1)	4.249	Palha de pinus spp.(1)	5.348
Pêssego (frito) (1)	4.608	Pinus strobus (2)	5.285
Eucalyptus saligna (3)	4.670	Pinus ponderosa (2)	5.000
Eucalyptus robusta (3)	4.774	Eucalyptus terebinthifolia (4)	8.248
Madeira dura (5)	4.555 a 4.665	Madeira mole (5)	4.665 a 5.590
Palha de cereal (5)	4.445	Bagaco de cara (5)	4.445 a 4.665

FONTE: Ripoli & Ripoli, 2004

EXERCÍCIO:

CALCULE O PODER CALORÍFICO ÚTIL DE PALHA DE CEREAL, QUE CONTÉM 8,4 % DE HIDROGÊNIO, ESTANDO EM UMA UMIDADE DE 10 % E POSSUI UM PCS = 4,445 Mcal/t.



BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR

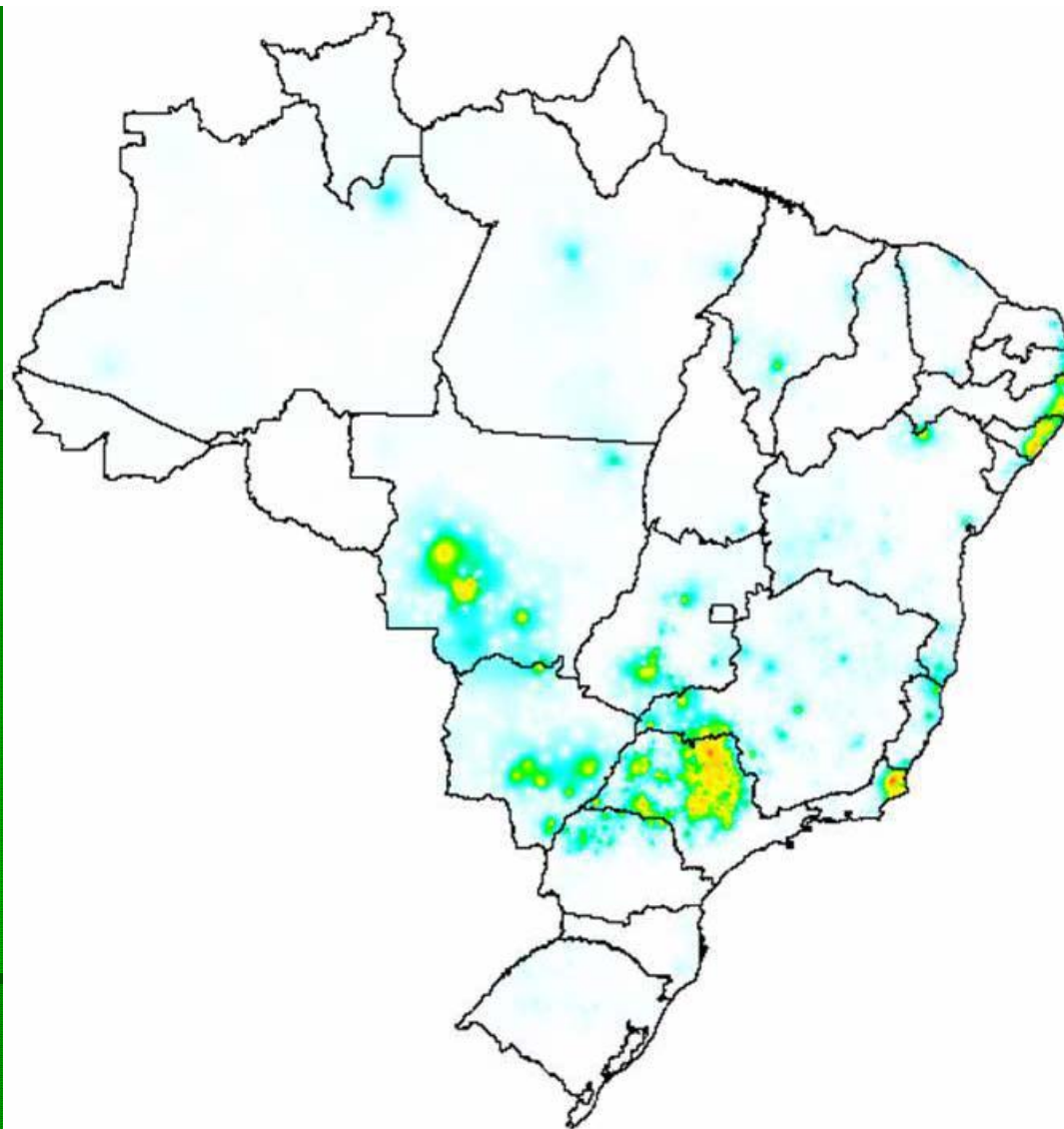


O Canavial Brasileiro

6 Milhões de há
(2007/08)

Mais de 50% em
São Paulo

361 Unidades
Processadoras



Mais de 600 milhões de
ton. colhidas (2007/08)

Destino da Safra:

- 250 Milhões de ton – produção de açúcar
27 milhões de toneladas
- 360 Milhões de ton – produção de álcool
27 bilhões de litros
- 52 Milhões de ton – produção de cachaça e rapadura

Etanol

Fermentação



Sacarose

Álcool Etílico

27 Bilhões de litros/ano

Pc = 22,3 MJ/litro

Balanço na Produção de Etanol

(Urquinaga et al, 2005)

84t/ha e 7.224 l/ha

	GJ
Energia Fóssil _____	5,62
Máquinas e Eq. Agrícolas _____	7,23
Fertilizantes e Agroquímicos _____	0,48
Mudas _____	6,03
Equipamentos e Prédios _____	6,03
Insumos / Usina _____	0,62
Total	19,98
Energia Produzida no Etanol	161,10

Razão Etanol/Fóssil – 8,06

PROCESSO (SIMPLIFICADO) PARA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL E AÇÚCAR

**MATÉRIA-PRIMA
(CANA-DE-AÇÚCAR)**

**COM E SEM
LAVAGEM**

**EM FUNÇÃO DO
SISTEMA
DE COLHEITA**

Moagem

CRISTALIZAÇÃO

**TRATAMENTO
DO LÍQUIDO**

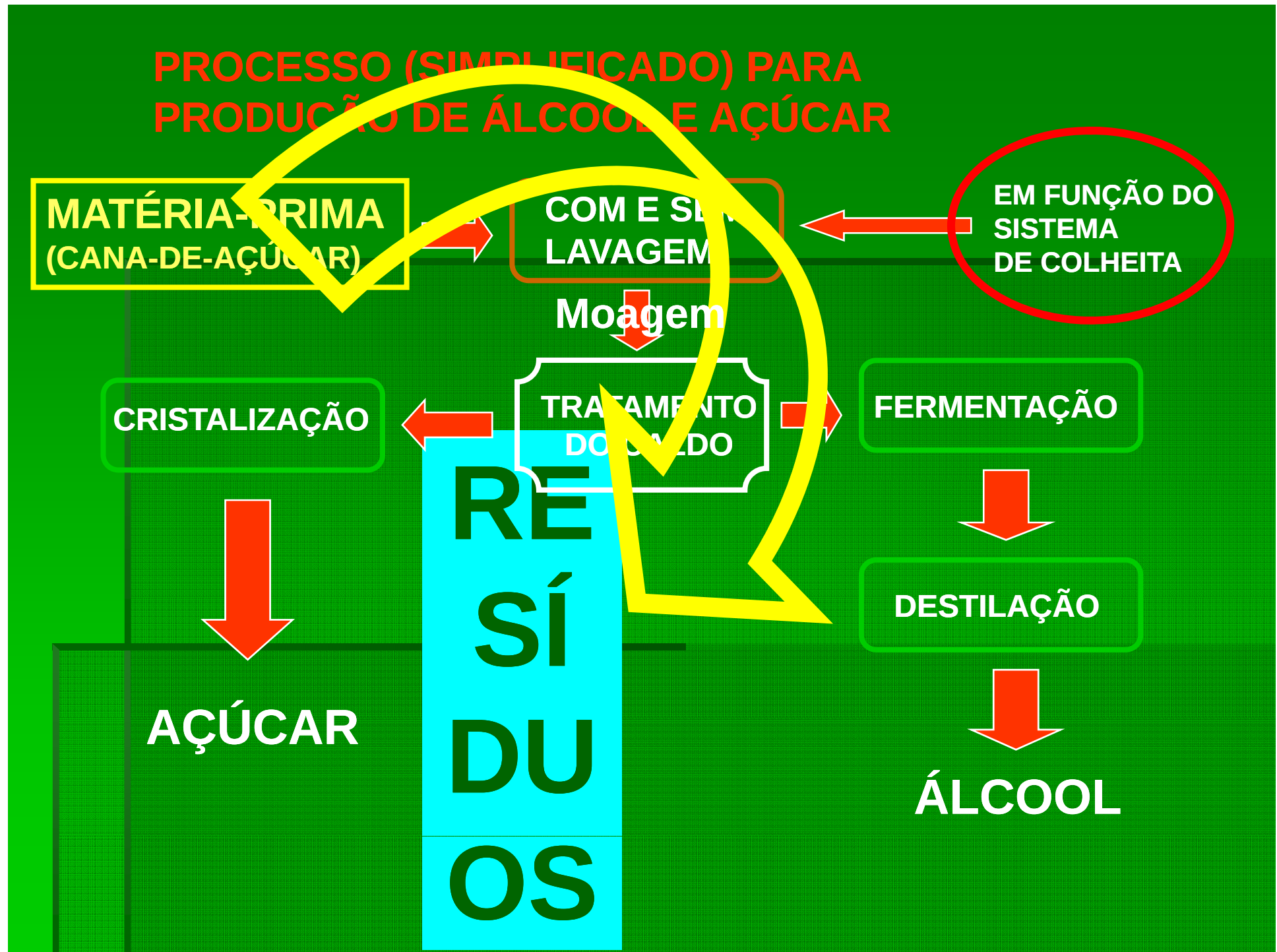
FERMENTAÇÃO

AÇÚCAR

**RE
SÍ
DU
OS**

DESTILAÇÃO

ÁLCOOL



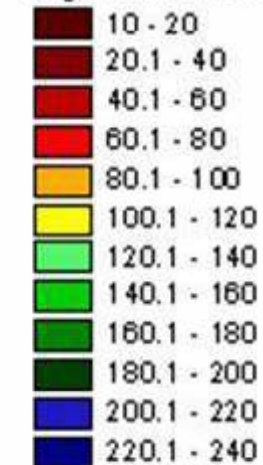
Por que?



Yield Map

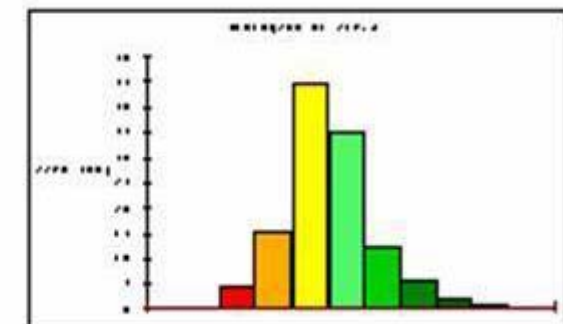
Field 7a 1996
DAVCO FARMING
Burdekin

Sugar Cane Yield (t/ha)

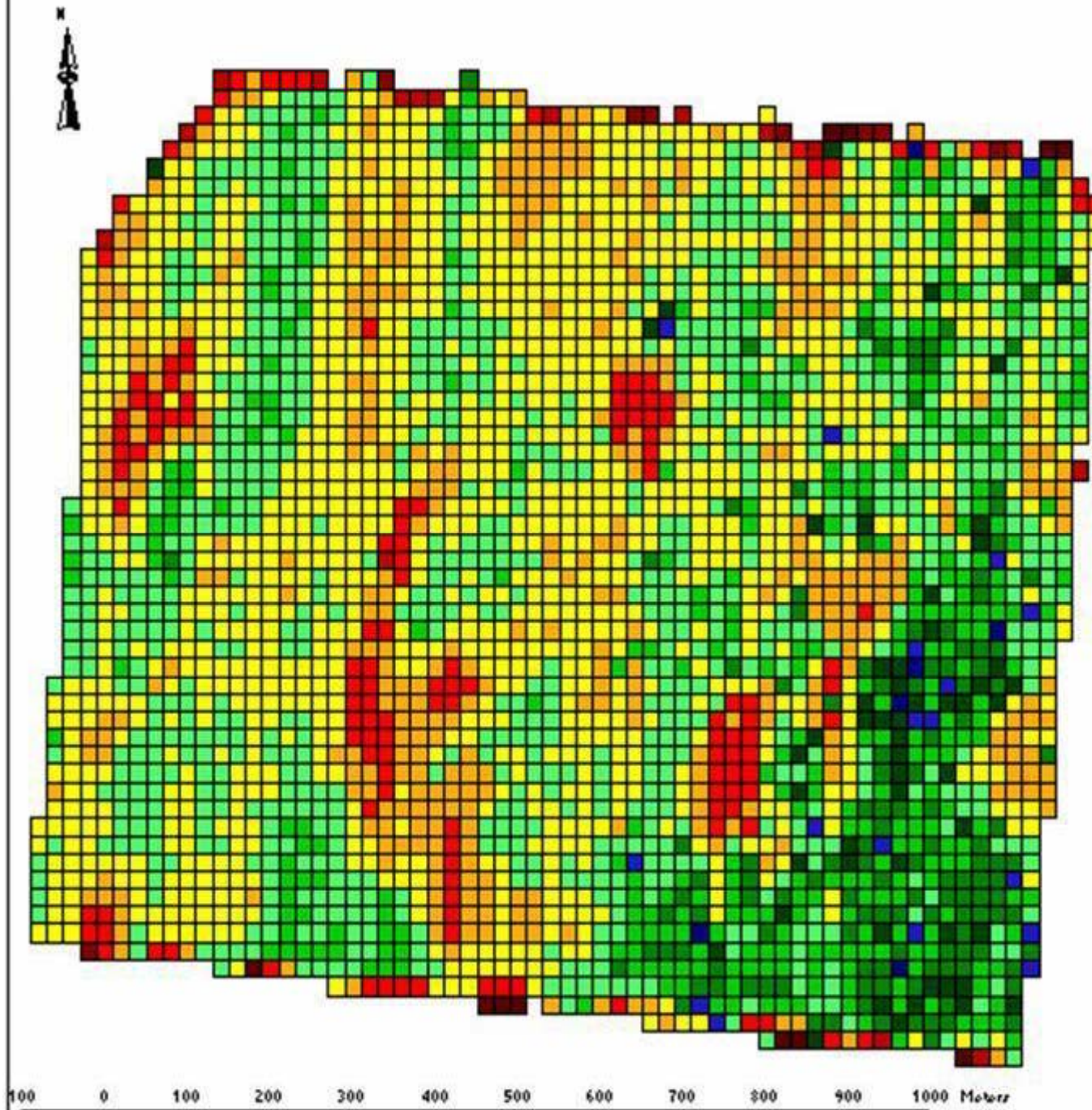


Total Yield: 14287.6t

Average Yield: 122.6 t/ha



By Graeme Cox
16/10/1996





**CONSTITUIÇÃO DA PARTE AÉREA:
COLMOS INDUSTRIALIZÁVEIS**

BROTOS “CHUPÕES”

PALHA

FOLHAS VERDES

PONTEIROS

**MATÉRIA ESTRANHA
VEGETAL**

IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

Fontes: MOLINA (2000), ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL (1997), DE LEON (2000), SARRIES (1997), IBGE, (1999), MAULE (1999), VASCONCELLOS (1986), BIAGI F° (1999), KUVA (1999).

AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA

➤ Área

- ✓ 12% da área agricultada no Brasil (6×10^6 ha);
- ✓ 5° lugar entre as maiores culturas brasileiras.

➤ Brasil

- ✓ Maior produtor mundial de cana-de-açúcar (27% total mundial);
- ✓ 25% da área colhida no mundo;
- ✓ Maior produtor de açúcar centrifugado (11% produção mundial);
- ✓ Maior exportador (5 milhões de toneladas);
- ✓ 1,7% PIB.

Setor sucroalcooleiro
- Geração de empregos

361 unidades agroindustriais
35% da população agrícola do Estado de São Paulo
1.100.000 empregos (diretos e indiretos).
500 empresas periféricas

- Subprodutos

Alimento para animais
Produção de celulose
Cogeração de energia elétrica (bagaço e palhiço)
Aguardente

Por que?

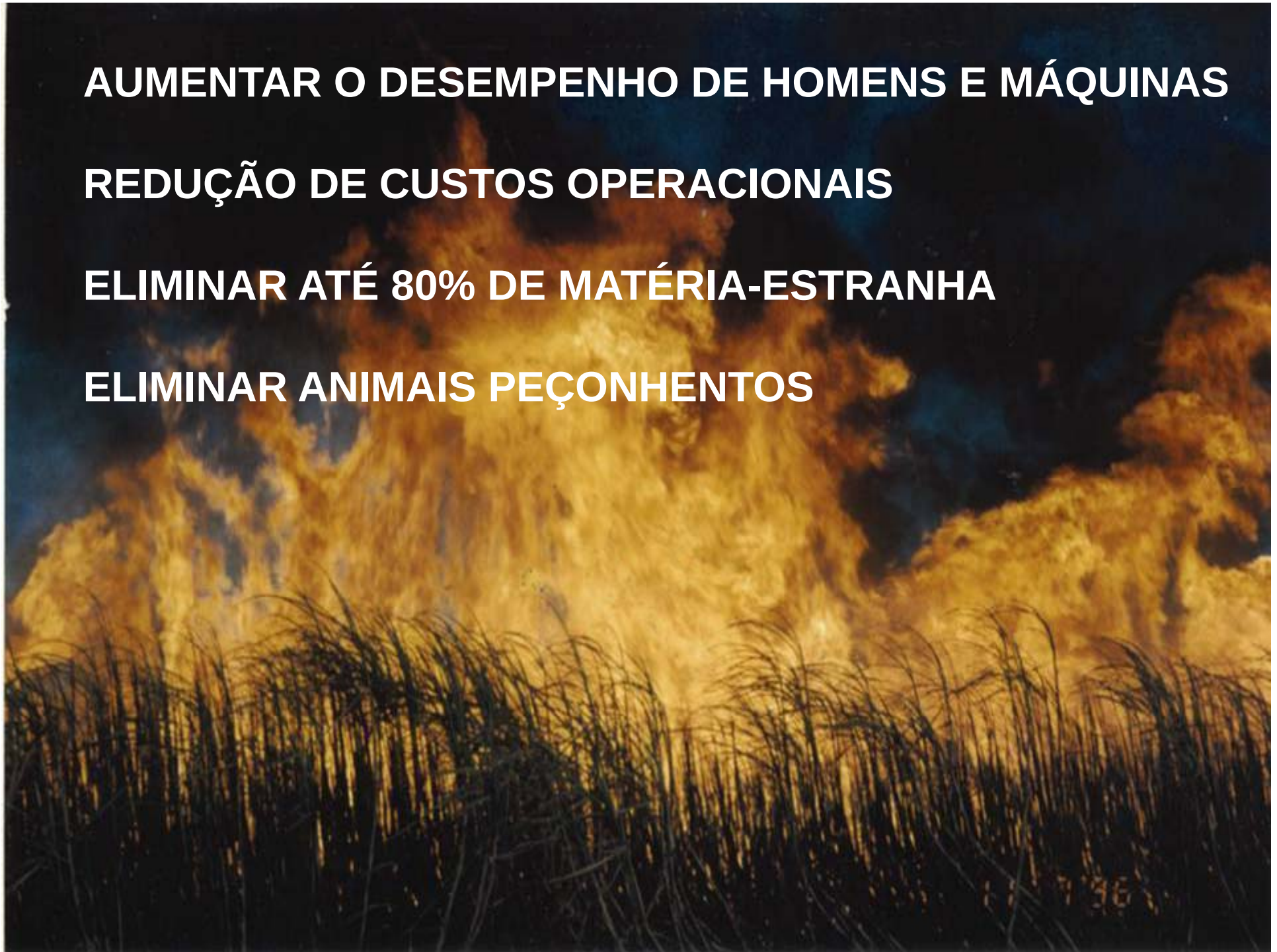


AUMENTAR O DESEMPENHO DE HOMENS E MÁQUINAS

REDUÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS

ELIMINAR ATÉ 80% DE MATÉRIA-ESTRANHA

ELIMINAR ANIMAIS PEÇONHENTOS







**CANA ERETA
QUEIMADA**

CANA ERETA CORTE MANUAL QUEIMADA

10 A 12 t/DIA



**CORTE MANUAL
CANA CRUA
1,2 A 2,5 t/DIA**



CARREGAMENTO CANA QUEIMADA



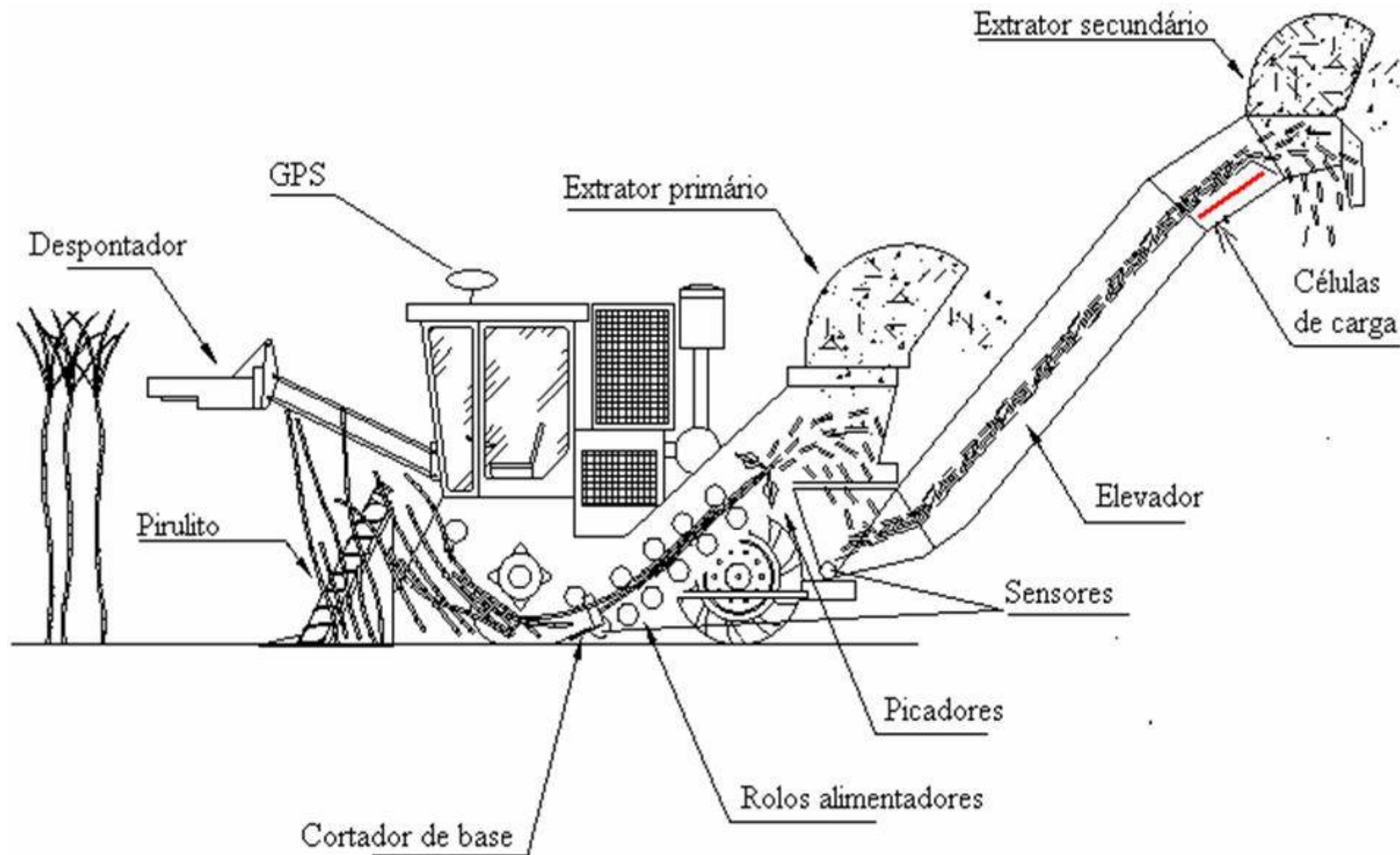
CANA CRUA

CARREGAMENTO MECÂNICO



COLHEDORA (COMBINADA)





COLHEDORA CONSTITUINTES BÁSICOS

PERDAS VISÍVEIS



REBOLOS ADEQUADOS



A close-up photograph showing a large pile of broken sugarcane stalks. The stalks are fragmented into various lengths and widths, with some showing the green outer sheath and others being bare, light brown, and fibrous. They are scattered on a dark, textured surface, possibly a tarp or ground. The text is overlaid on the top left of the image.

**REBOLOS
DESTROÇADOS
(PERDAS SACAROSE)**

**LEVA A
PERDAS INVISÍVEIS**

MATÉRIA ESTRANHA TOTAL (MET): TUDO QUE NÃO É COLMO INDUSTRIALIZÁVEL.

VEGETAL (MEV): FOLHAS VERDES, PALHA, PONTEIROS, BROTO CHUPÕES, RESTOS DE CULTURA

MINERAL (MEM): TERRA

MATÉRIA-PRIMA CARREGADA
MECÂNICAMENTE COM 10 %DE MET



MATÉRIA-PRIMA CARREGADA
MECÂNICAMENTE COM 1,5% DE MET



NÍVEIS ACEITÁVEIS DE QUALIDADE

DA MATÉRIA-PRIMA E ÍNDICE DE PERDAS

CORTE MANUAL + CARREGAMENTO MECÂNICO:

% DE MATÉRIA-ESTRANHA TOTAL: < 3,0

TERRA (%): < 0,7

PERDAS (%): 2

COLHEITA MECANIZADA EM CANA QUEIMADA:

% DE MATÉRIA-ESTRANHA TOTAL: 5

TERRA (%): < 0,6

PERDAS TOTAIS (%): 4

EM CANA CRUA:

% DE MATÉRIA-ESTRANHA TOTAL: 8

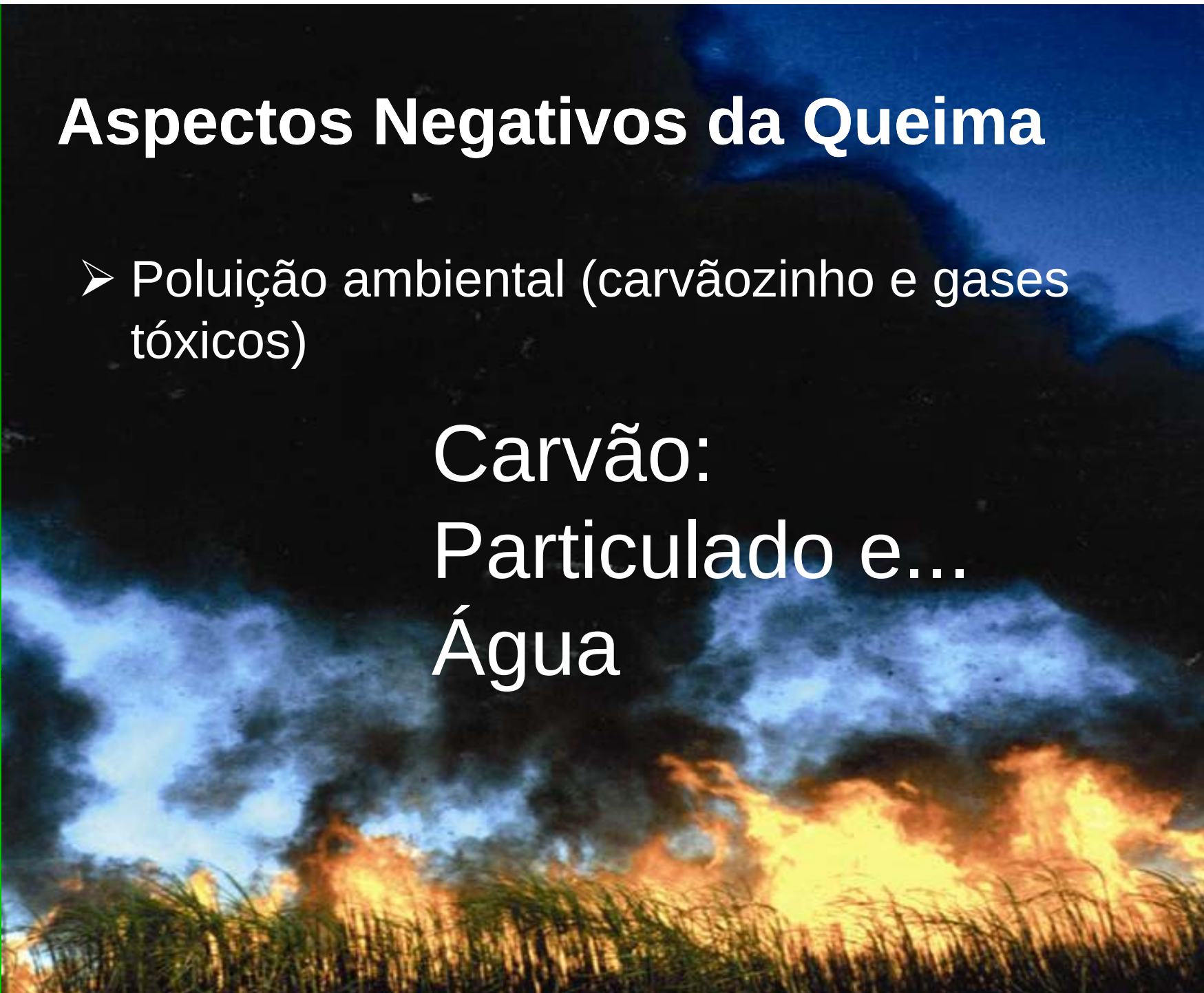
TERRA (%):

PERDAS TOTAIS (%): 6

Aspectos Negativos da Queima

- Poluição ambiental (carvãozinho e gases tóxicos)

Carvão:
Particulado e...
Água



Gases Tóxicos

NO_2

CO_2

CO

NO

OUTROS
GASES
TÓXICOS

900° C

Desperdício de
Energia



DESTILARIA DE ÁLCOOL DE CANA-DE-AÇÚCAR



BAGAÇO

A cada tonelada de cana moída, restam, em média
270 kg de bagaço com 50% de umidade

Uso p/ geração
de Energia para
uso próprio:

40%



108 kg

Eventual Sobra na
Área Cultivada
Total



~ 97 Milhões
de Toneladas

Que Mais?

Resíduos de Colheita!!!

Palhiço.

O Que é Isso? Quanto?

**PALHIÇO REMANESCENTE
COLHEITA MECANIZADA
CRUA**

A photograph showing a person's hand, wearing a black watch, touching a pile of dry sugarcane trash (palhaço) on the ground. The background is a field of sugarcane.

**1 t PALHIÇO = 1,2 Equivalente
Barril de Petróleo**

**1 ha CANAVIAL:
75 t COLMOS
4 A 10 t PALHIÇO
(peso seco)**

**1 ha = 8,4 EBP
50% recolhido = 4,2 EBP
50% fica, fins agronômicos**

50% área canavieira = 3×10^6 ha

$12,6 \times 10^6$ EBP/SAFRA!

1 BARRIL DE PETRÓLEO = US\$ 126...

PALHIÇO ENLEIRADO (60%)

**CONSTITUIÇÃO E UMIDADE(%)
NO MOMENTO DA COLHEITA:
PONTEIROS (85), PALHAS (8),
FOLHAS VERDES(80), FRAÇÕES
DE COLMOS(90), PLANTAS
DANINHAS.**

**UMIDADE 15 DIAS APÓS:
10 A 20% (DEPENDENDO DE
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS)**



**A GRANEL, MÁQUINA
TRACIONADA**



**A GRANEL, MÁQUINA
AUTO PROPELIDA**



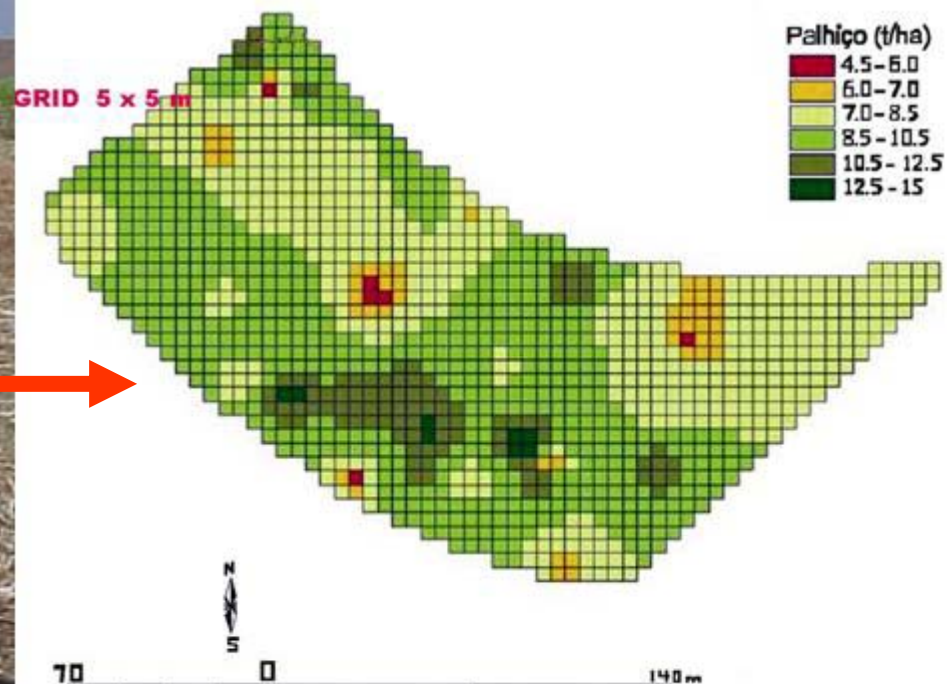
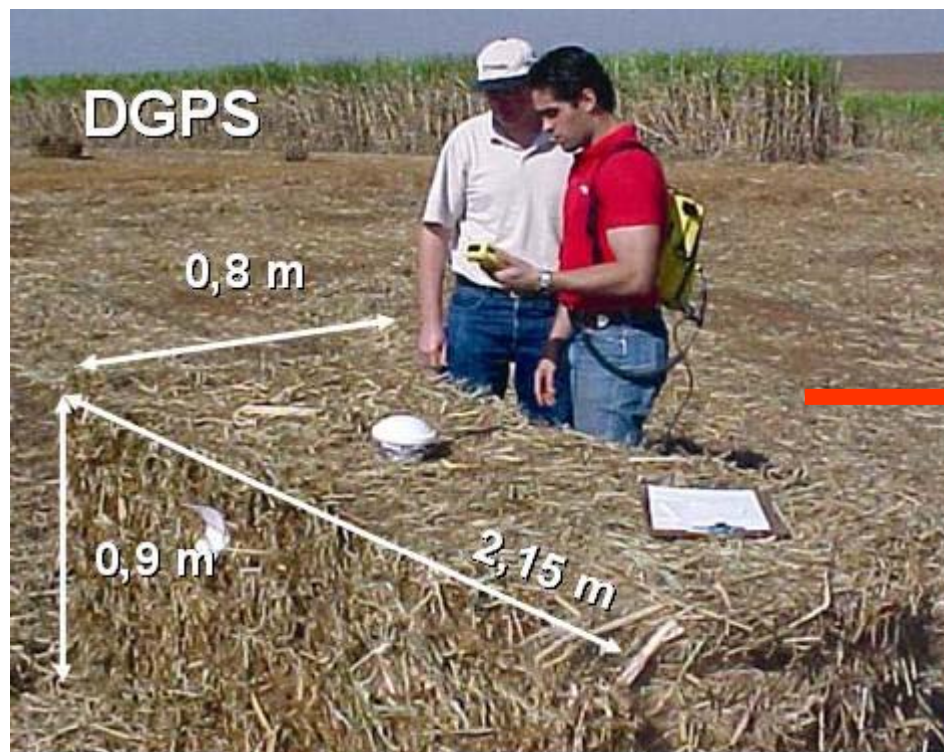
TIPOS DE RECOLHIMENTO

**ENFARDAMENTO
CILÍNDRICO**



**ENFARDAMENTO
PRISMÁTICO**





FONTE: M.L.C.RIPOLI, 2002



CARREGAMENTO



**DESCARREGAMENTO, A GRANEL,
NO PÁTIO DA USINA**

**BAIXA DENSIDADE
ALTO CUSTO TRANSPORTE**



**MELHOR SISTEMA DE RECOLHIMENTO DO PALHIÇO
COLHEITA INTEGRAL (SISTEMAS DE LIMPEZA
DESLIGADOS)**



SEPARAÇÃO DE REBOLOS DE COLMO E PALHIÇO NA USINA

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE SISTEMAS (EES) DE RECOLHIMENTO DE BIOMASSA AGRÍCOLA

$$EES(\%) = [1 - (ECC/ECP)] \cdot 100$$

SEND0, (em Kcal/kg):

ECC = ENERGIA CONSUMIDA NA FORMA DE ÓLEO DIESEL EM TODAS OPERAÇÕES (ENLEIRAMENTO, RECOLHIMENTO, TRANSPORTE, DESCARREGAMENTO, PREPARO).

ECP = ENERGIA EXISTENTE NA BIOMASSA

COGERAÇÃO:
ESTIMATIVA DE RIPOLI et al (2000).

BIOMASSAS	Pu (MJ/t)	A (%)	Ac (ha/ano)	Qt (t/ha)	Pd (pessoas/ano)
PALHIÇO CANA	13551	50	2,7 x 10⁶	11,26	9,85 x 10⁶
BAGAÇO CANA	7868	30	2,7 x 10⁶	18,20	5,55 x 10⁶
PALHA ARROZ	15401	80	1,8 x 10⁶	0,257	0,26 x 10⁶

Pu= poder calorífico; A = % da área de produção; Ac = área de produção; Qt = produtividade; Pd = no. pessoas, de baixa renda, atendidas/ano.

Exercício:

DETERMINE A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM SISTEMA DE RECOLHIMENTO, TRANSPORTE E DESCARREGAMENTO DE BIOMASSA AGRÍCOLA.

DADOS:

PODER CALORÍFICO DA BIOMASSA: 1700 Mcal/t

CONSUMO DE ÓLEO DIESEL NAS OPERAÇÕES: 95 Mcal/t

$$\text{EES}(\%) = [1 - (\text{ECC}/\text{ECP})] \cdot 100$$

$$\text{EES}(\%) = [1 - (125 / 1500)] \cdot 100$$

$$\text{EES} = 94,4 \%$$

(DE CADA 100 UNIDADES DE ENERGIA POSTA NA UNIDADE CONSUMIU-SE, APENAS 5,6 UNIDADES EM DIESEL)

REFERÊNCIA:

RIPOLI, T.C.C. & RIPOLI, M.L.C. BIOMASSA DE CANA-DE-AÇÚCAR; COLHEITA, ENERGIA E AMBIENTE. Ed. dos autores, PIRACICABA, 2004. 302 p.

F I M