

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA ENERGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Análise da Viabilidade da Geração de Energia
Elétrica Descentralizada a partir de resíduos
agrícolas no estado de Goiás e Estudo de Caso do
Município de Rio Verde**

Autor: Luis Roberto de Mello e Pinto

Orientador: Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora

Itajubá, Dezembro de 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA ENERGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Análise da Viabilidade da Geração de Energia
Elétrica Descentralizada a partir de resíduos
agrícolas no estado de Goiás e Estudo de Caso do
Município de Rio Verde**

Autor: Luis Roberto de Mello e Pinto

Orientador: Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora

Curso: Mestrado em Engenharia da Energia

Área de Concentração: Exploração do Uso Racional de Recursos Naturais e Energia

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia da Energia.

Itajubá, Dezembro de 2008
M.G. – Brasil

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA ENERGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Análise da Viabilidade da Geração de Energia
Elétrica Descentralizada a partir de resíduos
agrícolas no estado de Goiás e Estudo de Caso do
Município de Rio Verde**

Autor: Luis Roberto de Mello e Pinto

Orientador: Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora

Composição da Banca examinadora:

Prof. Dr. Flávio Neves Teixeira – UFSJ

Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora – UNIFEI

Prof. Dr. Vladimir Rafael Melian Cobas – UNIFEI

Prof. Dr. Rubenildo Vieira Andrade – NEST

Dedicatória:

*Aos meus queridos pais João e Antonia,
que em vida foram exemplo e orientação
e a minha amada esposa Laiä,
que dividiu comigo a maior realização de nossas vidas,
nosso filho João Pedro, minha maior fonte de inspiração.*

Agradecimentos:

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Electo Eduardo Silva Lora, pela competência, dedicação, paciência, amizade e pela confiança na realização deste trabalho.

Ao pessoal da GMS que foi essencial na realização das pesquisas deste trabalho, principalmente ao amigo Vantuil Ribeiro que com sua competência e espírito empreendedor tornou possível a realização do mesmo.

À Lais, mais que minha amada esposa, mãe do meu filho, por muitas vezes a inspiração para meu trabalho.

Aos funcionários da UNIFEI que na grandeza de seu trabalho possibilitam que o nosso aconteça.

Aos professores da Universidade federal de Itajubá pelos conhecimentos transmitidos.

À Deus.

Mais inteligente é aquele que sabe que não sabe.

Sócrates

Resumo:

PINTO, L. R. M. (2008): Análise da Viabilidade da Geração de Energia Elétrica Descentralizada a partir de resíduos agrícolas no estado de Goiás. Itajubá, 128 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá.

Este trabalho apresenta, dentre os diversos tipos de fontes renováveis de energia elétrica, as que podem ser aplicáveis ao estado de Goiás, levando-se em consideração a disponibilidade de recursos naturais deste estado.

O objetivo deste estudo é avaliar a viabilidade da geração de energia elétrica descentralizada a partir de resíduos agrícolas no estado de Goiás.

Conclui – se após as análises realizadas que a geração distribuída, ou descentralizada de energia elétrica, em Rio Verde , utilizando-se resíduos agrícolas é viável, devido ao custo por MWh produzido estar coerente com as médias de mercado.

Palavras Chave

Resíduos de Biomassa, Geração Descentralizada.

Abstract:

PINTO, L. R. M. (2008): Analysis of feasible of electrical energy decentralized generation with agricultural waste in the state of Goiás. Itajubá, 128p. Msc. Dissertation, Universidade Federal de Itajubá.

This Work presents among several kinds of renewable sources of electrical energy generation, those could be applicable for the State of Goiás, considering the natural resources available in the State.

The objective of this study is to assess the feasible of the decentralized power generation from agricultural waste in the state of Goiás.

The conclusion, after the analysis realized that the spreaded or decentralized power generation in Rio Verde, from agricultural waste is feasible because the cost of the MWh is according to the average of the market.

Keywords

Biomass, distributed power generation.

Sumário

Sumário.....	i
Dedicatória.....	iv
Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract.....	viii
Lista de Figuras	v
Lista de Tabelas	viii
Lista de Termos Siglas e Abreviaturas	x
Capítulo 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – CENÁRIO DO TRABALHO.....	2
1.1.1 - Estado da Arte em Geração de Energia Elétrica a Partir de Fontes Renováveis no Mundo.....	2
1.1.2 – A Motivação deste Trabalho.....	3
1.2 – OBJETIVO DO TRABALHO.....	4
1.3 – HIPÓTESES TEÓRICAS PARA VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE	4
1.4 – METODOLOGIA DO TRABALHO	5
1.5 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
1.5.1 – Tecnologias de Conversão de Resíduos Agrícolas em Energia Elétrica.....	7
1.5.1.1 – Ciclo a vapor.....	8
1.5.1.2 – O processo de gaseificação.....	9
1.5.1.2.1 – Gaseificação e Motores Alternativos de Combustão Interna (MACI)	13
1.5.1.2.2 – Gaseificação e turbinas a gás (BIG-GT)	16
1.5.1.2.3 – Gaseificação e motor Stirling.	17
1.5.1.2.4 – Gaseificação e célula combustível.....	20

Capítulo 2 - A BIOMASSA E SUAS CARACTERÍSTICAS	24	ii
2.1 - BIOMASSA	26	
2.1.1 - Introdução	26	
2.1.2 - Energia de Biomassa no Brasil.....	28	
2.1.3 - Poder Calorífico	28	
2.1.4 - Coeficiente de Produção de Resíduos (C_R).....	30	
2.2 – TRATAMENTO DAS CULTURAS GERADORAS DE RESÍDUOS:	31	
2.2.1 - Introdução	31	
2.2.2 - Produção e Manejo de Resíduos Agrícolas.....	33	
2.2.2.1 - Vantagens agronômicas do SPD	33	
2.2.3 – Índice de Colheita (I_c) da Biomassa Residual	35	
2.2.4 - Coleta e Transporte da Biomassa	35	
2.2.5 - Armazenamento	41	
2.2.5.1 - Resíduo retalhado e triturado	42	
2.2.5.2 - Fardos	42	
Capítulo 3 - CULTURAS COM MAIOR POTENCIAL DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS E SUA DISPONIBILIDADE NO ESTADO DE GOIÁS	44	
3.1 - ALGODÃO	44	
3.1.1 - Introdução	44	
3.1.2 - Cultivo de Algodão	45	
3.1.3 - A Produção de Algodão no Brasil.....	46	
3.1.4 - A Produção de Algodão em Goiás	47	
3.2 - ARROZ	51	
3.2.1 - Introdução	51	
3.2.2 - Cultivo de Arroz.....	52	

	iii
3.2.3 - A Produção de Arroz no Brasil	53
3.2.4 - A Produção de Arroz em Goiás.....	54
3.3 - CANA-DE-AÇÚCAR.....	58
3.3.1 - Introdução	58
3.3.2 - Cultivo da Cana-de-açúcar	59
3.3.3 - A Produção de Cana-de-Açúcar no Brasil	59
3.3.4 - A Produção de Cana-de-Açúcar em Goiás.....	61
3.4 - FEIJÃO	65
3.4.1 - Introdução	65
3.4.2 - Cultivo do Feijoeiro Comum	65
3.4.3 - A Produção de Feijão no Brasil	66
3.4.4 - Produção de Feijão em Goiás.....	68
3.5 - MILHO.....	71
3.5.1 - Introdução	71
3.5.2 - Cultivo de Milho Normal e Safrinha.....	73
3.5.3 - A Produção de Milho no Brasil.....	73
3.5.4 - Produção de Milho em Goiás	75
3.6 - SOJA	78
3.6.1 - Introdução	78
3.6.2 - Cultivo da Soja.....	80
3.6.3 - A Produção de Soja no Brasil	80
3.6.4 - A Produção de Soja em Goiás.....	82

	iv
3.7 – SORGO.....	86
3.7.1 – Introdução.....	86
3.7.2 – Cultivo de Sorgo.....	88
3.7.3 – A Produção de Sorgo Granífero no Brasil.....	88
3.7.4 – A Produção de Sorgo Granífero em Goiás.....	90
3.8 – TRIGO.....	94
3.8.1 – Introdução.....	94
3.8.2 – Cultivo de Trigo.....	95
3.8.3 – A Produção de Trigo no Brasil.....	95
3.8.4 – Produção de Trigo em Goiás.....	97
Capítulo 4 SIMULAÇÃO DE ESTUDO DE CASO – MUNICÍPIO DE RIO VERDE	102
4.1 – DETERMINAÇÃO DA ORIENTAÇÃO DO ESTUDO.....	102
4.2 – POTENCIAIS ENERGÉTICOS DE RIO VERDE.....	103
4.3 – CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE USINA TERMELÉTRICA EM RIO VERDE	107
4.3.1 - Considerações para Levantamento dos Custos.....	107
Capítulo 5 - CONCLUSÕES.....	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129

Lista de Figuras

Figura 01 – Rotas tecnológicas de conversão de biomassa em energia elétrica.....	07
Figura 02 – Diagrama esquemático do processo de conversão do ciclo a vapor	09
Figura 03 – Diagrama esquemático das etapas e zonas de gaseificação	10
Figura 04 – Tipos de gaseificadores	11
Figura 05 – Diagrama da utilização do gás de biomassa em motores de combustão interna alternativo (MCIA)	12
Figura 06 – Ciclo de um motor de combustão interna de quatro tempos.....	14
Figura 07 – Esquema de tecnologia de gaseificador acoplado a motor alternativo de combustão interna.....	15
Figura 08 – Processo de gaseificação de biomassa da universidade técnica de Viena – Áustria	15
Figura 09 – Diagrama de uma turbina a gás.....	16
Figura 10 – Esquema da tecnologia de gaseificação acoplado a turbina a gás.....	17
Figura 11 – Etapas de funcionamento de um motor Stirling.....	19
Figura 12 – Esquema de funcionamento de um motor Stirling.....	19
Figura 13 – Esquema de uma célula combustível	20
Figura 14 – Esquema da tecnologia de gaseificação acoplada a célula combustível	22
Figura 15 – Fontes primárias para geração elétrica no Brasil	25
Figura 16 – Calorímetro Joule.....	29
Figura 17 – Sistema de plantio direto da soja.....	34
Figura 18 – Enleiradora	38
Figura 19 – Enfardadora de fardos cilíndricos	38
Figura 20 – Equipamento de picar material enfardado.....	39
Figura 21 – Fluxograma de operações realizadas.....	41
Figura 22 – Cultura de algodão	45
Figura 23 – Evolução da área cultivada de algodão no Brasil.....	46
Figura 24 – Crescimento da produção de algodão no Brasil.....	47
Figura 25 – Maiores produtores de algodão no Brasil.....	47
Figura 26 – Evolução da área cultivada com algodão no estado de Goiás.....	48
Figura 27 – Evolução da produção de algodão no estado de Goiás	49

Figura 28 – Participação das regiões de planejamento na produção de algodão.....	51
Figura 29 – Plantação de arroz	52
Figura 30 – Evolução da área cultivada com arroz no Brasil.....	53
Figura 31 – Crescimento da produção de arroz no Brasil	53
Figura 32 – Maiores produtores de arroz no Brasil.....	54
Figura 33 – Evolução da área cultivada com arroz no estado de Goiás	54
Figura 34 – Evolução da produção de arroz no estado de Goiás.....	55
Figura 35 – Participação das regiões de planejamento na produção de arroz	57
Figura 36 – Plantação de cana de açúcar.....	58
Figura 37 – Evolução da área cultivada com cana de açúcar no Brasil.....	60
Figura 38 – Crescimento da produção de cana de açúcar no Brasil.....	60
Figura 39 – Maiores produtores de cana de açúcar no Brasil.....	61
Figura 40 – Evolução da área cultivada com cana de açúcar no estado de Goiás.....	62
Figura 41 – Evolução da produção de cana de açúcar no estado de Goiás	62
Figura 42 – Participação das regiões de planejamento na produção de cana de açúcar	64
Figura 43 – Plantação de feijão comum	65
Figura 44 – Evolução da área cultivada com feijão no Brasil.....	66
Figura 45 – Crescimento da produção de feijão no Brasil	67
Figura 46 – Maiores produtores de feijão no Brasil	67
Figura 47 – Evolução da área cultivada com feijão no estado de Goiás	68
Figura 48 – Evolução da produção de feijão no estado de Goiás.....	69
Figura 49 – Participação das regiões de planejamento na produção de feijão	71
Figura 50 – Cultivo mecanizado de milho.....	72
Figura 51 – Evolução da área cultivada com milho no Brasil.....	74
Figura 52 – Crescimento da produção de milho no Brasil	74
Figura 53 – Maiores produtores de milho no Brasil.....	75
Figura 54 – Evolução da área cultivada com milho no estado de Goiás.....	76
Figura 55 – Evolução da produção de milho no estado de Goiás.....	76
Figura 56 – Participação das regiões de planejamento na produção de milho	78
Figura 57 – Plantação de soja.....	79
Figura 58 – Evolução da área cultivada com soja no Brasil.....	79
Figura 59 – Crescimento da produção de soja no Brasil.....	81
Figura 60 – Maiores produtores de soja no Brasil.....	82
Figura 61 – Evolução da área cultivada com soja no estado de Goiás.....	83

Figura 62 – Evolução da produção de soja no estado de Goiás	83
Figura 63 – Participação das regiões de planejamento na produção de soja.....	86
Figura 64 – Plantação de sorgo granífero.....	87
Figura 65 – Evolução da área cultivada com sorgo granífero no Brasil.....	88
Figura 66 – Crescimento da produção de sorgo granífero no Brasil.....	89
Figura 67 – Maiores produtores de sorgo granífero no Brasil.....	90
Figura 68 – Evolução da área cultivada com sorgo granífero no estado de Goiás.....	91
Figura 69 – Evolução da produção de sorgo granífero no estado de Goiás	91
Figura 70 – Participação das regiões de planejamento na produção de sorgo granífero.....	92
Figura 71 – Plantação de trigo	94
Figura 72 – Evolução da área cultivada com trigo no Brasil.....	95
Figura 73 – Crescimento da produção de trigo no Brasil	96
Figura 74 – Maiores produtores de trigo no Brasil.....	97
Figura 75 – Evolução da área cultivada com trigo no estado de Goiás.....	98
Figura 76 – Evolução da produção de trigo no estado de Goiás	99
Figura 77 – Participação das regiões de planejamento na produção de trigo.....	101

Lista de Tabelas

Tabela 01 – Características dos diferentes tipos de células combustíveis.....	23
Tabela 02 – Resultado de ensaios de 10 enfardadoras	40
Tabela 03 – Municípios maiores produtores de algodão em Goiás e seus potenciais.....	50
Tabela 04 – Municípios maiores produtores de arroz em Goiás e seus potenciais	56
Tabela 05 – Municípios maiores produtores de cana de açúcar em Goiás e seus potenciais..	63
Tabela 06 – Municípios maiores produtores de feijão em Goiás e seus potenciais	70
Tabela 07 – Municípios maiores produtores de milho em Goiás e seus potenciais	77
Tabela 08 – Municípios maiores produtores de soja em Goiás e seus potenciais.....	84
Tabela 09 – Municípios maiores produtores de sorgo granífero em Goiás e seus potenciais.	93
Tabela 10 – Municípios maiores produtores de trigo em Goiás e seus potenciais.....	100
Tabela 11 – Premissas e considerações para cálculo dos potenciais.....	106
Tabela 12 – Potenciais calculados para as diversas culturas de Rio Verde.....	107
Tabela 13 – Características dos fardos de armazenamento de biomassa residual.....	108
Tabela 14 – Custo base de coleta, enleiramento, enfardamento e transporte	110
Tabela 15 – Custo adicional de transporte.....	111
Tabela 16 – Custos totais de coleta, enleiramento, enfardamento e transporte.....	112
Tabela 17 – Considerações para galpão de armazenamento	113
Tabela 18 – Custo do piso do galpão.....	115
Tabela 19 – Custo das colunas das paredes do galpão	116
Tabela 20 – Custo total de armazenamento.....	116
Tabela 21 – Custo de mercado de equipamentos de conversão	117
Tabela 22 – Considerações para instalação da casa de máquina.....	119
Tabela 23 – Considerações para conexão com a rede	120
Tabela 24 – Custo de mercado para acessórios elétricos	120
Tabela 25 – Custos de empilhadeiras, esteiras, casa de máquinas e equipamentos	121
Tabela 26 – Custo de acessórios elétricos e conexão com a rede	121
Tabela 27 – Custos totais para as duas opções de equipamentos	122
Tabela 28 – Premissas para estudo econômico	122

Tabela 29 – Fator de retorno de capital	123
Tabela 30 – Custos por MWh e kW gerados.....	125

Lista de Termos Siglas e Abreviaturas;

Letras Latinas

CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
GWh	Giga Watt hora
H ₂	Hidrogênio
H ₂ O	Água
Kg	Kilo grama
kJ	Kilo Joule
kW	Kilo Watt
kWe	Kilo Watt Elétrico
kWh	Kilo Watt hora
NM ³	Newton metro cúbico
W	Watt

Letras Gregas

η	Rendimento da Tecnologia
--------	--------------------------

Abreviaturas

A _F	Área do Fardo
AFC	Célula Combustível Alcalina
A _{FT}	Área de Fardos Total
A _{LP}	Área Lateral do Pátio
A _P	Área do Pátio
A _{PF}	Área de Pilhas de Fardos
C _{AEC}	Custo de Acessórios Elétricos para a Opção Através de Caldeira

C_{AEG}	Custo de Acessórios Elétricos para a Opção Através de Gaseificador
C_{ATi}	Custo Adicional de Transporte por Tonelada
CC	Célula Combustível
C_{CEETB}	Custo de Coleta, Enleiramento, Enfardamento e Transporte Base
C_{CM}	Custo da Casa de Máquinas
C_E	Custo de Empilhadeiras
CEC	Custo de Equipamentos para a Opção Através de Caldeira
$C_{EC/kW}$	Custo de Equipamentos para a Opção Através de Caldeira por kW Instalado
C_{EG}	Custo de Equipamentos para a Opção Através de Gaseificador
$C_{EG/kW}$	Custo de Equipamentos para a Opção Através de Gaseificador por kW Instalado
C_{EST}	Custo das Esteiras
C_{ETAC}	Custo Total Anualizado para a Opção Através de Caldeira
C_{ETAG}	Custo Total Anualizado para a Opção Através de Gaseificador
C_I	Custo de Interligação
C_{kWc}	Custo por kW Instalado para Opção Através de Caldeira
C_{kWg}	Custo por kW Instalado para Opção Através de Gaseificador
C_{MWhc}	Custo do MWh para Opção Através de Caldeira
C_{MWhg}	Custo do MWh para Opção Através de Gaseificador
C_{PEST}	Comprimento das Esteiras
C_R	Coefficiente de Produção de Resíduos
C_{TC}	Custo Total para a Opção Através de Caldeira
C_{TG}	Custo Total para a Opção Através de Gaseificador
C_{TPBT}	Custo de Transporte Base por Tonelada
D_F	Densidade do Fardo
E_H	Energia gerada por hora
FRC	Fator de Recuperação de Capital
h_F	Altura do Fardo
I_C	Índice de Colheita
L_G	Largura do Galpão
L_P	Largura da Parede
MACI	Motor Alternativo de Combustão Interna
MCFC	Célula Combustível de Carbonato Fundido

m_H	Massa de Biomassa por hora
MS	Motor Stirling
MTG	Micro Turbina a Gás
m_U	Massa de Biomassa Útil
M_{UT}	Massa Útil Total de Biomassa
N_{CA}	Número de Caminhões Adicionais
N_{CT}	Número de Caminhões Total
N_E	Número de Empilhadeiras
N_F	Número de Fardos
N_{FH}	Número de Fardos por Hora
N_{FP}	Número de Fardos na Pilha
N_{FT}	Número de Fardos Total
O&M	Operação e Manutenção
P	Potência Gerada
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PAFC	Célula Combustível de Ácido Fosfórico
PAR	Photosynthetically Active Radiation
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PEM	Célula Combustível de Membrana de troca de Prótons
PIB	Produto Interno Bruto
SIN	Sistema Interligado Nacional
SOFC	Célula Combustível de Óxido de Sólido
SPD	Sistema de Plantio Direto
TG	Turbina a gás
V_F	Volume do Fardo
V_{FT}	Volume de Fardos Total

Siglas

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CELG	Companhia Energética de Goiás
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEE	Grupo de Estudos Energéticos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NEST	Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída
PROALCOOL	Programa Nacional do Alcool
TUV	Universidade Técnica de Viena
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Vive-se hoje uma crescente demanda por energia em todo o planeta, já que o crescimento das economias e seu respectivo aumento na qualidade de vida dos povos estão totalmente atrelados a um consumo energético cada vez maior. Cada vez mais os recursos se tornam escassos e a fragilidade de nosso meio ambiente aparente.

O mundo vem respondendo às crescentes pressões de ambientalistas com formas menos agressivas ao ambiente e mais criativas para buscar o atendimento do crescimento da demanda por energia.

Alguns países conseguem dar os primeiros passos no sentido de gerarem uma parte cada vez maior de sua energia de forma sustentável. Eles aproveitam os recursos naturais disponíveis. Vamos estudar adiante alguns exemplos de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis pelo mundo e pelo Brasil.

Não podemos desconsiderar que um grande número de pessoas ainda vive sem acesso a fornecimento de energia elétrica.

No Brasil, as distribuidoras de energia locais, principalmente de estados com menor índice populacional, têm dificuldades para equilibrar e planejar seus investimentos na busca de atender, não somente a demanda crescente de seus centros urbanos, mas também as pequenas demandas de cidades menores, vilas e povoados espalhados pelo interior, muitas vezes distante das Subestações e de suas linhas de transmissão.

Este trabalho visa mostrar a viabilidade da geração de energia elétrica descentralizada a partir de resíduos agrícolas no estado de Goiás.

Serão estudadas neste trabalho as fontes renováveis de geração de energia elétrica, as mais atuais pelo mundo, que são aplicáveis no Brasil, mas principalmente nas disponíveis no estado de Goiás, com foco principal na biomassa celulósica.

1.1 – CENÁRIO DO TRABALHO

1.1.1 - Estado da Arte em Geração de Energia Elétrica a Partir de Fontes Renováveis no Mundo

Alguns países já possuem em sua matriz de geração elétrica fontes limpas e renováveis, como alguns exemplos que serão apresentados a seguir, fruto de intensa pesquisa e desenvolvimento.

A Holanda é referência hoje com suas fazendas de geração de energia elétrica eólica, ou seja, utilizando a força motriz dos ventos para girar as pás dos rotores. Com os estudos o desenvolvimento desta modalidade de geração foi muito grande possibilitando atualmente altas potências instaladas inclusive com baixas velocidades dos ventos.

Na Inglaterra se destacam duas modalidades de geração de energia com fontes renováveis.

A primeira é a de ondas, onde grandes vagões com óleo pressurizado são ancorados na arebentação da praia aproveitando o “sobe e desce” das ondas para deslocar o óleo de um vagão para o outro, movimentando desta forma as pás dos rotores instalados entre os vagões e gerando energia. Os dois projetos em testes já existentes têm potência nominal de 750kW e 500kW, que são Dispositivos Pelamis e Limpet, respectivamente.

A segunda é a Maré Motriz, que consiste no represamento das águas que sobem com a maré e posterior canalização da mesma, conduzindo-a através de conduto para girar as pás do rotor em sua volta para a maré baixa e gerando energia.

Nos Estados Unidos estão sendo instaladas no rio Hudson turbinas que serão movidas com ao corrente do rio. Tais turbinas ficam submersas inseridas nos pontos de mais forte correnteza do rio, fazendo assim girar as pás do rotor e gerando energia.

No Brasil está sendo instalada no rio Paraíba do sul na altura da cidade de Resende no estado do Rio de Janeiro uma central com rotor vertical na margem do rio e pás do rotor como cata vento dentro do fluxo de água do rio, proporcionando a tração necessária para girar o rotor e gerar energia.

Já no litoral do Estado do Ceará, em uma profundidade média de 17m, está previsto a instalação da primeira usina de ondas no Brasil, que poderá gerar 500kW, caso seja concretizada a idéia da instalação de 20 módulos.

As usinas açucareiras, principalmente do interior do estado de São Paulo, que investiram em produção de energia a partir da sua biomassa residual, já são praticamente auto-suficientes e em alguns casos comercializam o excedente de sua produção com a operadora local.

Estes são alguns exemplos da tecnologia atual que possibilita a partir de diversas fontes a geração de energia limpa, de forma segura e renovável. Ao longo deste trabalho estudaremos mais profundamente a geração de energia a partir de algumas das fontes renováveis disponíveis em recursos naturais no Brasil e principalmente em Goiás.

1.1.2 – A Motivação deste Trabalho

Esta dissertação de mestrado foi inspirada na pesquisa e desenvolvimento contratada pela CELG – Cia. Energética de Goiás com a FUPAI com apoio acadêmico da UNIFEI – Universidade Federal de Itajubá pelos seus Grupos de Pesquisa GEE e NEST e da GMS.

Este trabalho teve sua concepção na necessidade da operadora local CELG em melhorar suas condições de planejamento de atendimento de suas demandas distribuídas pelo interior do estado de forma que pudesse maximizar o acerto nas decisões tomadas.

Para cada demanda de cada localidade a operadora tem uma gama de soluções possíveis. Para o atendimento, por exemplo, de uma localidade isolada a operadora pode estender sua rede, via crescimento de sua transmissão, ou pode implementar uma PCH no redor da mesma, ou pode ainda incentivar um usineiro de açúcar a investir no auto atendimento de sua

demanda de energia podendo o mesmo comercializar seu excedente. Esta energia seria gerada por uma termoelétrica que queimasse o resíduo da biomassa de cana-de-açúcar.

Enfim o grande motivador desta pesquisa foi a recente demanda da operadora CELG em ter mais facilmente um conjunto de informações que a ajudassem a realizar um melhor planejamento de atendimento de suas crescentes demandas.

1.2 – OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é verificar a possibilidade da utilização de resíduos da produção agrícola do estado de Goiás para a produção de energia através da geração distribuída.

Neste estudo se fará um minucioso levantamento de dados, com relação aos diversos aspectos da disponibilidade dos recursos.

Este levantamento de dados deverá prover o pesquisador de informações sobre quais os recursos naturais estarão disponíveis para serem utilizados, em quais quantidades estes resíduos poderão ser aproveitados, quais os períodos de disponibilização, quais os detalhes para seu transporte e armazenamento, quais as capacidades de conversão de energia de cada item a ser analisado, além de verificar qual a melhor tecnologia a ser utilizada para esta conversão no empreendimento.

1.3 – HIPÓTESES TEÓRICAS PARA VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE

Para que se possa testar a viabilidade de geração de energia elétrica de forma descentralizada a partir de resíduos agrícolas no estado de Goiás, precisa-se que alguns eventos ocorram. A estes eventos são as hipóteses que devem ser verdadeiras para que a geração de energia em questão seja um empreendimento viável para o estado de Goiás.

Como a matéria prima para a geração de energia neste caso será oriunda dos resíduos das produções agrícolas do estado de Goiás, podemos considerar a primeira hipótese;

A quantidade de resíduos agrícolas das diversas culturas de uma determinada região ou micro região do estado é suficiente para gerar potencial de geração que atenda a sua demanda.

A segunda hipótese considera a tecnologia de conversão de energia. Para resíduos agrícolas de diversas culturas diferentes em uma mesma região ou micro região é viável a conversão através de gaseificação em detrimento da conversão através de ciclo a vapor. Esta afirmação se confirma para valores menores de potencial de geração. Para valores maiores de potencial de geração, é viável a conversão através de ciclo a vapor em detrimento da conversão através de gaseificação. Um dos motivos para esta característica é que ainda não existem equipamentos comercialmente disponíveis para a conversão através de gaseificação para todas as faixas de potência.

A terceira hipótese considerará o transporte dos diversos tipos de resíduos disponíveis em uma região ou micro região do ponto de sua disponibilidade até a usina onde ocorrerá a conversão, admitindo que sejam transportados os resíduos em uma distância padrão de 50 km podendo ser esta distância de no máximo 100 km.

A quarta hipótese trata do armazenamento dos resíduos para posterior utilização, sendo que estes resíduos não podem ser simplesmente armazenados, eles precisam ser enfiados e não expostos à umidade para melhorar sua durabilidade e manter suas características de potencial energético.

A quinta hipótese é econômica. Trata-se da avaliação do custo final do MWh instalado considerando-se todos os custos aplicados a tal empreendimento para geração através de gaseificação dos resíduos com referenciais estabelecidos de orientação do trabalho.

Estas são as hipóteses que, se provadas verdadeiras atestarão a viabilidade de geração de energia elétrica descentralizada a partir de fontes renováveis no estado de Goiás.

1.4 – METODOLOGIA DO TRABALHO

Uma vez levantadas, no capítulo anterior, as hipóteses que podem atestar a viabilidade do empreendimento em questão, descreve-se neste capítulo a metodologia que caracterizará todas as etapas deste trabalho.

Quanto aos recursos de biomassa agrícola, para que os mesmos possam ser utilizados para geração de energia elétrica em determinada localidade, primeiramente deve-se identificar quais os tipos de biomassa que são produzidos na mesma, deve-se determinar a maneira como esta biomassa será coletada e armazenada e a definição da melhor opção tecnologia a ser utilizada para o aproveitamento da biomassa.

No estudo das possibilidades de geração de energia com resíduos agrícolas para o estado de Goiás selecionou-se um conjunto de culturas que se apresentam com expressivo volume de produção, conseqüentemente existirá também a produção de um volume significativo de resíduos que, respeitando-se certas condições, poderão ser em parte ou na sua totalidade utilizados para produção de energia.

Inicialmente fez-se o levantamento de dados de produção de diversas culturas produzidas no estado de Goiás, sua distribuição territorial, seu enquadramento econômico, selecionando-se então, conforme citado anteriormente, aquelas com volume significativo de produção, a fim de se estudar a possibilidade de utilização dos resíduos das mesmas para a geração de eletricidade.

A partir das culturas selecionadas fez-se um estudo geral de cada uma delas, identificando as mesmas, sua importância econômica, os sistemas de produção, volume de produção e área cultivada em nível nacional, volume de produção e área cultivada no estado de Goiás, identificando as principais regiões e municípios produtores no estado, realizando-se um estudo preliminar para se ter uma estimativa do potencial de geração, caso os resíduos agrícolas das culturas estudadas que possam ser utilizados para a geração de energia elétrica.

Os dados que subsidiaram esta primeira fase deste estudo foram obtidos basicamente por meio de pesquisas junto aos órgãos oficiais como, por exemplo, a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e a Agência Rural de Goiás, literaturas especializadas em cada tema abordado, contatos com pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA e departamentos de Universidades Federais dedicados a trabalhos na área agrícola.

O próximo passo foi equacionar matematicamente os dados colhidos com a finalidade de se conhecer o potencial de geração de energia elétrica descentralizado para cada localidade.

Uma vez conhecido o potencial de geração de cada localidade, pesquisou-se qual a tecnologia adequada para a conversão em energia elétrica, ou seja, qual equipamento e infraestrutura seriam necessários para a conversão dos resíduos agrícolas efetivamente disponíveis em cada localidade em energia elétrica.

Neste ponto, estudaram-se quais as características de coleta, transporte e armazenamento dos resíduos de produção agrícola para cada tipo de cultura a ser utilizada para que pudéssemos determinar os custos de cada etapa do empreendimento.

Para a obtenção das conclusões da viabilidade ou não da geração descentralizada de energia elétrica a partir de resíduos agrícolas no estado de Goiás comparou-se todos os dados conseguidos anteriormente com as orientações que podem ser consideradas em cada caso, em cada localidade.

1.5 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.5.1 – Tecnologias de Conversão de Resíduos Agrícolas em Energia Elétrica

O objetivo deste capítulo é realizar uma breve e sucinta explicação acerca das tecnologias disponíveis e aplicáveis ao estudo para a conversão energética da biomassa em centrais de pequeno porte. A Figura 01 permite visualizar o processo de conversão, o produto gerado pelos processos e as máquinas motrizes utilizáveis para cada tecnologia. Este capítulo é parte de um estudo do NEST como fonte de suporte acadêmico à pesquisa da GMS em 2006.

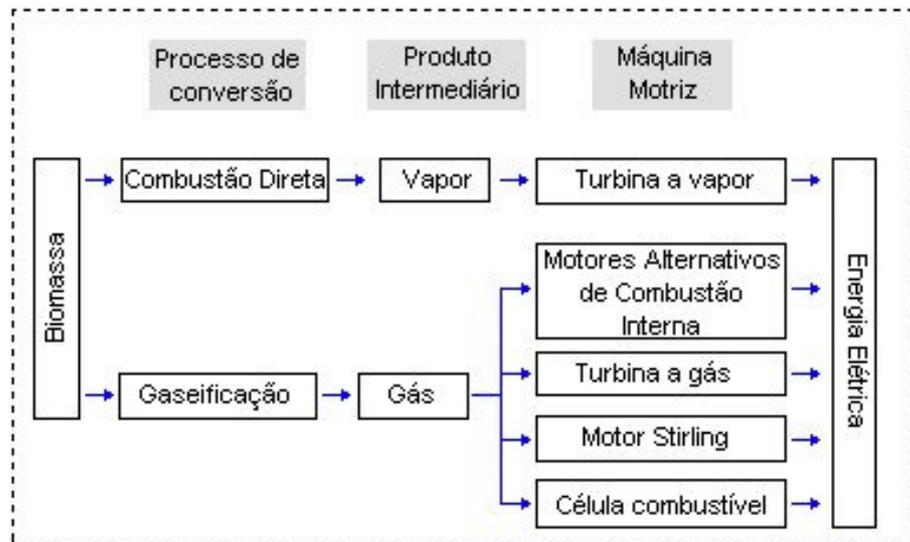


Figura 01: Rotas tecnológicas de conversão de biomassa em energia elétrica.

1.5.1.1 – Ciclo a vapor

Nestes sistemas, a biomassa é queimada diretamente em caldeiras, por isso, chamadas caldeiras de queima direta, e a energia térmica resultante é utilizada na produção do vapor. Este vapor acionará uma turbina a vapor para geração de energia elétrica e ao sair da turbina será direcionado para atender as necessidades térmicas do processo produtivo, em sistemas de cogeração, ou é direcionado para um condensador retornando à caldeira na forma de condensado.

As principais características dos sistemas convencionais de produção de energia elétrica a partir da biomassa baseados em ciclos simples a vapor, a partir da combustão direta do insumo primário, são a baixa capacidade e o reduzido desempenho energético, que se apresenta em torno de 14 e 18% de eficiência térmica (com os melhores resultados na faixa de 20 a 25%). Isto ocorre basicamente devido ao fato de que não são operadas com os parâmetros ideais de geração do vapor (pressão e temperatura). Em contrapartida, os custos de capital são menores (US\$/kW instalado).

Na Figura 02 é possível visualizar o processo de combustão direta em ciclos a vapor. A biomassa é alimentada na caldeira e queimada diretamente. Os gases passam por um processo de limpeza (não demonstrado na figura) e são liberados para a atmosfera, enquanto o vapor formado aciona uma turbina a vapor que move o gerador elétrico. O vapor é condensado, devolvendo a água para o sistema.

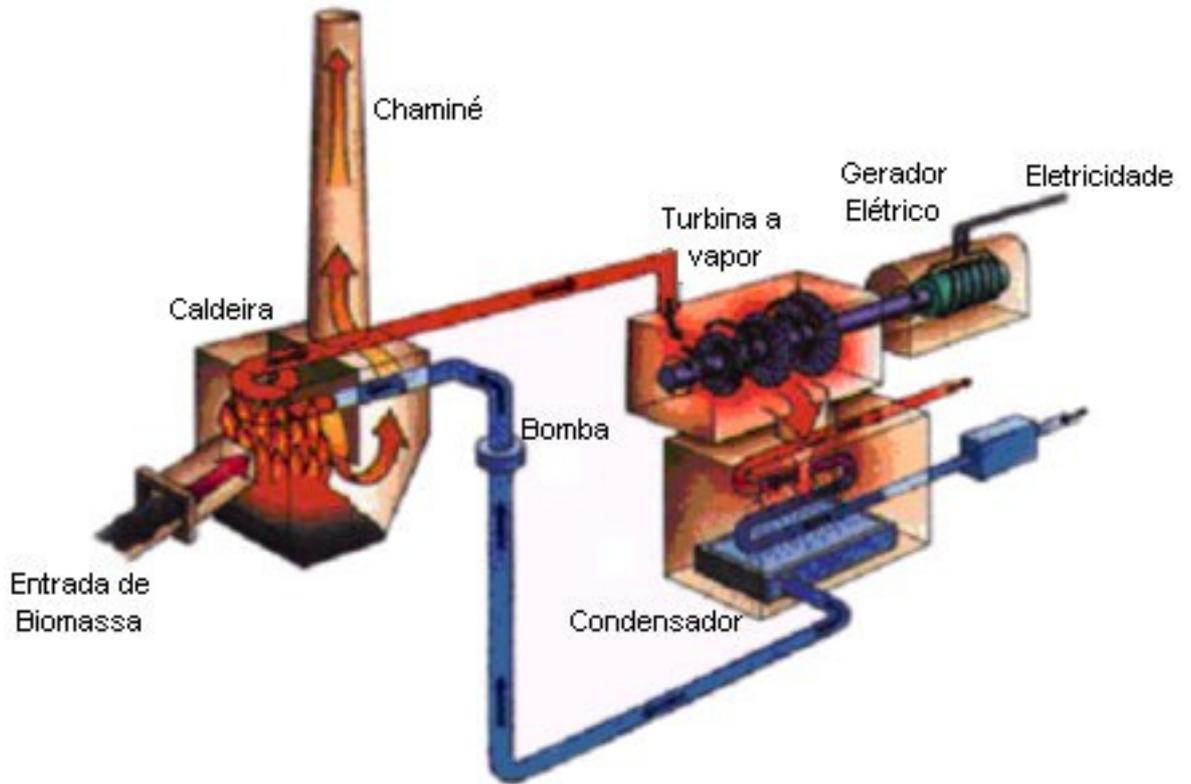


Figura 02: Diagrama esquemático do processo de conversão de ciclo a vapor.

1.5.1.2 – O processo de gaseificação

De acordo com Ciferno (2002), a gaseificação é a conversão térmica da biomassa numa mistura gasosa (combustível) na presença de um agente oxidante em condições abaixo da estequiométrica. Os principais compostos formados nesse processo são, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrogênio (H₂), metano (CH₄) e nitrogênio (N₂). A conversão é realizada através da oxidação parcial da biomassa à alta temperatura, geralmente entre 500-1100°C e uma pressão de até 33 bar. O agente oxidante utilizado pode ser o ar, oxigênio puro ou vapor (misturas ar + vapor e vapor + oxigênio). O gás produzido num gaseificador cujo oxidante é o ar tem um poder calorífico entre 4-6 MJ/Nm³, e se o oxidante for O₂ puro é possível obter um gás com cerca de 10-20 MJ/Nm³. Esse gás é conhecido como gás pobre, devido ao baixo poder calorífico. A gaseificação difere da combustão por usar somente 20 a 30% do oxigênio necessário para completar a combustão. (Nexterra Energy Corp).

Os processos térmicos em um gaseificador podem ser melhor visualizados através da Figura 03, e segundo Babcock & Wilcox Vølund (2007), dividem-se em:

- Secagem: pré-tratamento da biomassa onde ocorre remoção da umidade através de evaporação, atingindo uma umidade ideal entre 15 a 20%. Esse processo deve ocorrer em temperatura em torno de 160°C utilizando o calor residual do processo de conversão. Em alguns casos, é necessário a moagem da biomassa para sua homogeneização.
- Pirólise: o calor vaporiza os componentes voláteis da biomassa na ausência de ar em temperaturas em torno de 700 °C obtendo como resultado um gás combustível e produtos líquidos (alcatrão e ácido piro-lenhoso).
- Redução: nesta etapa o carvão ativado reage com o vapor d'água e dióxido de carbono para a forma de gases combustíveis como hidrogênio e óxido de carbono. O processo de redução (ou gaseificação) ocorre à temperaturas na faixa de 100 °C.
- Oxidação: onde parte do carbono é queimado para fornecer calor para os processos descritos anteriormente.

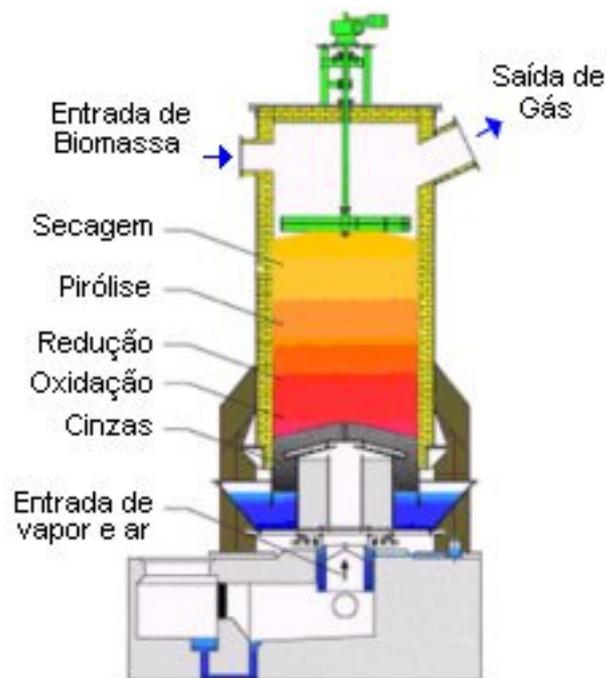


Figura 03: Diagrama esquemático das etapas e zonas de gaseificação.

Existem vários tipos de gaseificadores, que são utilizados de acordo com o tipo de combustível e a potência instalada. Segundo CIFERNO (2002), os gaseificadores são equipamentos onde se realiza o processo de gaseificação da biomassa e são classificados

segundo a pressão em atmosféricos ou pressurizados e segundo o tipo de leito em fixo ou fluidizado. Os gaseificadores de leito fixo se dividem em concorrente, contracorrente e fluxo cruzado; os de leito fluidizado se dividem em borbulhante e circulante. A Figura 04 apresenta um esquema dos diferentes tipos de gaseificadores.

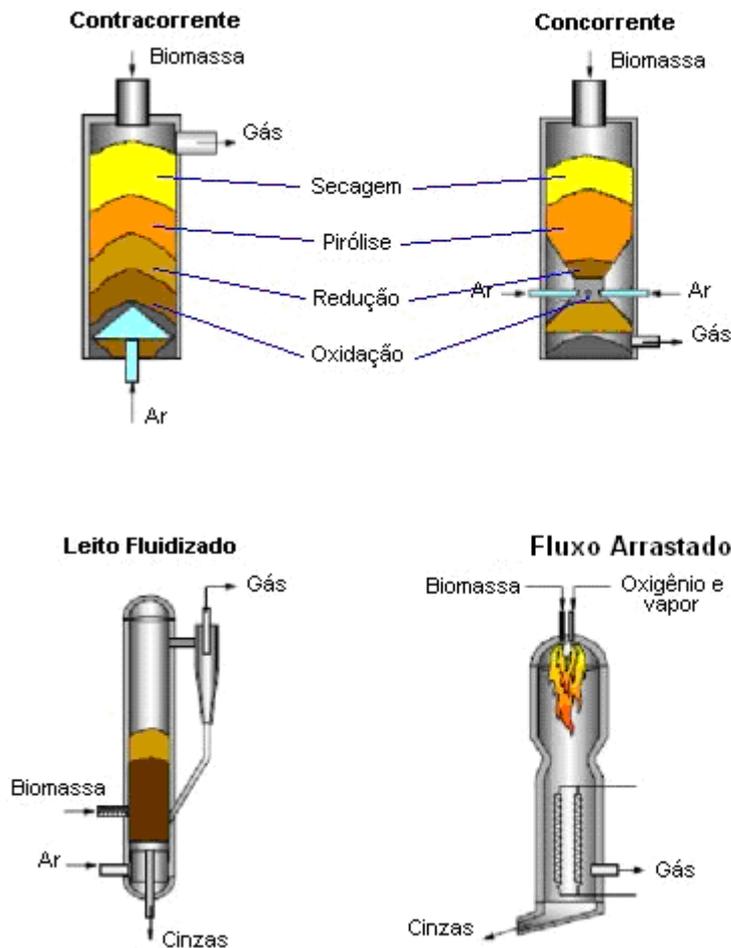


Figura 04: Tipos de Gaseificadores

Na gaseificação em leito fixo o combustível se move por ação da gravidade e esta tecnologia tem se mostrado uma técnica adequada para a conversão de 10-15 ton biomassa seca por hora. São sistemas simples e eficientes, trabalhando com combustíveis de alta densidade e granulométrica (10-100 mm), sendo indicado para gaseificar madeira e carvão. A gaseificação em leito fluidizado é mais recomendada para biomassa de baixa granulometria fina, como casca de arroz, bagaço de cana, serragem. Esse sistema possibilita um bom contato entre sólido e gás e uma boa circulação das partículas de biomassa além de alta velocidade de

reação. Esse tipo de gaseificador normalmente utiliza um leito de areia com granulometria média de 250 μ m, que geralmente intensifica a troca de calor entre as partículas aumentando a eficiência do processo.

A produção de energia elétrica é possível através da associação do gaseificador com um acionador primário, que pode ser um motor alternativo de combustão interna, uma turbina a gás, um motor Stirling ou uma célula combustível.

A Figura 05 exemplifica esquematicamente, um sistema de conversão de biomassa em energia elétrica utilizando a tecnologia gaseificador acoplado a um motor alternativo de combustão interna.

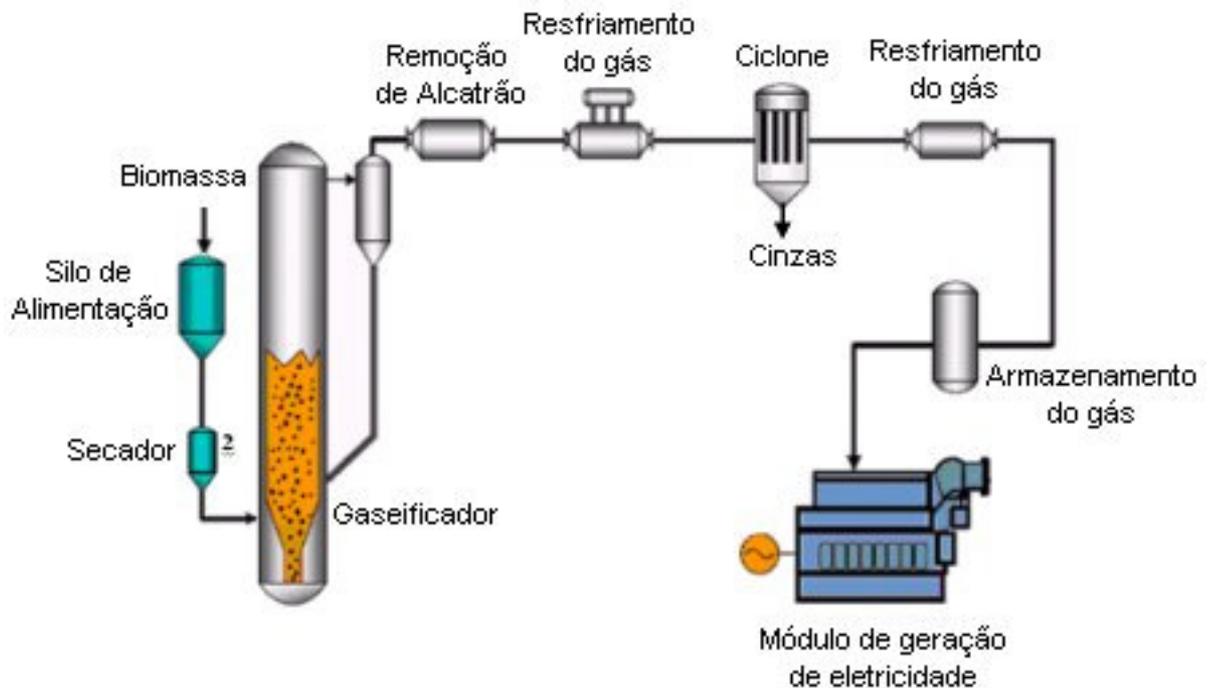


Figura 05: Diagrama da utilização do gás de biomassa em motores de combustão interna alternativo (MCIA)

O processo de gaseificação inicia-se com o tratamento da biomassa, que consiste na homogeneização do tamanho e na secagem (2). Após o pré-tratamento, a biomassa segue para o gaseificador (3), no qual é submetida aos processos térmicos descritos anteriormente, produzindo um gás que é utilizado no processo de geração de eletricidade. O gás passa por uma unidade de resfriamento e por um sistema de limpeza que inclui a remoção de alcatrão (4) e particulados (6) para ser utilizado no acionador primário (9).

O gás produzido deve ser tratado de modo a atender os requisitos de sua aplicação no uso final. Nos sistemas integrados de gaseificação / turbina a gás, o gás deve ser limpo de alcatrão, particulados e compostos de enxofre e cloro e metais alcalinos para garantir a integridade da parte quente da turbina. Em sistemas gaseificadores e motores alternativos o gás deve ser resfriado para garantir que cada cilindro receba um aporte energético suficiente, além de ser necessário o controle dos teores de alcatrão e particulados para assegurar que as válvulas e os cilindros estejam protegidos.

A aplicação do gás produzido no processo de gaseificação em uma célula combustível requer que o gás passe primeiramente por uma etapa de reforma para posteriormente alimentar a célula. As células utilizam o H_2 fornecido pelo gás de biomassa num processo de conversão eletroquímica em eletricidade melhor descrito posteriormente. Em motores Stirling o gás não precisa de tratamento, uma vez que neste tipo de motor ocorre combustão externa.

1.5.1.2.1 – Gaseificação e Motores Alternativos de Combustão Interna (MACI) - Os motores alternativos de combustão interna representam a tecnologia mais difundida entre as máquinas térmicas, devido à sua simplicidade, robustez e a alta relação potência/peso, o que faz com que estes acionadores sejam empregados em larga escala para geração de eletricidade contínua (LORA & NASCIMENTO, 2004)

O funcionamento de um motor de combustão interna pode ser de dois e quatro tempos. No motor de quatro tempos, cada cilindro necessita de quatro deslocamentos de seu pistão e duas revoluções do eixo de manivelas para completar a seqüência de eventos que produz um curso de potência. Através da Figura 06, podem-se visualizar os tempos de funcionamento de um motor de combustão interna.

1º tempo – Admissão - válvula de admissão é aberta. O pistão desce.

2º tempo – Compressão - Após o pistão chegar ao nível mínimo, ele começa a se mover para cima. Quando isto acontece, a válvula de admissão fecha. A válvula de escape/exaustão também está fechada, de modo que o cilindro está selado. O pistão comprime a mistura. A pressão aumenta e a temperatura também.

3º tempo – Combustão - Quando o pistão chega ao nível máximo a vela solta uma faísca (em casos de motores ciclo Otto). O sistema de ignição libera uma alta voltagem para a vela, que possui dois pólos de eletricidade muito próximos, originando a fagulha. A faísca leva à combustão da mistura, e a pressão aumenta. Com tamanha pressão, o pistão é forçado a descer

ao longo do cilindro. Através da manivela a potência desse impulso é transferida à transmissão.

4º tempo – Exaustão - Quando o pistão chega ao fundo, a válvula de exaustão abre e o pistão move-se para cima de novo, eliminando os gases queimados. Quando o pistão chega em cima, começa de novo o processo de admissão da mistura. O ciclo se repete.

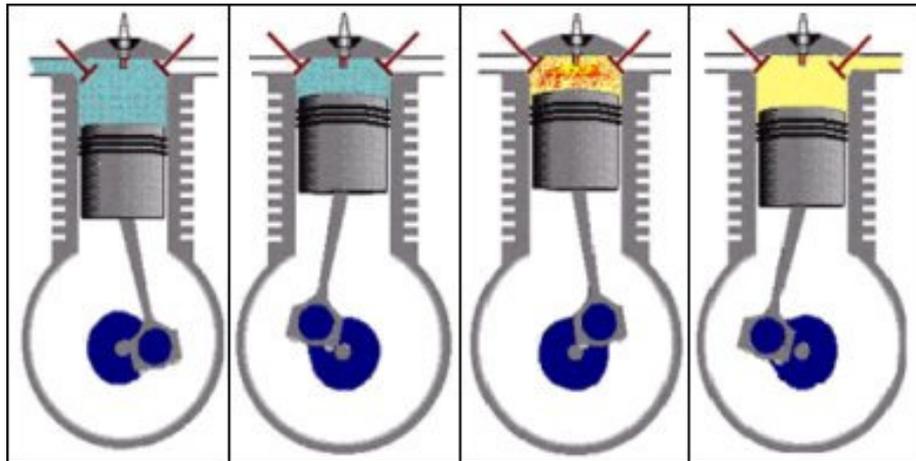


Figura 06: Ciclo de um motor de combustão interna de quatro tempos

A Figura 07 apresenta um esquema da tecnologia gaseificador acoplado a motor alternativo de combustão interna. O processo inicia-se com a gaseificação da biomassa através de um gaseificador (2). O gás produzido é submetido a uma unidade de tratamento que consiste na remoção do material particulado e alcatrão presentes no gás (4). Após a limpeza do gás, este é utilizado como combustível para o motor (5). O motor converte a energia química contida no combustível em potência mecânica por meio de um conjunto biela / manivela, utilizado para acionar o eixo do motor, que por sua vez é acoplado a um gerador elétrico, responsável por converter a potência mecânica em eletricidade.

A tecnologia gaseificador acoplado a motor alternativo de combustão interna é ainda muito pouco comercial e para instalações de pequena capacidade (menos de 150 kWe), mas as emissões de alcatrão em níveis elevados limitam esta alternativa. De acordo com Lora et. al. (2004), a eficiência média do sistema gaseificador - motor de combustão interna está situado na faixa entre 25 a 30%.

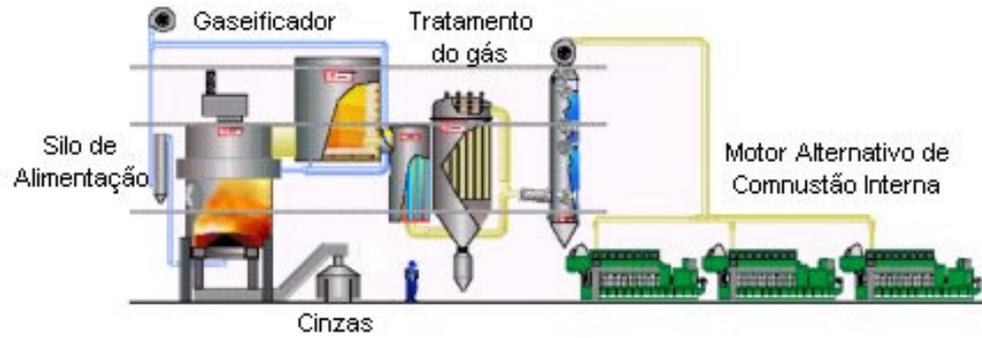


Figura 07: Esquema da tecnologia gaseificador acoplado a motor alternativo de combustão interna

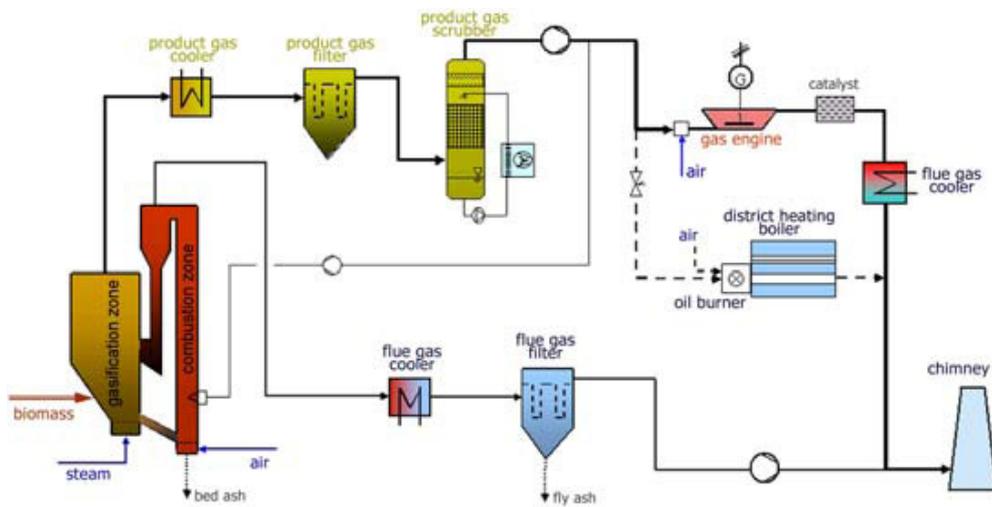


Figura 08: Processo de gaseificação de biomassa da Universidade Técnica de Viena (TUV) – Áustria

O esquema acima demonstra como a TUV atingiu sucesso no desenvolvimento do Processo de Geração de energia elétrica através de gaseificador de leito fluidizado, segundo o

Work Shop No. 1: Perspectives on Biomass Gasification By Suresh P. Babu, Task Leader
Task 33: Thermal Gasification of Biomass, May 2006.

1.5.1.2.2 – Gaseificação e turbinas a gás (BIG-GT) - Numa turbina a gás, o ar na condição ambiente entra no compressor, onde ocorre compressão adiabática com aumento de pressão e conseqüentemente também aumento de temperatura. O ar, agora pressurizado (e aquecido), segue para a câmara de combustão, juntamente com o gás combustível, gerado pela gaseificação, por exemplo, Na combustão ocorre um aumento de temperatura a pressão constante, produzindo um aumento de volume do fluxo de gases. Estes gases quentes e pressurizados acionam a turbina de potência, gerando trabalho mecânico. Depois, os gases, ainda quentes, são finalmente liberados ainda em alta temperatura, tipicamente entre 500 e 650 °C, se a turbina não tiver um regenerador quando as temperaturas são em torno de 300°C. A figura 09 mostra o diagrama de uma turbina a gás.

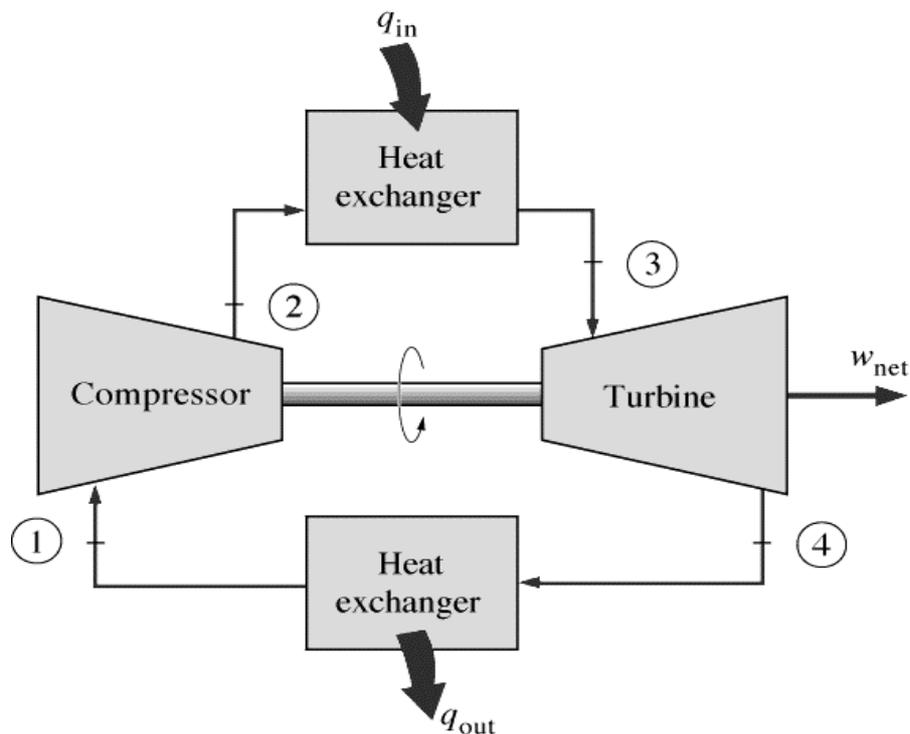


Figura 09: Diagrama de uma turbina a gás

A integração de gaseificadores de biomassa aos ciclos de turbinas a gás é chamada de tecnologia BIG-GT (Biomass Integrated Gasification Gas Turbine). Neste ciclo a biomassa é

gaseificada e o gás combustível gerado é usado para o acionamento de uma turbina a gás acoplada a um gerador elétrico, produzindo a eletricidade. Possui eficiência entre 25 e 30% (Lora et. al., 2004).

A biomassa é preparada e secada (1) antes de ser utilizada no gaseificador (2) o qual produz um gás que ao passar por uma unidade de tratamento (3) que consiste na remoção de alcatrão, particulados e compostos sulfurados é utilizado para gerar eletricidade através de um turbo gerador (4). Os gases de exaustão são tratados ainda em um lavador de gases (5) antes de serem liberados para a atmosfera através da chaminé (6). Na Figura 10 é apresentado um esquema da tecnologia gaseificação acoplado a turbina gás.

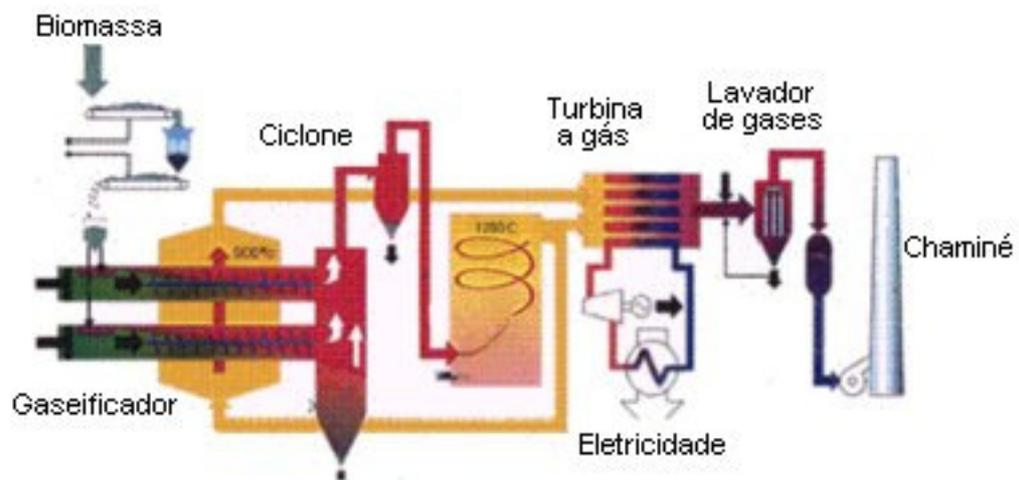


Figura 10: Esquema da tecnologia gaseificação acoplada a turbina gás

1.5.1.2.3 – Gaseificação e motor Stirling. Como o motor Stirling é uma máquina de combustão externa, não precisa de combustível limpo, necessitando apenas que tenha a energia adequada para seu funcionamento (temperatura do gás da ordem de 700 a 800°C). A Potência é gerada não pela queima de combustível no cilindro, mas pelo aquecimento e resfriamento do gás de trabalho pelo lado de fora do cilindro (BARROS et. al, 2004)

O motor Stirling consiste de duas câmaras em diferentes temperaturas que aquece e resfria o gás de forma alternada, provocando expansão e contração cíclicas, o que faz movimentar dois êmbolos ligados a um eixo comum. A movimentação ocorre devido ao resfriamento e aquecimento do gás, como pode ser visualizado na Figura 11. Quando o gás é aquecido, devido à câmara estar selada, a pressão aumenta e aciona o pistão. Quando o gás é resfriado, a pressão diminui e assim, o pistão necessita de menos trabalho para comprimir o gás. O gás de trabalho flui ciclicamente entre os cilindros de calor e frio.

Os motores Stirling são divididos em geral em três grupos, Alfa, Beta e Gama, de acordo com a configuração dos cilindros e pistões. Com a finalidade de melhor exemplificação, abaixo são apresentadas as etapas de um motor Stirling tipo Beta, representadas na Figura 11.

A. O pistão de trabalho é movimentado para cima e o gás é comprimido. O gás é resfriado pelo exterior através do circuito de resfriamento, com o objetivo de obter compressão a temperatura constante;

B. O pistão de deslocamento é movimentado para baixo, forçando o gás a passar através do canal de conexão para o volume quente, onde o gás é aquecido por um queimador. Quando o gás é aquecido, sua pressão aumenta (o volume permanece constante);

C. Ambos os pistões movimentam-se para baixo, devido à expansão do gás;

D. O pistão de deslocamento é movimentado para cima, forçando o gás a passar pelo canal de conexão para o volume frio, onde o gás é resfriado pela água de resfriamento. Quando o gás é resfriado, sua pressão reduz até a pressão inicial. A potência de saída do motor é entregue ao eixo.

O motor Stirling a biomassa está em desenvolvimento no estágio de algumas plantas pilotos. Não existem ainda tecnologias comerciais. Os maiores problemas são a necessidade de ligas especiais para o trocador de calor em função da sua alta temperatura de operação, e o alto custo decorrente. Além disso, o acúmulo de material que se deposita na superfície do trocador de calor reduz a potência do motor durante a operação, com exceção para o caso de uso de gaseificação.

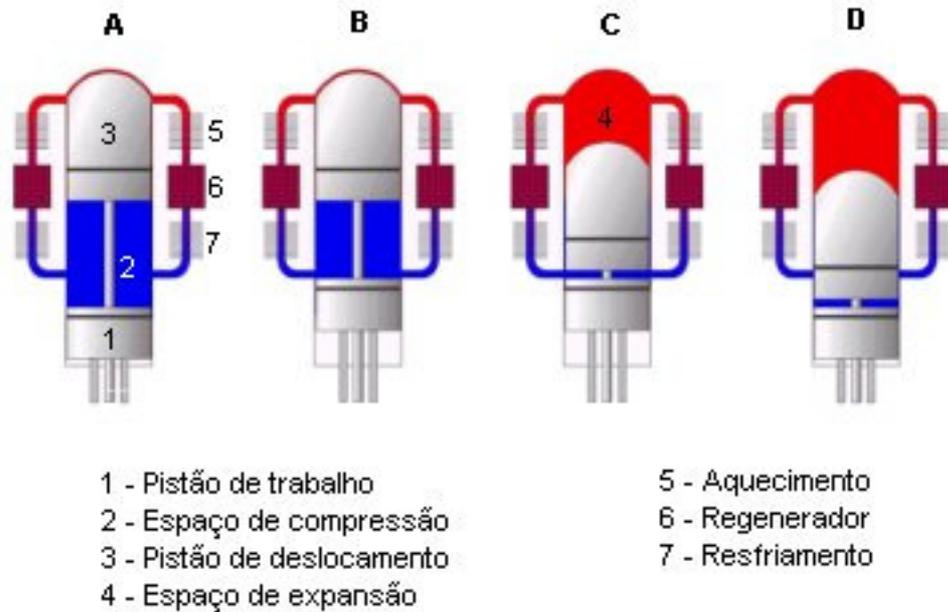


Figura 11: Etapas de funcionamento de um motor Stirling

Os motores Stirling são dispositivos de combustão externa que apresentam, em poucos protótipos atuais acoplados a gaseificadores, valores de eficiência do sistema na faixa de 13 a 16% (Lora et. al., 2004). Um arranjo da aplicação dessa tecnologia em conjunto com um gaseificador foi desenvolvido pela Universidade Técnica da Dinamarca e a eficiência elétrica do sistema foi calculada em 17,7%. Existem alguns modelos comerciais de 9 a 70 kWe operando com gás natural e GLP, com a expectativa dessa tecnologia atingir até 300kWe (Rosillo- Calle, 2005). A Figura 12 apresenta um esquema da tecnologia gaseificador acoplada a um motor Stirling.

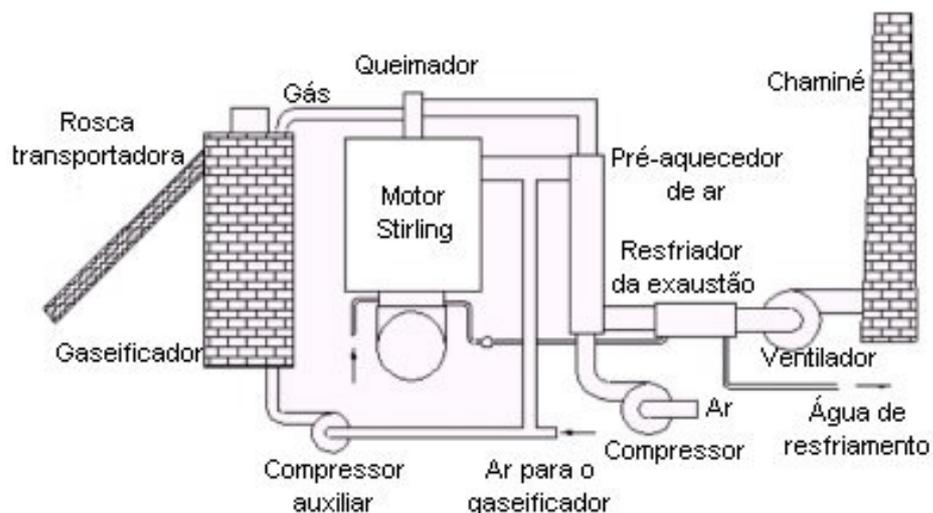


Figura 12: Esquema de funcionamento de um motor Stirling

1.5.1.2.4 – Gaseificação e célula combustível - A célula combustível é um dispositivo de conversão eletroquímica da energia química do combustível em eletricidade, água e calor utilizando como combustível o hidrogênio (H_2) e o oxigênio do ar, sendo a água a única emissão resultante do sistema.

O hidrogênio puro alimenta o primeiro eletrodo (anodo ou anódico), no qual se separa em íons positivos que passam através do eletrólito para o segundo eletrodo, o catodo. Enquanto isso os elétrons migram ao catodo via circuito externo. Esse movimento produz a corrente elétrica. No catodo os elétrons e íons ao serem combinados com o oxigênio do ar produzem água e calor. É possível a visualização do perfil esquemático de uma célula combustível através da Figura 13.

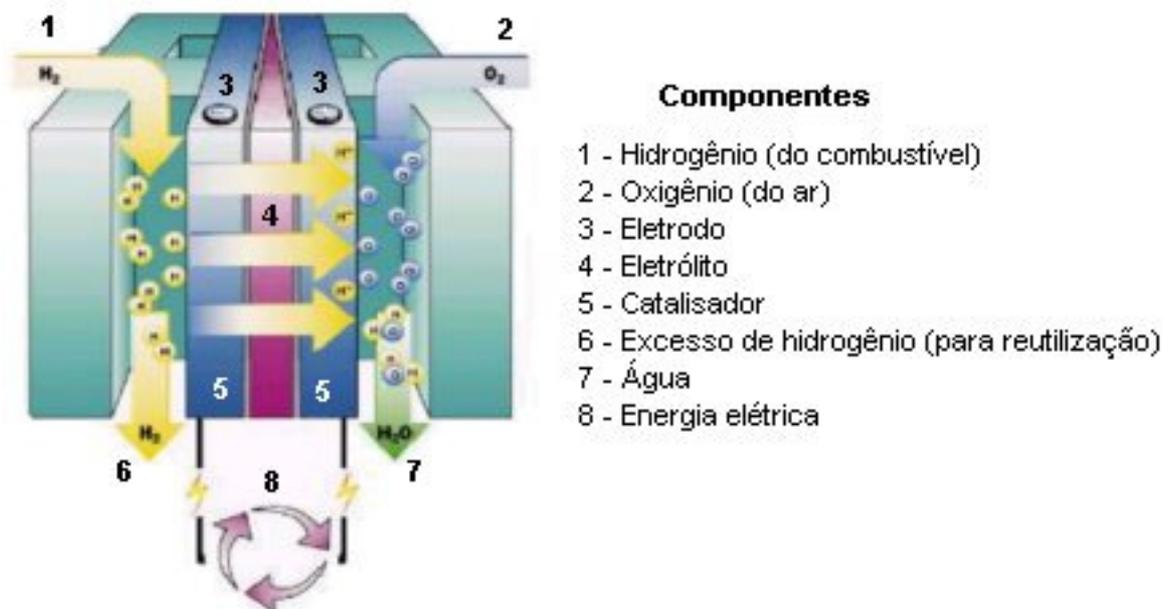
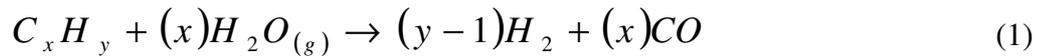


Figura 13: Esquema de uma célula combustível

O gás produzido no gaseificador é formado, dentre outros compostos químicos, por hidrogênio (H_2) e monóxido de carbono (CO), os quais são utilizados na célula combustível após passarem por uma etapa de reforma. Segundo SORDI (2006) a reforma consiste de uma conversão catalítica e endotérmica de um combustível líquido, sólido ou gasoso, num gás combustível com alto teor de hidrogênio.

No processo de reforma catalítica ocorrem duas reações globais principalmente. A primeira corresponde à transformação química dos hidrocarbonetos pesados na presença de vapor d'água em compostos gasosos de menor peso molecular como CO e H_2 . A reação química é apresentada pela equação 1.



Essa reação se caracteriza por ser endotérmica e o equilíbrio químico é favorecido a altas temperaturas e baixas pressões.

A segunda reação global corresponde a transformação química do CO e H₂O em outros compostos como H₂ e CO₂, como se observa na relação estequiométrica apresentada pela equação 2.



De outro lado, esta reação também conhecida como reação de Shift se caracteriza por ser exotérmica, onde o equilíbrio químico é favorecido a baixas temperaturas e independente da pressão. De igual maneira esta reação apresenta grande importância no processo global de reforma do combustível já que ela fornece energia térmica para o desenvolvimento de outras reações endotérmicas (reforma de hidrocarbonetos com vapor d'água) tornando o sistema de reforma catalítica auto-sustentável.

A maioria dos processos utiliza hidrocarbonetos leves para extração do hidrogênio, mas também é utilizado o gás produzido a partir da gaseificação. Neste caso, o gás que é composto por uma mistura complexa de outros gases de menor peso molecular é submetido à reação de shift no interior do reformador, na qual o monóxido de carbono reagindo com vapor d'água é convertido em hidrogênio (H₂) e dióxido de carbono (CO₂).

De acordo com Rosillo – Calle (2005) a eficiência do sistema gaseificador acoplado a célula combustível varia em torno de 60%, embora não haja disponibilidade comercial para a tecnologia.

Houve realização de testes na Universidade de Delfet e no centro de pesquisas na Holanda.

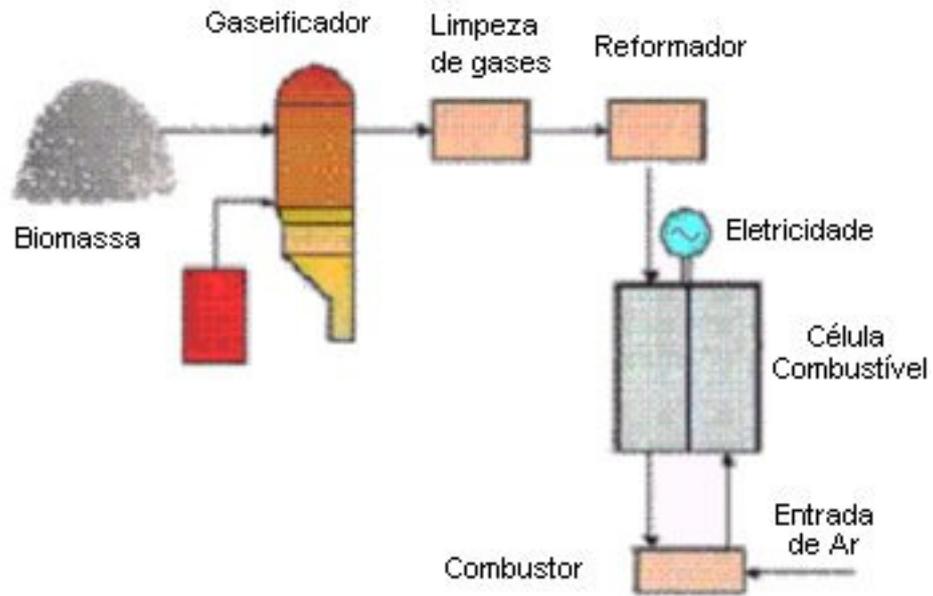


Figura 14: Esquema da tecnologia gaseificação acoplada a célula combustível

As células combustíveis são classificadas de acordo com o eletrólito no qual são compostas, e este determina o tipo de reação química, o tipo de catalisador, o combustível a ser utilizado e principalmente a temperatura de operação das células. Essas características determinam as aplicações mais adequadas para cada tipo de célula, sendo que cada uma tem suas vantagens, limitações e aplicações. As características de cada tipo de célula são apresentadas na Tabela 01.

Tabela 01 - Características de diferentes tipos de células combustíveis

Tipos de células	Alcalina (AFC)	Membrana de Troca de Próton (PEM)	Acido Fosfórico (PAFC)	Carbonato (MCFC)	Oxido de sólido (SOFC)
Eletrólito	Solução aquosa alcalina de hidróxido de potássio	Polímero ácido orgânico poli-perfluorsulfônico	Ácido fosfórico estabilizado	Solução carbonato Molten	Eletrólito sólido de cerâmica
Unidade de potência típica (kW)	<<100	0,1-500	5 -200 (plantas de até 5000)	800-2000 (plantas até 100000)	2,5-100
Eficiência Elétrica	Até 70%	Até 50%	40 -45%	50-57%	45-50%
Disponibilidade Comercial	não disponível para cogeração	P&D	sim	P&D	P&D
Combustível	H ₂	H ₂ e H ₂ reformado	H ₂ reformado a partir do gás natural	H ₂ reformado a partir do gás natural	H ₂ e CO reformado a partir do gás natural
Temperatura de Operação (°C)	70 - 100	50 - 100	160 - 210	680	800 - 1000
Pressão de Operação (bar)	-	0,13 – 5,10	0,13 – 8,13	0,13 – 30,33	0,13 -> 10, 34
Aplicações	espacial e militar	Geração de energia, ônibus, propulsão automotiva	Geração de energia	Geração de energia	Geração de energia

Fonte: NEST(2006)

As células utilizadas em testes em gaseificadores de biomassa são as de carbonato fundido (MCFC) e as de óxido sólido (SOFC) devido à alta temperatura de operação e a possibilidade de um acoplamento com turbinas a gás em um sistema híbrido.

As células de combustíveis de alta temperatura estão em desenvolvimento, não existindo ainda, produtos comerciais, tanto mais para uso com biomassa.

Capítulo 2

A BIOMASSA E SUAS CARACTERÍSTICAS

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e maneiras alternativas de adaptação ao meio ambiente, de forma a atender às suas necessidades. Dessa forma, a exaustão, a escassez ou a inconveniência de um dado recurso tende a ser compensada pelo surgimento de outro. Em termos de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser um recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento sócio-econômico de muitos países e regiões.

No Brasil, tem-se hoje uma matriz de geração de energia elétrica essencialmente hídrica, isto é, com usinas geradoras que utilizam a água como recurso energético primário, sendo que no estado de Goiás não é diferente. Apesar de Goiás ser um dos estados com maior índice de aproveitamento de outros recursos, que não a água, como fonte primária para geração de energia elétrica, ainda assim, a porcentagem da energia que advém da água é maior que 90% segundo ANEEL 2006.

Conforme citado anteriormente, a matriz energética brasileira encontra-se atualmente centrada na energia de origem hídrica, a Figura 15 mostra a composição das fontes primárias de geração de energia elétrica no Brasil, onde fica bem evidente o grande percentual de

participação da energia de origem hídrica. As outras fontes de energias renováveis como a biomassa, a eólica e a solar vêm apresentando crescimento ultimamente, mas ainda são fontes de energia que precisam ser mais bem exploradas, especialmente a biomassa, que apresenta grande volume de produção no Brasil e que ainda encontra-se pouco explorada.

A energia nuclear tem pequena participação, enquanto o gás natural vem apresentando um maior crescimento ao longo dos últimos anos, devido à sua maior oferta nos últimos anos no mercado brasileiro.

Recentemente tem-se dado bastante atenção à biomassa para geração de energia, devido ao fato do Brasil ser um grande produtor. O setor sucroalcooleiro tem se dedicado intensamente à utilização do bagaço de cana-de-açúcar para geração de energia a fim atender à sua própria demanda, gerando também excedentes que podem ser comercializados. O setor de biodiesel também tem tido avanços, no entanto todos eles necessitam ainda de esforços em pesquisas e de redução de custos de produção para que possam ter maior espaço no mercado.

As energias eólica e solar avançam com o desenvolvimento de novas tecnologias e redução de custos, no entanto ainda são caras para aplicações em larga escala, sendo utilizadas principalmente em regiões isoladas para atender locais que não tem conexão com a rede elétrica, os sistemas solares de aquecimento térmico são mais comuns, devido aos seus menores custos e auxílio como fonte de energia alternativa para aquecimento de água, reduzindo os custos com energia elétrica.

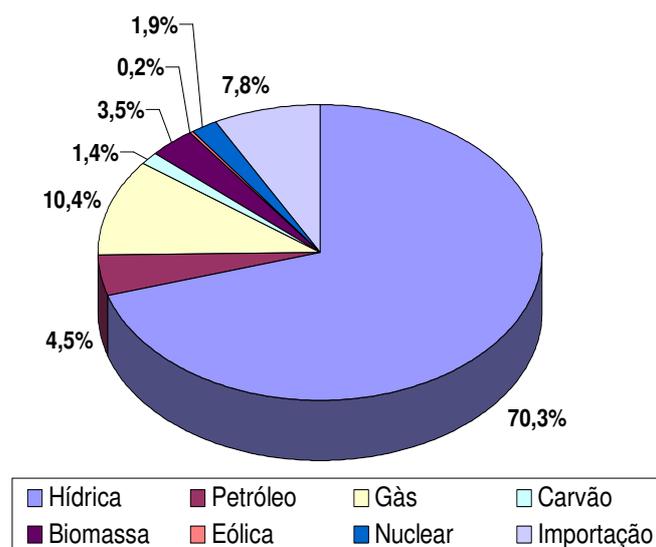


Figura 15: Fontes primárias para geração elétrica no Brasil - ANEEL, 2006.

As pesquisas iniciais apontam uma série de recursos que em um primeiro momento mostram-se interessantes para serem aproveitados, principalmente os recursos de biomassa, devido ao fato do estado de Goiás ser um grande produtor de grãos e estar atualmente tendo grande expansão não somente da área cultivada com cana-de-açúcar, mas também do trigo e da soja.

2.1 - BIOMASSA

2.1.1 - Introdução

O termo biomassa engloba a matéria vegetal gerada através da fotossíntese e os seus derivados, tais como: resíduos florestais e agrícolas, resíduos animais e a matéria orgânica contida nos resíduos industriais, domésticos, municipais, etc. Estes materiais contêm energia química provinda da transformação energética da radiação solar. Essa energia química pode ser liberada diretamente por combustão, ou convertida através de algum processo em outras fontes energéticas mais adequadas, para um fim desejado, tal como o álcool e o carvão vegetal.

Os combustíveis mais comuns da biomassa são os resíduos agrícolas, madeira e plantas como a cana-de-açúcar, que são colhidos com o objetivo de produzir energia. O lixo municipal e a suinocultura também podem gerar biogás para utilização para conversão de energia elétrica.

A biomassa é um dos mais abundantes recursos de energia renovável e já tem sido usada, embora existam algumas dificuldades técnicas, econômicas e políticas para a sua utilização. No meio rural e em localidades isoladas, a utilização desta fonte dispersa de energia poderia ser priorizada como forma mais racional de suprimento energético.

Diversas tecnologias para o aproveitamento energético da biomassa estão disponíveis e outras ainda se encontram em fase de desenvolvimento. A viabilização da energia gerada através do emprego de biomassa exige a redução de custos de geração e de emissões de poluentes. A redução de custos de produção de energia derivada de biomassa,

independentemente da tecnologia empregada, inclui a redução dos custos da coleta e transporte.

A biomassa pode ser usada como combustível na produção de energia, diminuindo a utilização para este fim de combustíveis fósseis. Este tipo de energia não é livre de emissões, porém o uso deste recurso, propicia o balanço zero das emissões de CO₂, que é um dos principais responsáveis pelo efeito estufa, já que o dióxido de carbono libertado é contrabalançado pelo dióxido de carbono capturado durante o crescimento das plantas. A produção de biomassa de forma sustentável para a geração de energia elétrica pode ocorrer em função de três origens distintas:

- Pelo aproveitamento de resíduos urbanos (lixo residencial e comercial) ou resíduos de processos industriais, como serragem, bagaço de cana e cascas de árvores;
- Pelo aproveitamento de resíduos de colheitas agrícolas, como folhas, ramos, cascas, etc.
- Pelo plantio de culturas dedicadas, de curta duração, como algumas espécies de árvores ou culturas herbáceas (OVEREND, 2002).

A tecnologia de gaseificação da biomassa em grande escala ainda está em fase de desenvolvimento, embora já conte com algumas experiências economicamente viáveis em pequena escala. Diversos projetos na faixa de 5-30 KWe têm sido desenvolvidos. As variações encontradas nas diferentes tecnologias envolvem: gasificação pressurizada ou atmosférica; aquecimento direto ou indireto; com injeção de ar ou oxigênio. A tendência atual é para sistemas atmosféricos, gaseificação direta ou indireta (OVEREND, 2002).

Outra possibilidade é a utilização de combustíveis derivados da biomassa, como o álcool combustível e os óleos vegetais combustíveis, que constituem uma importante alternativa energética apresentando ganhos ambientais e contribuindo para a geração de empregos locais. Nesse sentido destacam-se algumas iniciativas do Brasil, que implementou um programa pioneiro de álcool carburante, o PROALCOOL, e está em vias de viabilizar outro projeto ambicioso relacionado à utilização de biodiesel.

No exemplo da cana-de-açúcar, o processo de cogeração com biomassa em ciclo a vapor, a obtenção de eletricidade e calor acontece após a queima de material orgânico. O combustível mais utilizado é o bagaço de cana. Após a moenda, um terço do produto é usado

para formação de açúcar e etanol. As sobras, formadas por bagaço, folhas e pontas são queimadas e geram eletricidade para alimentar as fornalhas. Cerca de 30% da eletricidade obtida é usada para consumo próprio e os 70% restantes podem ser exportados ao Sistema Interligado Nacional (SIN) ou a consumidores interessados. A adaptação da usina demora em média 20 meses. COOPERSUCAR (1998).

2.1.2 - Energia de Biomassa no Brasil

O Brasil possui enormes possibilidades de aproveitamento energético da sua produção de biomassa seja natural ou cultivada. Isto por ter seu território localizado, na sua maior parte, em regiões tropicais ou subtropicais úmidas. No entanto, a variabilidade sazonal da produtividade, pode ser muito grande devido às variações pluviométricas ao longo do ano.

Para avaliar o interesse no Brasil na geração de eletricidade a partir de biomassa, deve ser considerada a extensão de seus recursos florestais e de resíduos de biomassa, já disponíveis ou potenciais, o desenvolvimento da silvicultura brasileira, as necessidades de expansão de seu parque de geração de eletricidade, as dificuldades de manutenção do atual modelo com base hídrica e o atual estado de desenvolvimento tecnológico dos sistemas térmicos de potência de base dendro-energética. Todos estes fatores convergem para reforçar as vantagens desta forma de suprimento de eletricidade, que traz ainda outros benefícios importantes para o caso brasileiro, como a geração de empregos de baixa qualificação e a possibilidade de ocupação produtiva de terras marginais.

Para que a biomassa, tanto de resíduos agrícolas quanto dos demais tipos de materiais, possa ser utilizada para a geração de energia, algumas características das mesmas devem ser conhecidas, sendo as mais importantes o Poder Calorífico e no caso dos resíduos agrícolas o Coeficiente de Resíduos, ou seja, o quanto de resíduo determinada cultura produzirá para determinado volume de produção ou determinada área cultivada.

2.1.3 - Poder Calorífico

Segundo NOGUEIRA / LORA (2003) o poder calorífico é a quantidade de calor (energia térmica) que se libera durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume do combustível (kJ/kg ou kJ/Nm³). Quando não se considera o calor latente de

vaporização presente nos produtos de combustão, tem-se o poder calorífico inferior (PCI) e quando esse calor latente é considerado, tem-se o poder calorífico superior (PCS). A Figura 16 mostra um calorímetro Joule, que pode determinar a capacidade térmica específica de materiais sólidos e líquidos, assim como medir o equivalente termoelétrico.



Figura 16: Calorímetro Joule.

De maneira simplificada, pode-se dizer que o PCI refere-se ao calor efetivamente possível de ser utilizado nos combustíveis, enquanto o PCS é em torno de 10 a 20% mais elevado, resultado de sua avaliação em laboratório. Para avaliar o poder calorífico dos combustíveis, a condição mais usual é utilizar uma “bomba calorimétrica”, composta de um recipiente no qual se coloca uma amostra de biomassa, se pressuriza com oxigênio e se efetua a queima, medindo-se o calor liberado pela variação da temperatura da água no vaso onde foi colocada a bomba.

Nos cálculos de rendimento dos sistemas de combustão se pode adotar ambos os tipos de poder calorífico, lembrando que a eficiência referente ao PCI é superior ao valor determinado segundo o PCS. Por isto, é sempre importante deixar claro o poder calorífico que se tem empregado. Como o calor de condensação da umidade dos gases é tecnicamente irrecuperável, parece ser preferível o uso do PCI.

Ainda existem poucos estudos para determinar o valor do Poder Calorífico dos resíduos agrícolas produzidos pelo diversos tipos de culturas, e para os estudos que existem ocorrem variações do Poder Calorífico de um mesmo tipo de biomassa devido a variações de

características de cultivos. No entanto estas variações são pequenas e não interferem de forma significativa no estudo das possibilidades de se utilizar biomassa agrícola para geração de energia.

2.1.4 - Coeficiente de Produção de Resíduos (C_R)

Uma maneira que pode ser empregada para determinar a disponibilidade de um resíduo agrícola é o denominado Coeficiente de Produção de resíduos (C_R), que relaciona a quantidade de resíduos, em base seca, e a massa total colhida do produto.

Os resíduos agrícolas são aqueles resultantes da colheita e do processamento de cultivos, sendo constituídos basicamente de palha (folhas e caules). A energia armazenada nos resíduos agrícolas pode ser considerável, representando em geral mais que o dobro do produto colhido, e contém cerca de quatro vezes a energia necessária para a obtenção dos principais cereais ou sementes oleaginosas (NOGUEIRA / LORA, 2003).

Apesar de existirem os coeficientes de produção de resíduos, encontrados em literatura referente ao assunto, e que auxiliam na determinação da quantidade de resíduos realmente produzida por determinada cultura, quantificar o volume de resíduos agrícolas resultantes da colheita e que estarão disponíveis para o aproveitamento energético não é uma tarefa fácil. Existem variações na taxa de produtividade de um ano para outro e de região para região. Existem diversos fatores que afetam este potencial, entre eles:

- Variações climáticas;
- Área cultivada;
- Rendimento anual da produção de resíduos;
- Fração recuperável;
- Usos competitivos;
- Perdas;

Determinadas culturas produzem também, além dos resíduos agrícolas, certa quantidade de resíduos agroindustriais, resultantes do processo de beneficiamento do produto, estes resíduos em alguns casos não são aproveitados, por exemplo, a casca de arroz, sendo um

empecilho que aumenta os custos de produção devido à necessidade de se dispor de espaço para o seu armazenamento ou então da necessidade de se desenvolver alguma atividade para eliminá-la.

Existem também coeficientes para se determinar a quantidade de resíduos agroindustriais resultantes do processamento de certas culturas como o arroz, possibilitando assim estudos para se avaliar o quanto de resíduo é produzido, podendo-se ter uma estimativa do potencial de geração de energia com estes resíduos, o volume de produção deste tipo de resíduo normalmente não sofre variações como ocorre nos resíduos agrícolas.

Podemos considerar então, que o coeficiente de produção de resíduos é a quantidade de unidades de medida de resíduos produzidas para cada unidade de medida do produto produzida. EMBRAPA 2006.

2.2 – TRATAMENTO DAS CULTURAS GERADORAS DE RESÍDUOS:

2.2.1 - Introdução

A produção de energia elétrica a partir da biomassa, atualmente, é muito defendida como uma alternativa importante principalmente para países em desenvolvimento. Programas nacionais começaram a ser desenvolvidos visando o incremento da eficiência de sistemas para a combustão, gaseificação e pirólise da biomassa. Entre os programas nacionais bem sucedidos no mundo citam-se:

- O PROÁLCOOL, Brasil;
- Aproveitamento de biogás na China;
- Aproveitamento de resíduos agrícolas na Grã – Bretanha;
- Aproveitamento do bagaço de cana nas Ilhas Maurício
- Coque vegetal no Brasil.

No Brasil, boa parte das necessidades energéticas é suprida pela biomassa sob a forma de:

- Lenha para queima direta nas padarias e cerâmicas;
- Carvão vegetal para redução de ferro gusa em fornos siderúrgicos e combustível alternativo nas fábricas de cimento do norte e do nordeste;
- No sul do país queimam carvão mineral, álcool etílico ou álcool metílico para fins carburantes e para indústria química;
- O bagaço de cana e outros resíduos combustíveis são utilizados para geração de vapor para produzir eletricidade, como nas usinas de açúcar e álcool, que não necessitam de outro combustível, pelo contrário ainda sobra bagaço para indústria de celulose.

A agricultura brasileira gera uma grande quantidade de resíduos orgânicos provenientes da produção agrícola e do processo de beneficiamento de diferentes tipos de culturas, passíveis de serem utilizados para geração de energia elétrica em sistemas termelétricos ou de co-geração.

No entanto, de uma forma geral, os resíduos agrícolas no campo não podem ser completamente coletados para aproveitamento para a geração de energia. Isso se deve à necessidade de manter parte deles no local de cultivo com a finalidade de manutenção da qualidade do solo, isto é, evitar problemas de erosão, redução do teor de carbono e perda de produtividade. Geralmente, apenas 30% a 40% dos resíduos podem ser aproveitados em outro tipo de atividade [Haq].

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006), o efeito mais importante da decomposição de restos vegetais é a melhoria da estrutura do solo, que, conseqüentemente, melhora a relação água/ar, além de permitir aumentos da infiltração de água, da retenção de água e nutrientes no solo, e desenvolvimento mais adequado das raízes. Além disso, a melhoria na estrutura proporciona maior controle da erosão hídrica.

Devido aos benefícios proporcionados pela manutenção dos restos DAS CULTURAS no local de cultivo, exceto em alguns casos, apenas parte deste material é que realmente poderá ser efetivamente coletado para geração de energia.

A biomassa, em suas diversas formas, sempre foi um vetor importante na matriz energética brasileira, respondendo atualmente por cerca de 17,4% da produção total de energia, (BEN, 2006). De acordo com Balanço Energético Nacional (2006).

2.2.2 - Produção e Manejo de Resíduos Agrícolas

Os resíduos agrícolas, constituídos basicamente de palhada, que são as folhas e caules residuais das colheitas, são produzidos quando do processo de colheita da cultura, sendo deixados espalhados no campo, algumas culturas produzem também resíduos agroindustriais como é o caso do arroz, por exemplo, que após ser colhido é conduzido até os locais de beneficiamento para retirada da casca e processamento.

Durante muitos anos, foi prática comum queimar ou eliminar de alguma forma os resíduos agrícolas que ficavam no solo, para então prepará-lo para o plantio de uma nova safra de outra cultura, no entanto esta é uma prática que já a algum tempo vem deixando de ser realizada, atualmente realiza-se o Sistema de Plantio Direto (SPD).

O Sistema Plantio Direto (SPD) é um sistema de manejo do solo onde a palha e os restos vegetais são deixados na superfície do mesmo

2.2.2.1 - Vantagens agrônômicas do SPD

- Controle da erosão;
- Aumento da água armazenada no solo;
- Redução da oscilação térmica;
- Aumento da atividade biológica;
- Aumento dos teores da matéria orgânica;
- Melhoria da estrutura do solo.

Livre de gradagens e arações, o plantio pode ser feito diretamente sobre a palha oriunda da dessecação da resteva da cultura anterior ou da cultura de cobertura plantada. Com isso, obtém-se uma sensível economia de máquinas, combustível e mão-de-obra. Na Figura 17

pode-se observar o plantio da soja sobre a palhada de outra cultura cultivada anteriormente, onde se percebe que a palhada não interfere no plantio. Isto fica claro ao percebermos na figura que não foram retirados do solo os resíduos da cultura anterior.



Figura 17: Sistema de Plantio Direto da Soja

Um dos principais motivos de sucesso do Plantio Direto é a conservação do solo. Através da permanência da cobertura morta sobre a superfície da área, o agricultor minimiza os riscos de erosão, evitando que o impacto da chuva ou do vento carregue as partículas de solo. Além disso, a umidade local é preservada por esta cobertura, mantendo um equilíbrio físico-químico de nutrientes às culturas.

Segundo estudos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) a rotação de culturas pode ser citada como benéfica à melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, ao controle de plantas daninhas, bem como ao de doenças e pragas, à reposição de restos orgânicos, e à proteção do solo contra a ação dos agentes climáticos.

Devido à prática do Sistema de Plantio Direto apenas parte da biomassa agrícola poderá ser retirada para aproveitamento com fins energéticos, a exceção se refere ao caso do algodão, cujos resíduos agrícolas devem ser totalmente retirados do campo imediatamente após a colheita, com o intuito de se reduzir problemas com doenças, decorrentes da manutenção de restos culturais no campo, deste modo, neste caso toda a biomassa produzida poderá ser utilizada, nos demais casos apenas um percentual estará disponível.

A disponibilidade de biomassa útil a ser utilizada nos leva ao estudo de um importante conceito que utilizaremos adiante, o Índice de Colheita (I_c).

2.2.3 – Índice de Colheita (I_c) da Biomassa Residual

Como foi descrito no índice anterior, segundo a EMBRAPA, não se pode recolher toda a biomassa do solo quando da colheita das diversas culturas em estudo. Este fato faz com que nem toda a biomassa residual gerada seja utilizável, ou seja, para cada cultura teremos uma quantidade de biomassa residual a ser deixada no solo com a finalidade de manejo do mesmo para preservação de suas características e fertilidade. Para a própria cultura em questão é importante a manutenção de uma quantidade mínima de biomassa residual a permanecer no solo, esta é de suma importância para o controle de pragas e doenças relativas a cada cultura em produção.

Surge então um conceito que utilizaremos muito em nossos equacionamentos futuros, ou seja, consideraremos que o índice de Colheita (I_c) ou Biomassa residual Útil, é a quantidade de unidades de medida de biomassa residual que realmente pode ser utilizada para cada quantidade de unidades de medida total de biomassa residual disponível.

2.2.4 - Coleta e Transporte da Biomassa

Para que a biomassa possa ser utilizada para geração de energia, torna-se necessário coletá-la no campo e transportá-la até o local de armazenamento ou de uso. Um dos grandes desafios da utilização de biomassa residual de culturas para geração de energia refere-se a determinar qual a melhor maneira de recolhê-la e de transportá-la de modo a se ter os menores custos possíveis.

As principais interrogações quanto aos sistemas a serem adotados para retirar a biomassa, produzida pelas culturas, do campo podem ser resumidas a:

- Quantidade de terra misturada na biomassa;
- Distribuição da biomassa na área colhida e massa específica muito variável do material, dependendo do sistema de recolhimento e transporte a ser utilizado; custo de manipulação no campo e transporte;

- Variabilidade do tamanho e umidade dos constituintes do material; armazenamento (deterioração, incêndio);
- Gerenciamento do sistema;
- Preparo, alimentação e combustão nas caldeiras; balanço energético e econômico do sistema a ser adotado (RIPOLI, 2001).

Cada tipo de biomassa apresenta características próprias como tamanho, forma e densidade e é com base nestas características que serão definidas as opções tecnológicas a serem utilizadas na estrutura da cadeia logística.

O aproveitamento dos resíduos agrícolas em larga escala ainda tem sido dificultado pelos altos custos de seu recolhimento, transporte, redução de tamanho e tecnologia para utilização destes resíduos para geração de energia.

Os resíduos agrícolas poderão ser recolhidos de diversas maneiras, podendo ou não passar por algum processo de adensamento para aumentar sua massa específica, quanto ao recolhimento e adensamento, as dificuldades esbarram na heterogeneidade e baixa massa específica dos materiais, na falta de máquinas de alta capacidade operacional e custos elevados, pois, a maioria delas é adaptada da colheita de forragem.

O transporte da biomassa apresenta custos elevados em decorrência de sua baixa massa específica, que implica em grandes volumes a serem transportados. Desta forma pode-se realizar o adensamento do material antes de transportá-lo.

Uma forma de recolhimento dos resíduos é o sistema de coleta do material na forma de fardos regulares. Essa forma de recolhimento, que requer maior quantidade de equipamentos para recolher e compactar o material, inicialmente se apresenta atrativa devido a poder recolher os diferentes tipos de biomassa estudados e por ter menor custo com transporte e armazenamento. Neste processo a biomassa passa por uma prensagem, que aumenta sua massa específica, reduzindo os custos com transporte, todavia há o aumento dos custos com aquisições de equipamentos enfardadores.

2.2.4.1 - Recolhimento do material com enfardamento

Uma forma de recolhimento que a priori pode ser generalizada para todos os tipos de biomassas, refere-se ao recolhimento na forma de fardos, devido à sua facilidade em termos de armazenamento e generalização para todos os tipos de resíduos.

Quando da colheita dos produtos agrícolas, a biomassa resultante ficará espalhada pelo campo, devendo primeiramente ser enleirada, utilizando-se equipamento específico para este fim e que já existe no mercado, sendo largamente utilizado para produção de forragens (feno).

Uma das grandes dificuldades de se aproveitar os resíduos agrícolas para a geração de energia elétrica consiste em se determinar a melhor maneira de se coletar e transportar este material desde os locais de produção no campo até o local onde eles serão utilizados.

A biomassa pode ser coletada de diversas maneiras, sendo que uma das mais atrativas economicamente é a coleta a granel, onde o material não passa por nenhum processo de prensagem. No entanto os custos de transporte são mais elevados devido à menor densidade do material, o que exige maior quantidade de viagens para transportar o mesmo até os locais de armazenamento e/ou utilização. Esta forma de coleta do material exige também a disponibilização de grande quantidade de espaço para armazenamento da biomassa.

Outra forma de coleta que se apresenta interessante tanto em termos de eficiência quanto em termos econômicos, refere-se à coleta do material na forma de fardos cilíndricos e/ou retangulares, que apresentam custos um pouco mais elevados em termos de coleta e enfardamento do material, mas reduz-se os custos com transporte e armazenamento. Neste tipo de coleta a biomassa que fica espalhada no campo na forma de uma camada de palha sobre o solo, passará pelas seguintes etapas de recolhimento, adensamento e transporte até os locais de uso e/ou armazenamento:

- Após a colheita do produto agrícola a palhada deverá permanecer no campo por cerca de 20 dias, segundo experiências conduzidas na atividade canavieira por Ripoli (2002) para utilização do palhicho (palhas, folhas e pontas), para que haja redução do teor de umidade para valores a cerca de 20%;
- Encerrado o período de secagem o material deverá ser enleirado utilizando-se de equipamento específico para este fim, tal equipamento é utilizado na atividade pecuária para produção de feno, sendo portanto de aplicação comercial já consolidada, na Figura 18 tem-se o exemplo de uma enleiradora;



Figura 18: Enleiradora; Stabra (2005)

▪ Após o enleiramento, o material será coletado por uma enfardadora, que irá comprimí-lo de modo a aumentar a sua densidade, formando-se fardos cilíndricos ou retangulares, sendo que os últimos apresentam vantagens em termos de transporte por ocuparem de forma melhor os espaço do caminhão, além de facilidades de armazenamento quando os mesmos forem empilhados. Na Figura 19 tem-se uma enfardadora de fardos cilíndricos;



Figura 19: Enfardadora de fardos cilíndricos: Stabra (2005).

- Após os fardos estarem prontos os mesmos devem ser recolhidos no campo por tratores e levados até os caminhões para que os mesmos realizem o transporte até os locais de utilização e/ou armazenamento;
- No local onde a biomassa enfardada será utilizada deve-se dispor de equipamento para a realizar a picagem do material de modo que o mesmo tenha as dimensões adequadas antes de ser lançado no sistema de queima do equipamento que irá utilizá-lo para produção de energia. Na Figura 20 tem-se um equipamento de picagem, este é um protótipo desenvolvido pela FEAGRI/UNICAMP em estudos de utilização de palhiço de cana-de-açúcar coletado e armazenado na forma de fardos para geração de energia.



Figura 20: Equipamento de picar o material enfardado

No presente trabalho inicialmente considera-se este como o melhor sistema de coleta e armazenamento da biomassa, pois, embora demande maior quantidade de equipamentos para realizar a coleta no campo, conseqüentemente apresentando maiores custos nesta fase, tem-se que os custos com transporte são menores devido à maior densidade do material.

O armazenamento do material na forma de fardos também fica facilitado, pois tomando-se como referência a maneira de como é feito o armazenamento do bagaço de cana-de-açúcar nas usinas de açúcar e álcool, onde são confeccionados fardos com baixo teor de umidade, sendo os mesmos então colocados em um pátio, sendo cobertos com lona plástica para não molharem, assim não se faz necessário construir galpões para armazenar o material, o que reduz significativamente os custos. Se o armazenamento fosse feito a granel demandaria-se

espaços muito grandes, devido à baixa densidade do material e seria necessário a construção de galpões para armazená-lo.

A COOPERSUCAR (1998), realizou estudo para analisar a viabilidade de recolher o palhicho deixado no campo após a colheita da cana crua e ensaiou algumas enfardadoras.

Com base nos ensaios foram estabelecidas algumas observações sobre o enleiramento: melhora a capacidade de enfardamento, reduz os danos ao mecanismo recolhedor (que pode trabalhar afastado do solo), evita a propagação do fogo acidental. Com respeito ao tipo de fardos, os resultados indicaram que o sistema de enfardadoras de fardos retangulares é o mais indicado pois apresentam: maior capacidade operacional, maior facilidade de operação da biomassa, melhor ocupação do espaço da carroceria do caminhão de transporte dos fardos.

Em ensaios realizados pela COOPERSUCAR (1998) com as enfardadoras Case 8575 e Claas Quadrant 1200 (Tabela 2), para enfardamento de palha de cana-de-açúcar, foram determinadas as capacidade efetivas das enfardadoras e as caracterizações ponderais e dimensionais dos fardos.

Tabela 2 - Resultado do ensaio de duas enfardadoras; COPERSUCAR (1198)

Parâmetros	Claas 1200	Case 8575
Massa média dos fardos (kg)	204	368
Dimensões dos fardos (cm)	120x70x175	87x82x210
Massas específicas (kg/m ³)	138,5	245
Umidade média da palha (%)	10	42
Capacidade efetiva (t/h)	11,4	22
Capacidade efetiva, palha seca (t/h)	10,1	12,7

O processo que se desenvolve desde o recolhimento da biomassa no campo até a sua utilização na usina, para geração de energia, envolve um conjunto de etapas que devem ser cuidadosamente planejadas de modo a se ter a máxima eficiência para a utilização da biomassa, na Figura 21 tem-se o fluxograma das operações que devem ser realizadas para o

recolhimento da biomassa , seu enfardamento e transporte da mesma até o local de sua utilização.

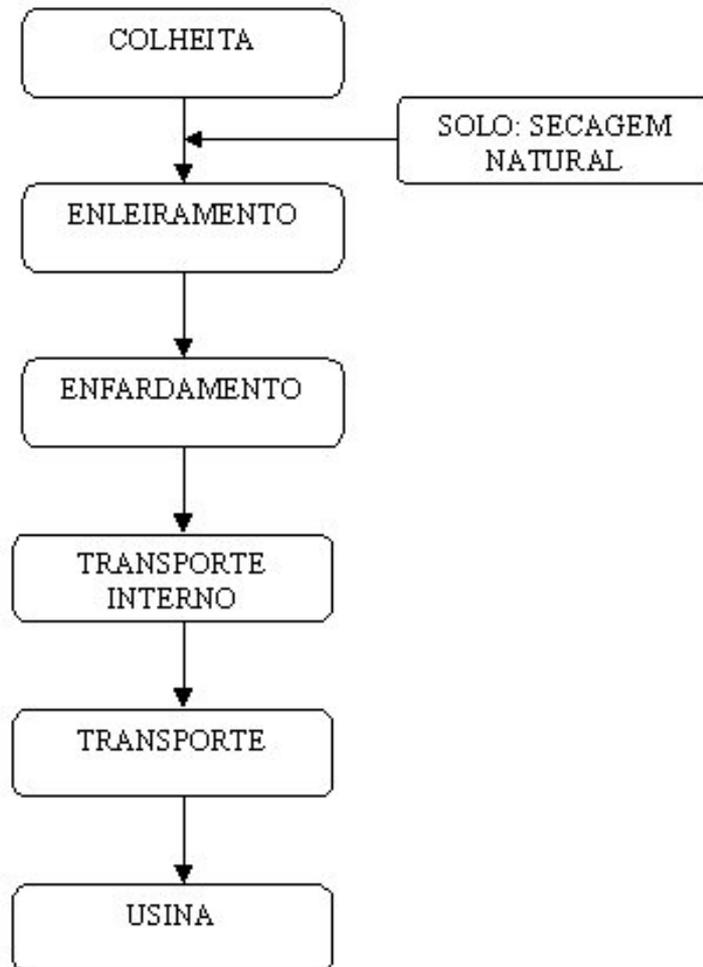


Figura 21: Fluxograma das operações realizadas.

Fonte: Michelazzo (2005)

2.2.5 - Armazenamento

Com relação ao armazenamento do material, este dependerá da forma como o mesmo foi coletado e da disponibilidade de espaço para armazenamento. Assim se o material foi coletado e enfardado, exige-se menos espaço para armazenamento quando comparado com material coletado e armazenado a granel.

Para que seja possível o aproveitamento energético do resíduo há a necessidade de se manter um estoque temporário próximo à unidade de geração. A experiência mostra que

durante o período de colheita o teor de umidade destes resíduos está na faixa entre 20 e 40%; necessitando, portanto, passar por algum processo de secagem antes de ser armazenado (BASSAN, 1998). Esta necessidade de reduzir a umidade tem como objetivo evitar problemas de deterioração e perda de propriedades, além de questões sanitárias durante o tempo de estocagem. Observa-se ainda que se o destino do material for a gaseificação, a exigência de umidade é entre 15% a 20%.

Existem várias formas de se estocar os resíduos conforme apresentado a seguir.

2.2.5.1 - Resíduo retalhado e triturado

O teor médio de umidade que deve estar contido neste tipo de resíduo é de 25% (BASSAN, 1998). Para longos períodos de armazenamento, recomenda-se que este percentual seja inferior a 18% . Quando as condições de colheita são rudimentares, e o material contém mais de 25% de umidade, o local de estocagem deve ser bem ventilado através de um sistema que garanta 1,5 trocas de volume de ar por hora no ambiente. Uma forma mais econômica de estocagem é o material ser empilhado ao tempo e coberto com um plástico contendo pequenos furos que permitam a passagem da umidade evaporada.

2.2.5.2 - Fardos

A taxa de compactação e a densidade produzida na obtenção dos fardos são parâmetros importantes na estocagem deste tipo de material. Há duas formas possíveis de estocagem, uma externa e a outra em armazéns e, dependendo das condições, podendo incluir um sistema de secagem. O percentual de umidade dos fardos na hora da colheita é outro fator também importante na decisão do tipo de estocagem se conjugado a aspectos ambientais do local. Fardos com teores de umidade acima de 25% são difíceis de secarem e propensos a produzirem mofo. Por outro lado, uma alta densidade de compactação torna viável um armazenamento externo sem grandes perdas.

2.2.5.3 - Peletes

A peletização consiste na compactação de resíduos de biomassa a altas pressões com o objetivo de se obter os peletes, que possuem formato cilíndrico (diâmetro de 5 a 18 mm e comprimento de até 40 mm), com densidade entre 1000 e 1300 kg/m³.

Uma das vantagens da compactação de alta densidade é com relação ao transporte do resíduo por longas distâncias. Os peletes, além da sua alta densidade e facilidade de transporte, têm uma série de benefícios para a combustão. Este método de compactação não se aplicará ao nosso trabalho por ter um alto custo agregado, em função principalmente dos equipamentos necessários.

Podemos concluir que a melhor opção é o fardo retangular, pois seu aumento de custo com equipamentos para enfardamento é compensado pelo decréscimo do custo com o transporte.

Capítulo 3

CULTURAS COM MAIOR POTENCIAL DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS E SUA DISPONIBILIDADE NO ESTADO DE GOIÁS

3.1 - ALGODÃO

3.1.1 - Introdução

O algodão herbáceo “*Gossypium hirsutum* L. r *latifolium* Hutch” é uma oleaginosa que produz além da fibra, diversos subprodutos, que apresentam também grande importância econômica, destacando-se o linter, o óleo bruto, a torta, além da casca e do resíduo.

A cotonicultura está concentrada basicamente em sete países, por ordem de importância: China, Estados Unidos, Índia, Paquistão, Uzbequistão, Brasil e Turquia, os quais responderam por 77%, em média, do volume mundial, de 19,2 milhões de toneladas, no período de 1996/97 a 2000/01 O Brasil só recentemente retornou ao grupo dos maiores produtores, já que sua participação evoluiu de 1,4% para 4,5% entre os extremos do período.

O algodão, a exemplo de outras “commodities” agrícolas, tem apresentado um cenário de superoferta, fato que tem agravado a situação econômica de países com alta dependência

do agro negócio nas suas pautas de divisas. O Brasil, que praticamente conquista a auto-suficiência da fibra de algodão para abastecimento de seu parque têxtil, poderá, a não ser que haja uma reversão abrupta no cenário econômico interno, apresentar redução de área plantada, em benefício da soja, cujo complexo (grão, farelo e óleo) está fortemente vinculado ao mercado externo e se constitui em moeda forte da agricultura.



Figura 22: Cultura de Algodão

3.1.2 - Cultivo de Algodão

O algodão, embora se trate de uma planta oleaginosa, e por isso exigente no tocante ao solo, é uma cultura de larga adaptação, no que se refere às condições edáficas. Pode ser cultivado em diversos tipos de solo de características físicas adversas e menos férteis, desde que sejam feitas as devidas correções, de forma que passe a apresentar características suficientes para atender as necessidades básicas ao seu desenvolvimento.

A partir de 1989, começou a ser delineado o atual cenário para a fibra, quando os grandes produtores do Cerrado da Região Centro-Oeste iniciaram a busca por alternativas à cultura da soja que então apresentava baixa rentabilidade pelo uso contínuo do solo. Assim, foram iniciados os trabalhos pioneiros de melhoramento de algodão, mediante convênio entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a iniciativa privada.

Os fatores climáticos de maior risco para a cultura do algodão no Estado de Goiás relacionam-se a distribuição irregular das chuvas e a ocorrência de veranicos.

O déficit hídrico e o excesso de umidade no período compreendido entre 60 e 100 dias após a emergência, podem induzir a queda das estruturas frutíferas e comprometer a produção (EMBRAPA, 2007).

3.1.3 - A Produção de Algodão no Brasil

Observa-se ao analisar as figuras 23 e 24 que houve no Brasil um crescimento na quantidade de toneladas colhidas por hectare, principalmente nos anos 2000, já que foi considerável o aumento de produção em detrimento de um acréscimo menor de área plantada. CONAB (2006).



Figura 23: Evolução da Área Cultivada com Algodão no Brasil



Figura 24: Crescimento da Produção de Algodão no Brasil

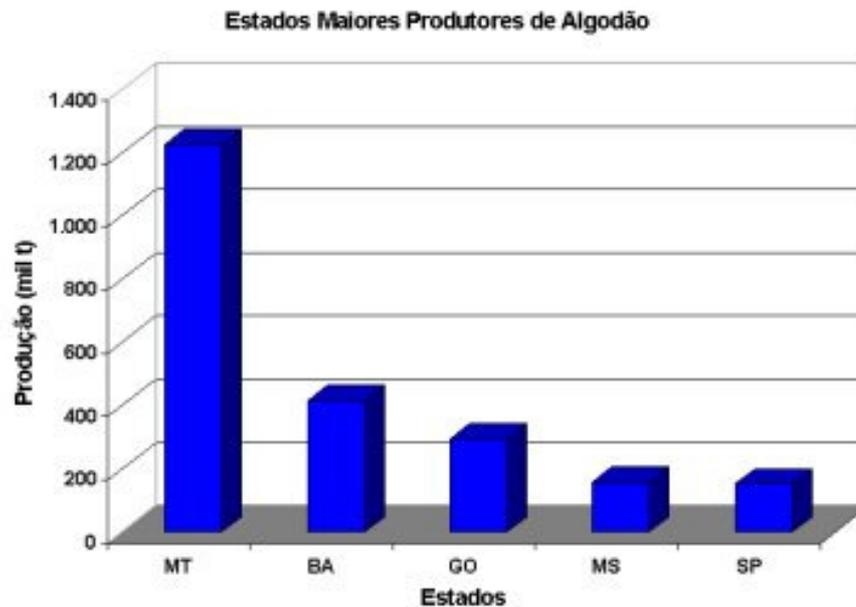


Figura 25: Maiores Produtores de Algodão no Brasil

3.1.4 - A Produção de Algodão em Goiás

Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2006), na safra 2005/2006 o estado de Goiás passou a ser o segundo maior produtor de algodão no Brasil. Possui área plantada de cerca de 143,7 mil hectares, e na safra de 2004/2005 teve produção de 159,7 mil toneladas de plumas (CONAB, 2006).

As condições do clima tropical, com chuvas perenes, temperaturas amenas, luminosidade uniforme e o uso de modernas técnicas fazem com que o desenvolvimento do cultivo seja rápido, colocando o Estado em posição de destaque no cenário nacional. Na Figura 26 observa-se a expansão da área cultivada com algodão no estado ao longo das últimas safras.



Figura 26: Evolução da Área Cultivada com Algodão no Estado de Goiás

O cerrado goiano proporciona a produção de algodão de alta qualidade, em lavouras com a mais avançada tecnologia, resultando na segunda maior produção do País, com cerca de 1090 kg/ha de algodão em pluma na safra 2005/2006 (CONAB, 2006). No Estado, essa produção fica localizada principalmente nas regiões de Acreúna, Santa Helena, Itumbiara, Edéia, Goiatuba, Paraúna, Mineiros, Chapadão do Céu, Jussara, Cristalina, Luziânia e Rio Verde, e ocupa uma área em torno de 100.000 hectares.

Na Figura 27 tem-se a representação do aumento da produção no estado, resultado de todos os avanços conseguidos neste setor do agro negócio goiano.

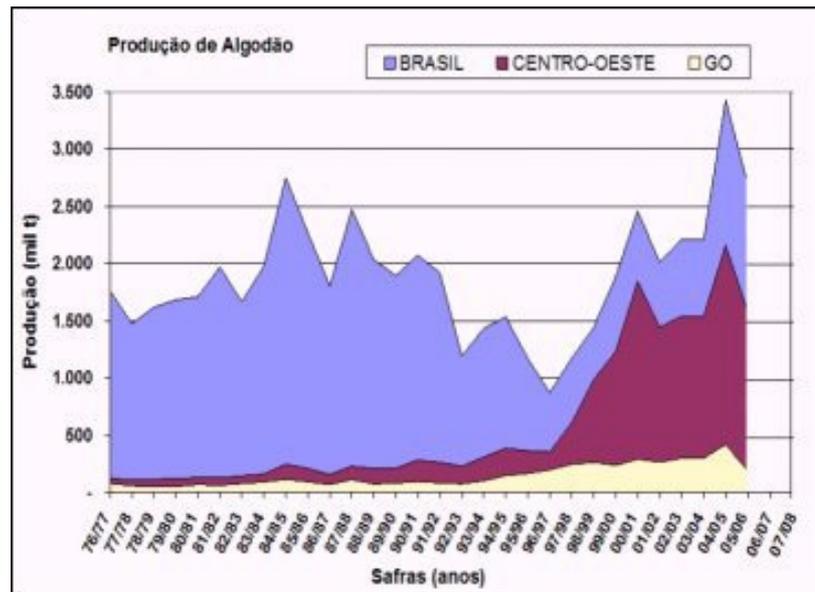


Figura 27: Evolução da Produção de Algodão no Estado de Goiás

No Estado encontram-se instaladas atualmente 36 indústrias de beneficiamento, com capacidade operacional quase três vezes superior à produção.

A cadeia algodão/têxtil tem se tornado cada vez mais relevante para a economia do Estado de Goiás. A produção de algodão no Estado possui significativa importância, principalmente pelo fato de não ser uma atividade isolada, e sim um sistema de produção que atinge a economia do Estado como um todo.

Com relação à distribuição da produção de algodão pelo território de Goiás, obtiveram-se dados da produção de todos os municípios produtores no estado, através do Sistema Estadual de Estatísticas e de Informações de Goiás (SIEG, 2007), por meio destes calculou-se que 45,1% desta produção se concentra nos municípios do sudoeste do estado como Chapadão do Céu e Mineiros, conforme se observa na Tabela 3, sendo esta a principal região produtora.

O estado de Goiás está dividido em regiões de planejamento conforme indicado na Figura 28, onde se tem também a indicação da participação percentual de cada uma destas regiões em relação à produção de algodão no estado, utilizou-se a divisão do estado em regiões de planejamento para facilitar a identificação das regiões onde a produção está mais concentrada.

Tabela 3 - Municípios maiores produtores de Algodão em Goiás e seus potenciais
SIEG (2007) / EMBRAPA (2006)

Município	Produção (t)	Prod. Resíduos (t)	Uso Resíduos (t) 30%	Geração Anual (GWh)	Potência (MW)
PARAUNA	74635	182855,75	54856,725	55,75	6,36
CHAPADAO DO CEU	70000	171500	51450	52,29	5,97
ACREUNA	39621	97071,45	29121,435	29,6	3,38
IPAMERI	23598	57815,1	17344,53	17,63	2,01
MINEIROS	22000	53900	16170	16,43	1,88
CRISTALINA	19344	47392,8	14217,84	14,45	1,65
TURVELANDIA	16116	39484,2	11845,26	12,04	1,37
CAIAPONIA	13000	31850	9555	9,71	1,11
MONTIVIDIU	12968	31771,6	9531,48	9,69	1,11
RIO VERDE	10700	26215	7864,5	7,99	0,91
CAMPO ALEGRE DE GOIAS	10452	25607,4	7682,22	7,81	0,89
MORRINHOS	10428	25548,6	7664,58	7,79	0,89
INDIARA	9552	23402,4	7020,72	7,14	0,81
GOIATUBA	8723	21371,35	6411,405	6,52	0,74
PEROLANDIA	8000	19600	5880	5,98	0,68
PALMEIRAS DE GOIAS	7560	18522	5556,6	5,65	0,64
JUSSARA	6860	16807	5042,1	5,12	0,58
JATAI	6300	15435	4630,5	4,71	0,54
PANAMA	6032	14778,4	4433,52	4,51	0,51
CATALAO	5670	13891,5	4167,45	4,24	0,48
TOTAL	381559	934819,55	280445,87	285,05	32,51

Para a geração da tabela 3 consideramos o rendimento dos equipamentos de 25%. Os cálculos serão apresentados no estudo de caso do município de Rio Verde adiante.

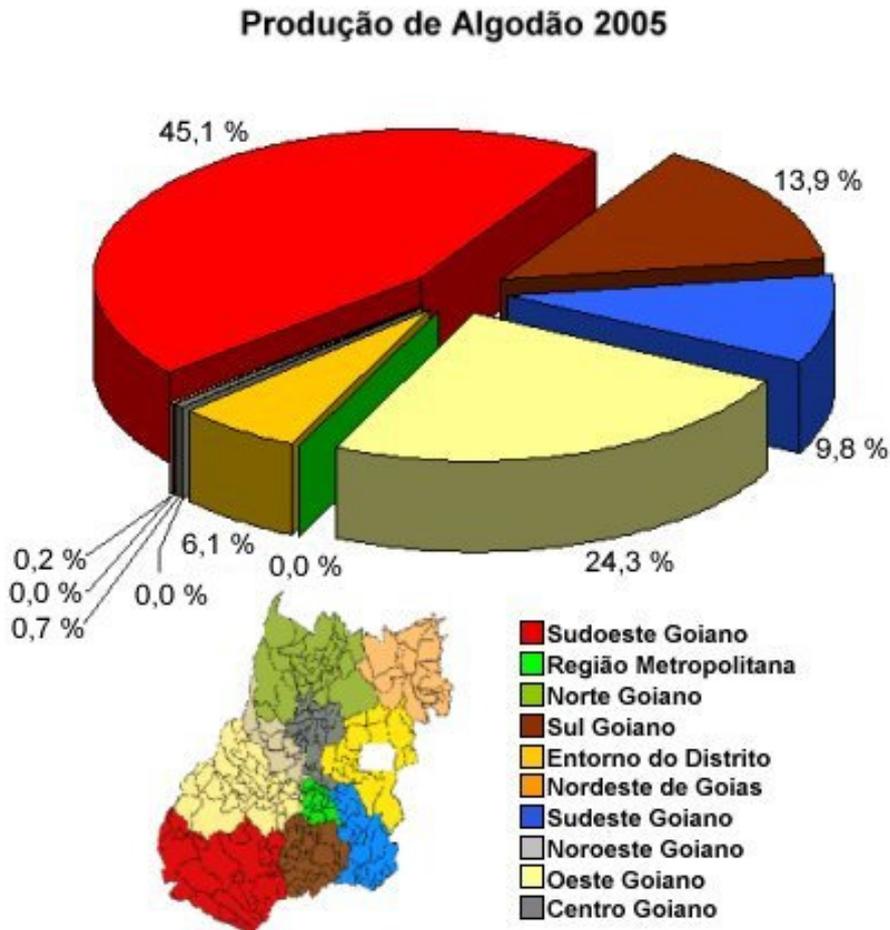


Figura 28: Participação das Regiões de Planejamento na Produção de Algodão

3.2 - ARROZ

3.2.1 - Introdução

O arroz "*Oryza sativa* L" é uma espécie hidrófila, cujo processo evolutivo tem levado à sua adaptação às mais variadas condições ambientais. É considerado o produto de maior importância econômica em muitos países em desenvolvimento, constituindo-se alimento básico para cerca de 2,4 bilhões de pessoas, e o aumento crescente de seu consumo impõe aos setores produtivos a busca de novas técnicas que possam aumentar a produção.

Cultivado e consumido em todos os continentes, o arroz (Figura 29) se destaca pela produção e área de cultivo, desempenhando papel estratégico tanto em nível econômico quanto social.



Figura 29: Plantação de Arroz

Aproximadamente 90% de todo o arroz do mundo é cultivado na Ásia por mais de 250 milhões de pequenas propriedades. Os países que se destacam são: China, Índia e Indonésia que respondem, respectivamente, por 30%, 23% e 8% da produção mundial (EMBRAPA, 2007).

A América Latina tem elevado sua produção em 4,34% ao ano e a produtividade de grãos em 3,22%. Detendo 12% das terras agrícolas e 13,2% dos recursos renováveis de água, a América Latina pode, futuramente, se tornar o grande fornecedor desse cereal (EMBRAPA, 2007)

3.2.2 - Cultivo de Arroz

As características dos solos e condições de hidromorfismo tornam as áreas de região do cerrado aptas à orizicultura irrigada. Nas Regiões Norte e Centro-Oeste, região do Cerrado, há cerca de 12 milhões de hectares de várzeas, sendo a maior parte ainda sob mata ou pastagem nativa. No entanto, estas áreas vêm sendo exploradas de forma mais intensa para o cultivo de arroz. A maior área plantada de arroz no Brasil corresponde ao arroz sequeiro, que responde por 64% da área total cultivada, enquanto o arroz irrigado responde por 35 % e o de várzeas por 1 % da área cultivada. O cultivo do arroz de terras altas na Região Centro-Oeste do Brasil, feito em áreas de grande extensão, é um exemplo de agricultura mecanizada.

3.2.3 - A Produção de Arroz no Brasil

Percebe-se ao analisar as figuras 30 e 31 que a produção de arroz nos anos 90 e 2000 teve a tendência de regularidade, assim como a área cultivada. CONAB (2006).



Figura 30: Evolução da Área Cultivada com Arroz no Brasil

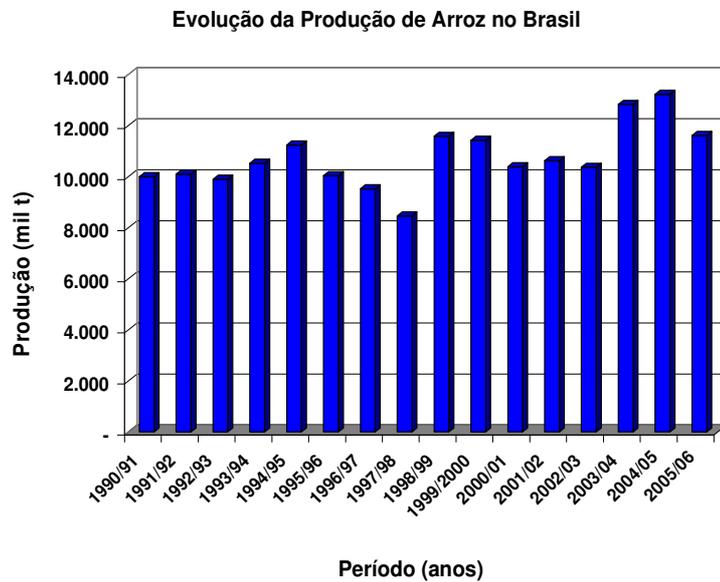


Figura 31: Crescimento da Produção de Arroz no Brasil

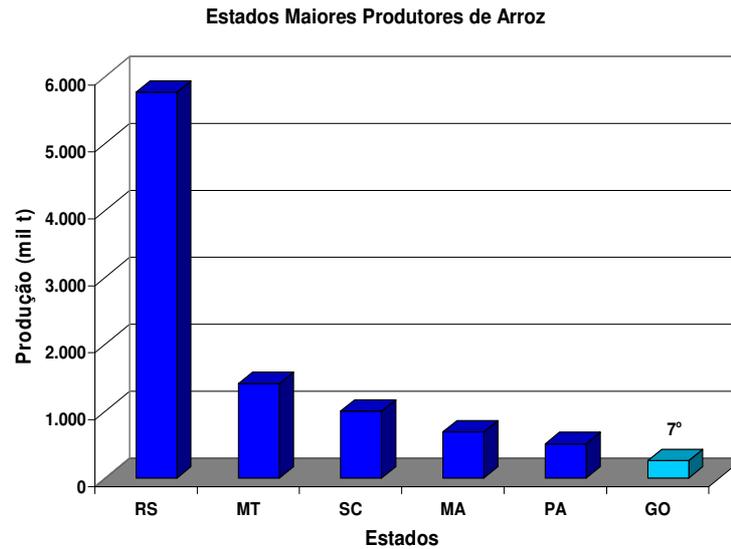


Figura 32: Maiores Produtores de Arroz no Brasil

3.2.4 - A Produção de Arroz em Goiás

A rizicultura no estado de Goiás teve originalmente características extensivas, ao ser cultivada para a abertura de áreas pecuárias novas, bem como nas superfícies de reforma de pastagens.

Apesar dos avanços obtidos recentemente, de um modo geral a área de rizicultura no estado vem sofrendo retração ao longo das últimas décadas, conforme se observa na Figura 33, devido principalmente à competição com outras culturas que ultimamente têm apresentado elevado valor de mercado, como a soja.

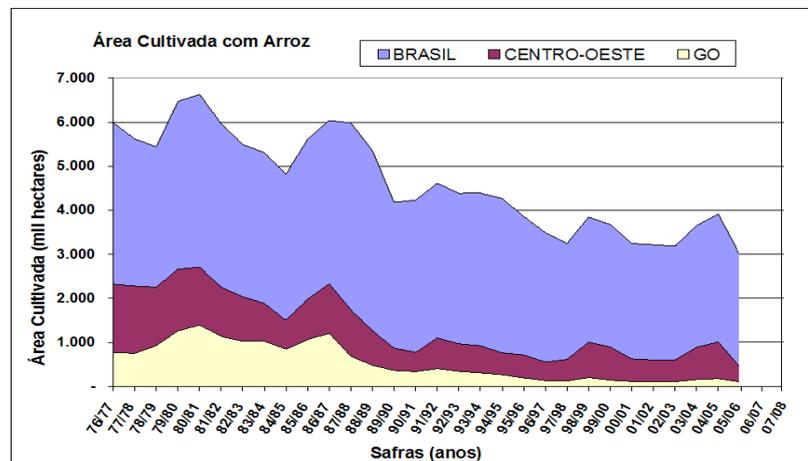


Figura 33: Evolução da Área Cultivada Arroz no Estado de Goiás

O estado de Goiás é o sétimo estado maior produtor de arroz no Brasil, com área plantada de cerca de 165,6 mil hectares, e na safra de 2004/2005 teve produção de 369,5 mil toneladas (SIEG, 2007). Algumas regiões do estado se destacam como grandes centros produtores, especialmente os municípios localizados no sul goiano.

A produção de arroz do estado evoluiu conforme a figura 34.

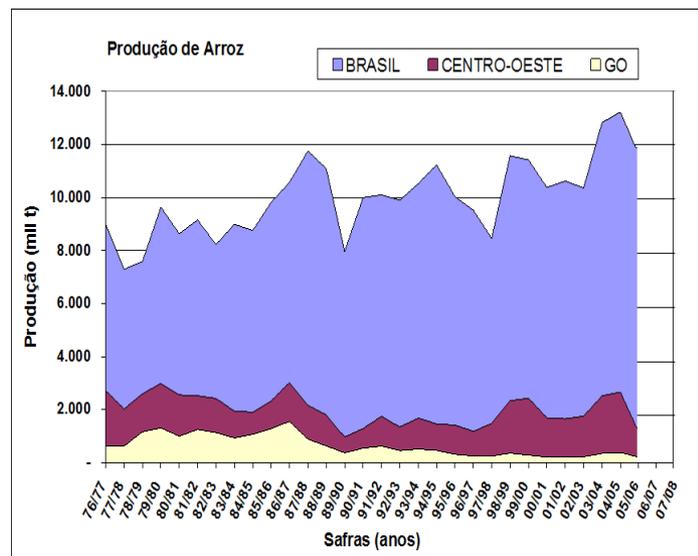


Figura 34: Evolução da Produção de Arroz no Estado de Goiás

O estado de Goiás está dividido em regiões de planejamento conforme indicado na Figura 35, onde se tem também a indicação da participação percentual de cada uma destas regiões em relação à produção de arroz no estado, destacando-se o oeste goiano como principal região produtora.

Na Tabela 4 tem-se o ranking dos vinte maiores produtores de arroz no estado de Goiás, indicando como se pode perceber que a produção se encontra bastante dispersa pelo estado, apesar de haver uma maior concentração em algumas regiões, mas não havendo uma grande concentração em uma região específica.

Tabela 4 - Municípios maiores produtores de Arroz em Goiás e seus potenciais
SIEG (2007) / EMBRAPA (2006)

Município	Produção (t)	Prod. Resíduos (t)	Uso Resíduos (t) 30%	Geração Anual (GWh)	Potência (MW)
FLORES DE GOIAS	41400	60030	18009	13,4	1,53
ITABERAI	20020	29029	8708,7	6,48	0,74
CAIAPONIA	19800	28710	8613	6,41	0,73
SAO MIGUEL DO ARAGUAIA	15030	21793,5	6538,05	4,87	0,56
FORMOSA	10380	15051	4515,3	3,36	0,38
PALMEIRAS DE GOIAS	10000	14500	4350	3,24	0,37
NIQUELANDIA	8400	12180	3654	2,72	0,31
DOVERLANDIA	7000	10150	3045	2,27	0,26
PIRACANJUBA	6840	9918	2975,4	2,21	0,25
SAO JOAO DA PARAUNA	6450	9352,5	2805,75	2,09	0,24
JATAI	6100	8845	2653,5	1,97	0,23
IPAMERI	6000	8700	2610	1,94	0,22
GOIAS	4640	6728	2018,4	1,5	0,17
RIO VERDE	4500	6525	1957,5	1,46	0,17
PARAUNA	4320	6264	1879,2	1,4	0,16
CATALAO	4320	6264	1879,2	1,4	0,16
TRINDADE	4299	6233,55	1870,065	1,39	0,16
URUANA	4200	6090	1827	1,36	0,16
CRISTALINA	4026	5837,7	1751,31	1,3	0,15
ALVORADA DO NORTE	3950	5727,5	1718,25	1,28	0,15
TOTAL	191675	277928,75	83378,625	62,05	7,1

Para a geração da tabela 4 consideramos o rendimento dos equipamentos de 25%. Os cálculos serão apresentados no estudo de caso do município de Rio Verde adiante.

Produção de Arroz 2005

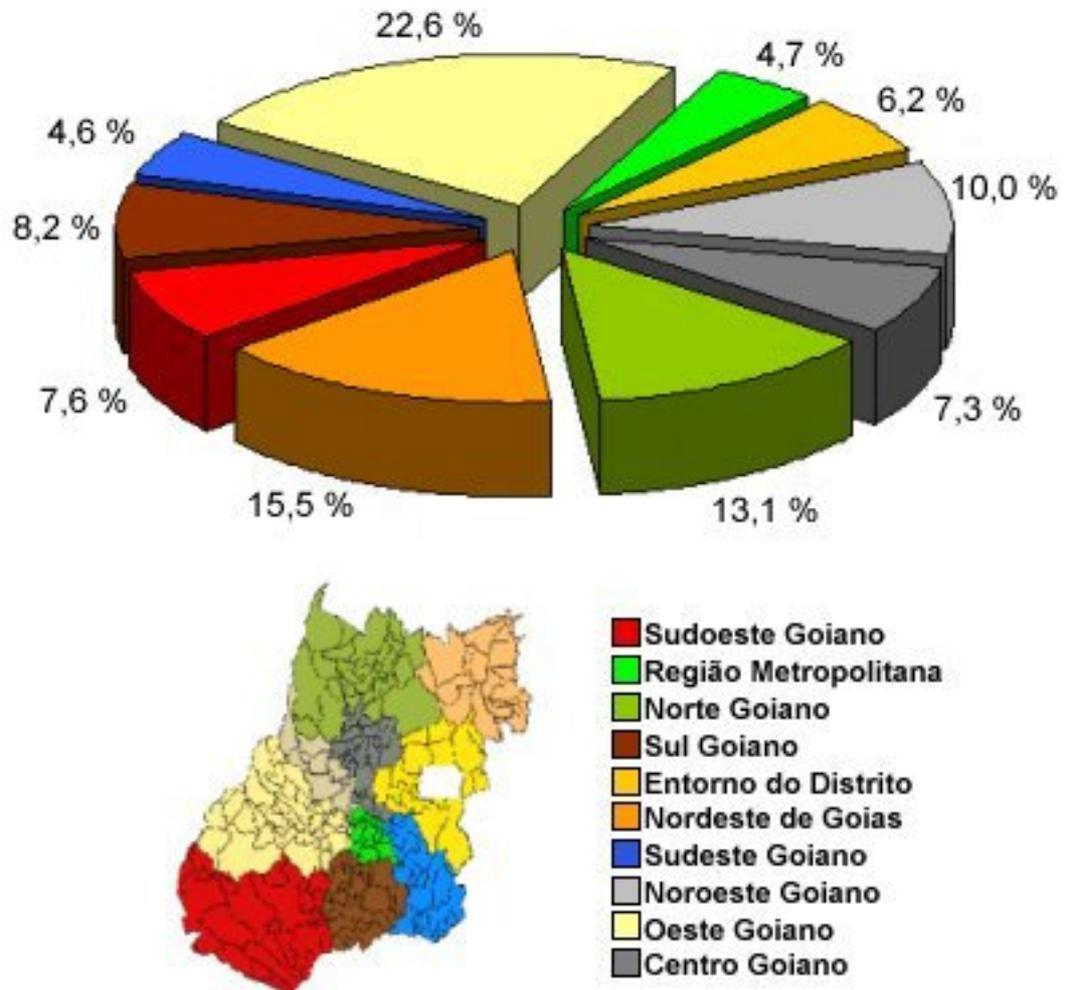


Figura 35: Participação das Regiões de Planejamento na Produção de Arroz

3.3 - CANA-DE-AÇÚCAR

3.3.1 - Introdução

A cana-de-açúcar “*Saccharum officinarum*” é uma gramínea originária da Ásia, provavelmente da Nova Guiné, sendo antiga fonte de energia para os seres humanos e, mais recentemente, um substituto para o combustível fóssil para veículos automotores. Foi primeiro cultivada no sudeste da Ásia e Índia Ocidental. Hoje, os maiores produtores são Brasil, Índia, Cuba, México e China.

A cana-de-açúcar mundial ocupa uma área de 2042 milhões de hectares com uma produção total de 1333 milhões de toneladas métricas (FAO, 2003). A área de cana-de-açúcar e sua produtividade diferem vastamente de país para país. O Brasil tem a maior área, cerca de 6,185 milhões de hectares, na safra 2005/2006 (IBGE, 2007), enquanto a Austrália tem a maior produtividade (85.1 tons/ha). De 121 países produtores de cana-de-açúcar, quinze países (Brasil, Índia, China, Tailândia, Paquistão, México, Cuba, Colômbia, Austrália, USA, Filipinas, África do Sul, Argentina, Mianmar, Bangladesh) são responsáveis por 86% da área cultivada e 87.1% de produção. Do total da produção de açúcar cristal branco, aproximadamente 70% vem da cana e 30% da beterraba.

Cana-de-açúcar (Figura 36) é um recurso agrícola natural e renovável porque produz açúcar, além de biocombustível, fibra, fertilizante e uma miríade de derivados/co-produtos com sustentabilidade ecológica.



Figura 36: Cultura de Cana-de-Açúcar

O melaço, o derivado principal, é a mais importante matéria prima para produção de álcool e, portanto para as indústrias baseadas no álcool. O excesso de bagaço está agora sendo usado como matéria-prima na indústria de papel. Além disso, a geração de potência usando bagaço como combustível tem sido realizada em algumas usinas como de forma de atender à demanda energética das mesmas.

3.3.2 - Cultivo da Cana-de-açúcar

Os principais componentes climáticos que controlam o crescimento, a produção e qualidade da cana-de-açúcar são temperatura, luz e umidade disponível. A planta vive melhor em áreas ensolaradas quentes e tropicais. A deficiência hídrica e nutricional além de temperaturas extremas e baixa radiação solar são algumas das principais limitações ao seu desenvolvimento.

O processo mais utilizado no plantio é o de sulcos, principalmente nas grandes áreas, mas pode-se plantar por covas. No caso do sulcamento o plantio é mais rápido e facilita as operações de irrigação. A cana-de-açúcar desenvolve-se melhor se o terreno estiver limpo. A cobertura morta também traz benefícios para a cana-de-açúcar: age contra as altas temperaturas e os ventos, que ressecam os terrenos, além disso, protege o solo contra a erosão. A cana-de-açúcar é uma planta semiperene.

Ao lado do crescente índice de mecanização, o corte da cana ainda é predominantemente manual, com o carregamento mecânico (UNICA, 2007).

A colheita inicia-se em maio e em algumas unidades sucroalcooleiras em abril, prolongando-se até novembro, período em que a planta atinge o ponto de maturação, devendo, sempre que possível, antecipar o fim da safra, por ser um período bastante chuvoso, que dificulta o transporte de matéria prima e faz cair o rendimento industrial.

3.3.3 - A Produção de Cana-de-Açúcar no Brasil

Percebe-se ao analisar as figuras 37 e 38 que houve um crescimento tanto na área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil quanto na sua produção durante os anos 90 e 2000. CONAB (2006).

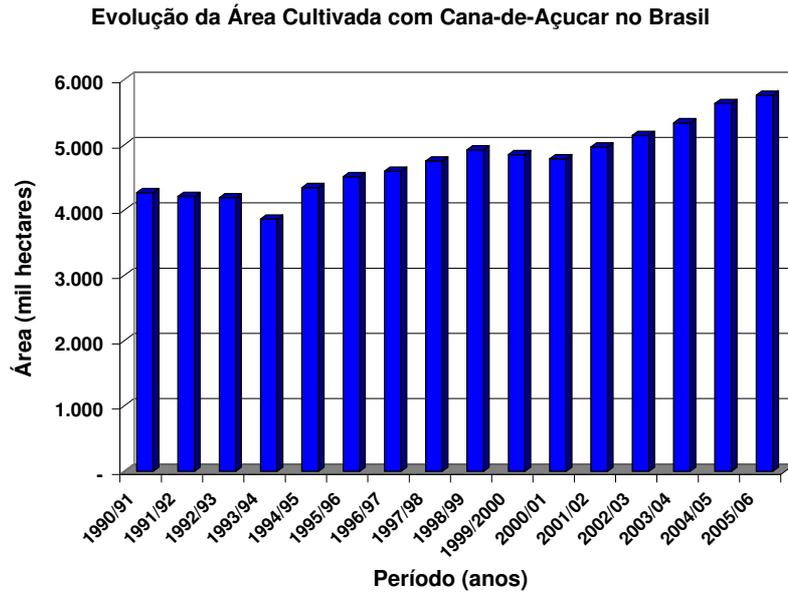


Figura 37: Evolução da Área Cultivada com Cana-de-Açúcar no Brasil

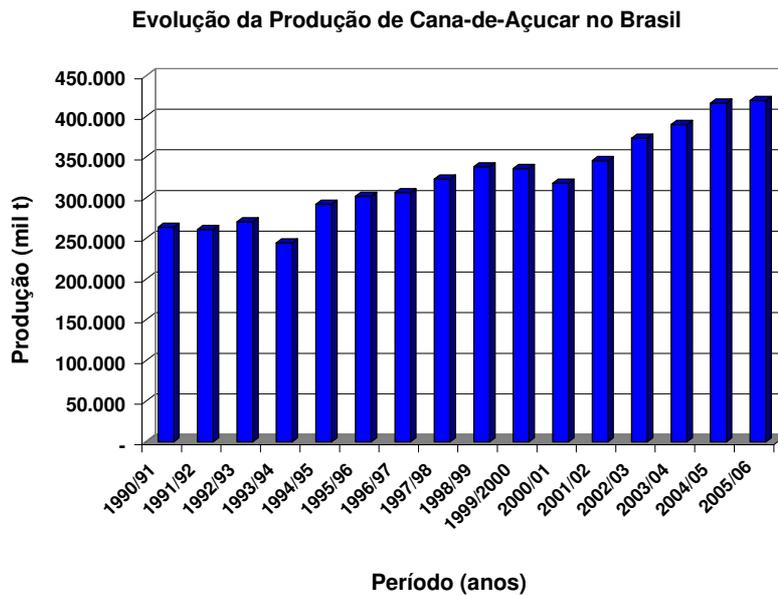


Figura 38: Crescimento da Produção de Cana-de-Açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar é cultivada em todos os Estados brasileiros, mas é no Estado de São Paulo que se concentra a maioria das lavouras dessa cultura: são mais de 40% da área de cana no Brasil. No Nordeste, Pernambuco tem 20% e Alagoas, 17%. Minas Gerais e Rio de Janeiro juntos têm 15% da área plantada. Na Figura 39 tem-se a representação da produção dos cinco estados maiores produtores desta gramínea no Brasil. O estado de Goiás aparece como sexto maior produtor (UNICA, 2007).

A importância econômica da cana-de-açúcar é grande, visto que ela produz diversos alimentos para o homem e para animais, isso sem falar, no caso brasileiro, da produção de álcool combustível para a indústria automobilística.

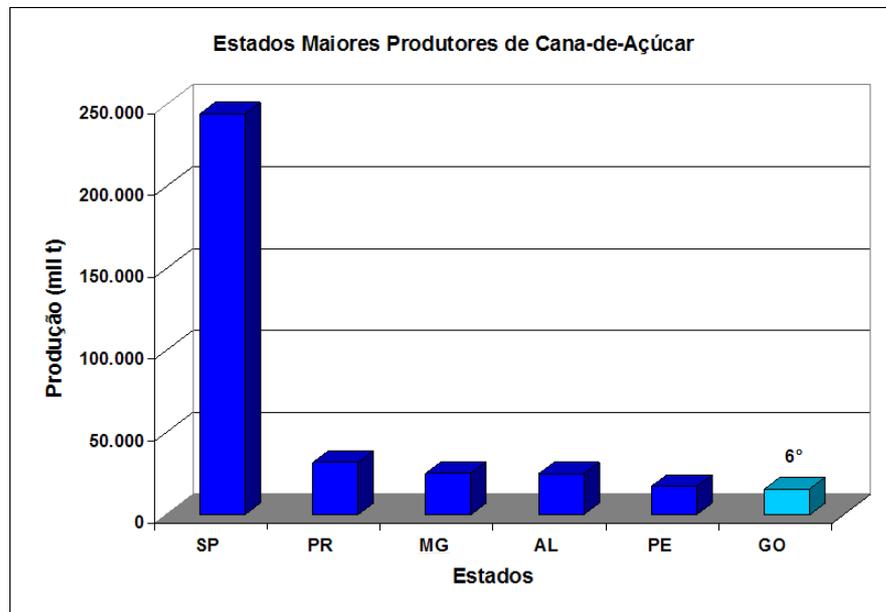


Figura 39: Maiores Produtores de Cana-de-Açúcar no Brasil

3.3.4 - A Produção de Cana-de-Açúcar em Goiás

Goiás, atualmente, é o sexto estado brasileiro em área plantada com cana-de-açúcar, sendo que esta área tem seguido a tendência de crescimento que tem ocorrido nas demais regiões produtoras, conforme se observa na Figura 26. Goiás conta ainda com áreas para a expansão da cultura, principalmente em áreas de pastagens degradadas.

Hoje existem instaladas no Estado mais de uma dezena de unidades produtoras de açúcar e/ou álcool, com uma perspectiva de implantação de novas unidades a curto e médio prazo. Além de uma grande quantidade de pequenos produtores, que produzem cachaça, açúcar mascavo e outros derivados da cana-de-açúcar. Desse modo, a cana-de-açúcar, também, ocupa uma posição de destaque no agro negócio goiano.

Em Goiás, há 15 usinas em funcionamento e 60 pedidos de incentivo fiscal para instalação no estado, dos quais 37 já aprovados. Boa parte do crescimento da produção de álcool visa abastecer o mercado externo, o que torna o alcooduto que se pretende construir um diferencial para Goiás.

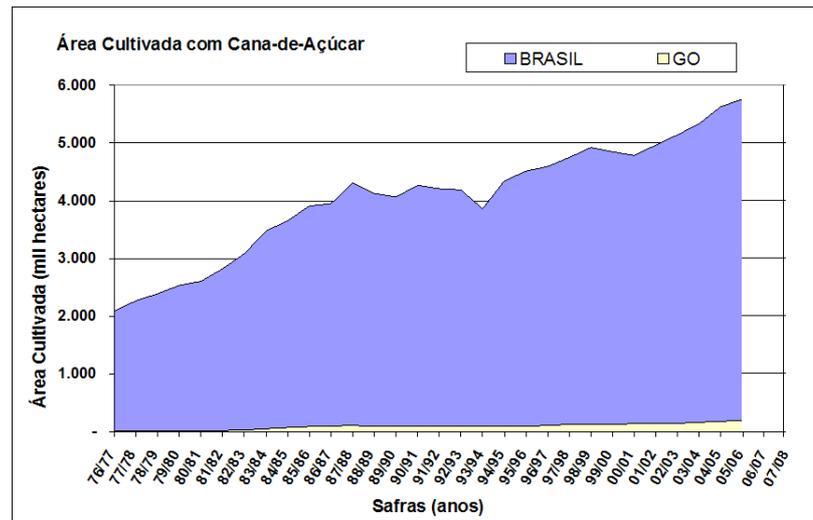


Figura 40: Evolução da Área Cultivada Cana-de-Açúcar no Estado de Goiás

A evolução da produção de cana-de-açúcar no estado de Goiás é mostrada na Figura 27.

O estado apresenta boas perspectivas de crescimento da produção de cana-de-açúcar, pois a Petrobrás pretende investir 500 milhões de reais na instalação de um alcooduto -- o primeiro do país -- entre o terminal de Senador Canedo (GO) e a refinaria de Paulínia (REPLAN) em São Paulo, para escoar a produção crescente de etanol na Região Centro-Oeste.

Quarto maior produtor de álcool do país, Goiás vem incentivando fortemente o plantio de cana. Tem hoje, segundo o SIEG, cerca de 210.000 hectares de área plantada e quer chegar a 250.000 nos próximos anos. Pelo menos 125 milhões de reais deverão ser destinados às duas novas usinas, que, juntas, terão capacidade inicial de moagem de 2,5 milhões de toneladas de cana por ano.

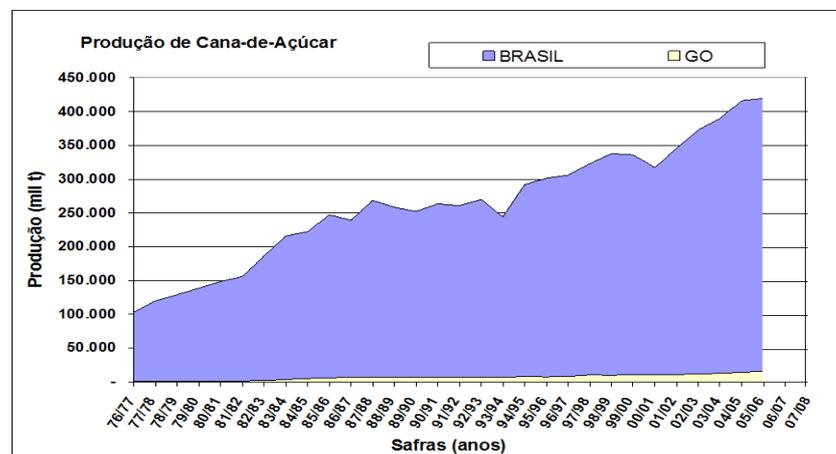


Figura 41: Evolução da Produção de Cana-de-Açúcar em Goiás

Segundo o Sistema Estadual de Estatística e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG), a produção de cana de açúcar no estado é de cerca de 14 milhões de toneladas. Atualmente, temos entre os municípios maiores produtores de cana em Goiás: Santa Helena de Goiás e Turvelândia no Sudoeste goiano e Goianésia localizado na região central do estado, na Tabela 5 tem-se a relação dos vinte municípios maiores produtores de cana no estado.

Tabela 5 - Municípios maiores produtores de Cana-de-açúcar em Goiás e seus potenciais (2007) / EMBRAPA (2006)

Município	Produção (t)	Prod. Resíduos	Uso Resíduos 30%	Geração Anual (GWh)	Potência (MW)
SANTA HELENA DE GOIAS	1873920	2173747,2	652124,16	489,85	55,92
GOIANESIA	1620000	1879200	563760	423,48	48,34
TURVELANDIA	1057672	1226899,5	368069,86	276,48	31,56
GOIATUBA	978400	1134944	340483,2	255,76	29,2
MAURILANDIA	807000	936120	280836	210,95	24,08
JANDAIA	650016	754018,56	226205,57	169,92	19,4
CARMO DO RIO VERDE	640000	742400	222720	167,3	19,1
PORTEIRO	623700	723492	217047,6	163,04	18,61
ANICUNS	500001	580001,16	174000,35	130,7	14,92
ITUMBIARA	489800	568168	170450,4	128,04	14,62
BOM JESUS DE GOIAS	408000	473280	141984	106,65	12,18
VILA PROPICIO	405000	469800	140940	105,87	12,09
ITABERAI	399999	463998,84	139199,65	104,56	11,94
NOVA GLORIA	392000	454720	136416	102,47	11,7
INHUMAS	369999	429198,84	128759,65	96,72	11,04
ITAPACI	328000	380480	114144	85,74	9,79
SAO LUIZ DO NORTE	310500	360180	108054	81,17	9,27
CASTELANDIA	300000	348000	104400	78,42	8,95
BARRO ALTO	288000	334080	100224	75,28	8,59
IPIRANGA DE GOIAS	288000	334080	100224	75,28	8,59
TOTAL	12730007	14766808	4430042,4	3327,68	379,89

Para a geração da tabela 5 consideramos o rendimento dos equipamentos de 25%. Os cálculos serão apresentados no estudo de caso do município de Rio Verde adiante.

O estado de Goiás está dividido em regiões de planejamento conforme indicado na Figura 42, onde se tem também a indicação da participação percentual de cada uma destas regiões em relação à produção de cana-de-açúcar no estado.

Com relação à distribuição da produção de cana pelo território de Goiás, obtivemos dados da produção de todos os municípios produtores no estado, junto ao Sistema Estadual de Estatística e de Informação geográfica (SIEG, 2007). Por meio destes, calculou-se que as três regiões com maior percentual de produção no estado são: o centro goiano com 34,1% da produção, o sudoeste goiano com 29,8% e o sul goiano com 17%, sendo estas as principais regiões produtoras do estado. As demais regiões respondem por um percentual pequeno, conforme se observa na Figura 42.

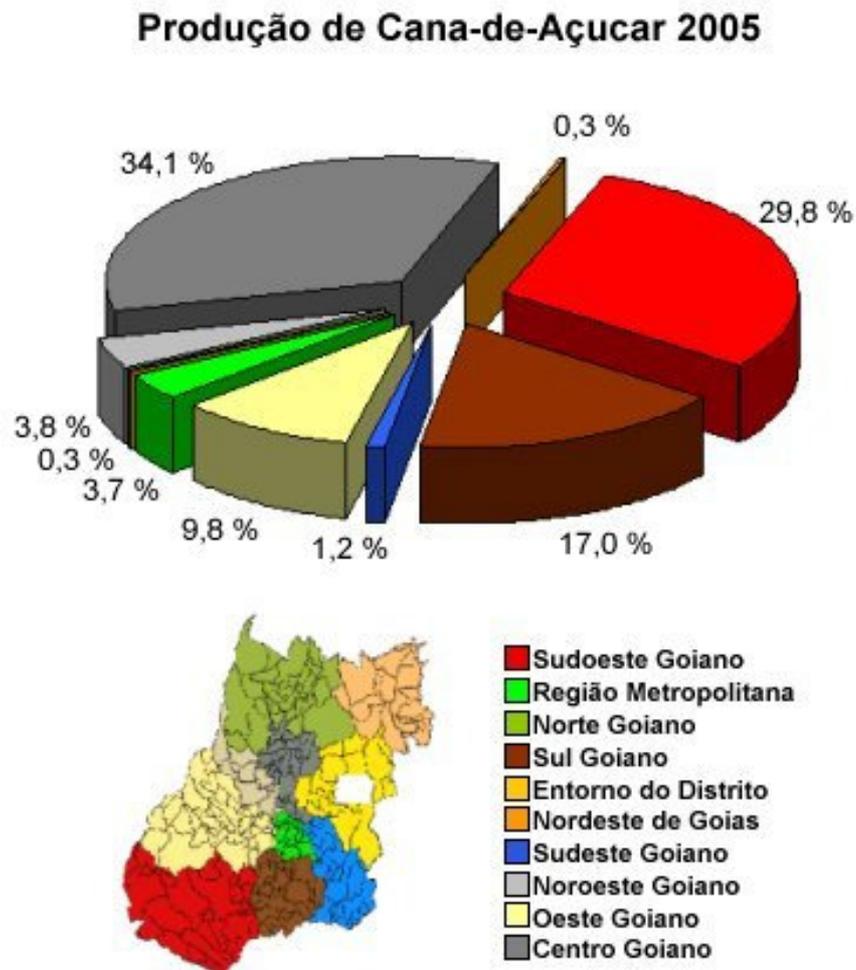


Figura 42: Participação das Regiões de Planejamento na Produção de Cana

3.4 - FEIJÃO

3.4.1 - Introdução

O feijoeiro comum “*Phaseolus vulgaris*” é a espécie mais cultivada entre as demais do gênero “*Phaseolus*” (Figura 43). Considerando todos os gêneros e espécies de feijão englobadas nas estatísticas da FAO, publicadas em 2005, a produção mundial de feijão situou-se em torno de 18,7 milhões de toneladas, ocupando uma área de 26,9 milhões de hectares.

As Américas respondem por 43,2% do consumo mundial, seguidas pela Ásia (34,5%), África (18,5%), Europa (3,7%) e Oceania (0,1%). Os países em desenvolvimento são responsáveis por 86,7% do consumo mundial. No Brasil, o consumo *per capita* de feijão, na década de 70, era de 18,5 kg/hab.ano; já em 2002 baixou para 16,3 kg/hab.ano (FAO, 2005).



Figura 43: Plantação de feijão comum

3.4.2 - Cultivo do Feijoeiro Comum

O feijoeiro comum é cultivado ao longo do ano na maioria dos estados brasileiros, proporcionando constante oferta do produto no mercado, sendo cultivado desde cultura de subsistência em pequenas propriedades até altamente tecnificadas em cultivos empresariais.

A Região Sul ocupa lugar de destaque no cenário nacional, respondendo por 37% da produção, seguida da Região Sudeste com 31%, Região Nordeste com 16%, Região Centro-Oeste com 13%, e da Região Norte com 3% (EMBRAPA, 2007).

A região Centro-Oeste, norte de São Paulo, o sul de Minas Gerais e algumas áreas do Nordeste Brasileiro apresentam as melhores condições climáticas para produção de sementes de feijão.

3.4.3 - A Produção de Feijão no Brasil

Ao se analisar as figuras 44 e 45, percebe-se que durante os anos 90 a área plantada com feijão no Brasil teve uma acentuada diminuição. No mesmo período o mesmo ocorreu com a produtividade de feijão. Já nos anos 2000, houve uma ligeira recuperação na área cultivada com este insumo e para o mesmo período o crescimento da produção foi bem mais acentuado. CONAB (2006).

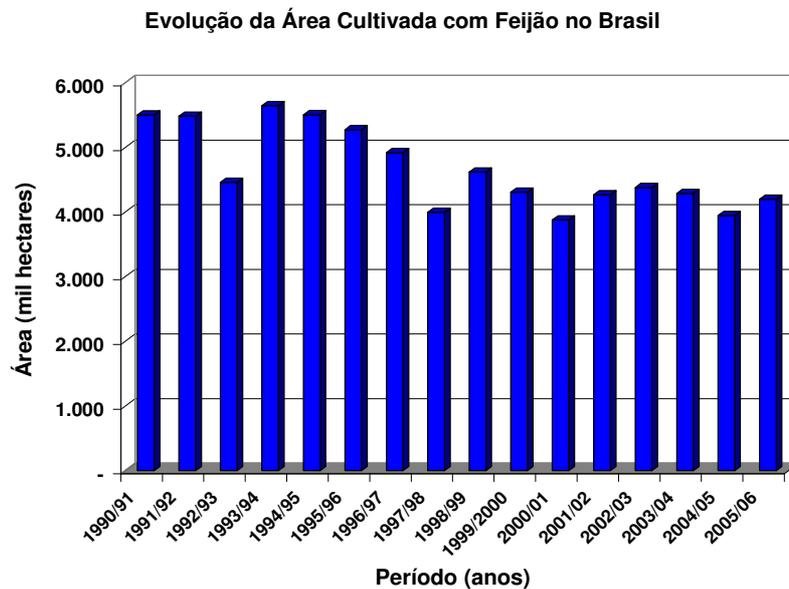


Figura 44: Evolução da Área Cultivada com Feijão no Brasil

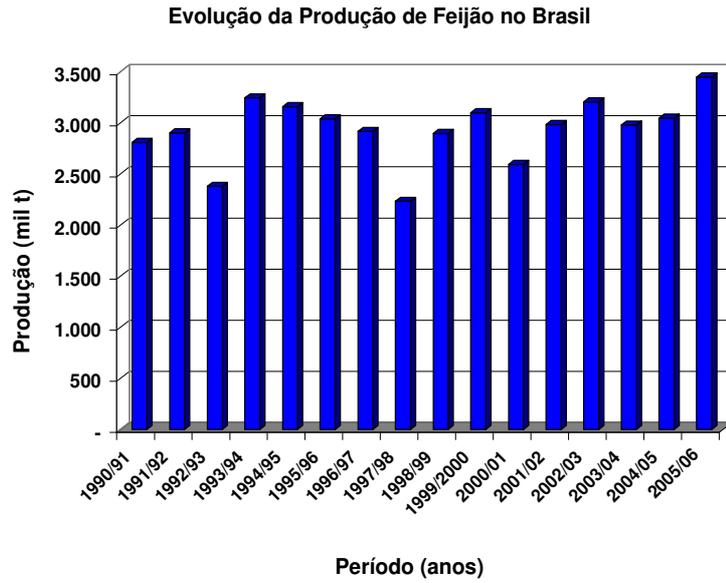


Figura 45: Evolução da Produção de Feijão no Brasil

Na Figura 46, observa-se um comparativo dos cinco estados maiores produtores de feijão do Brasil, tomando-se a média das últimas cinco safras.

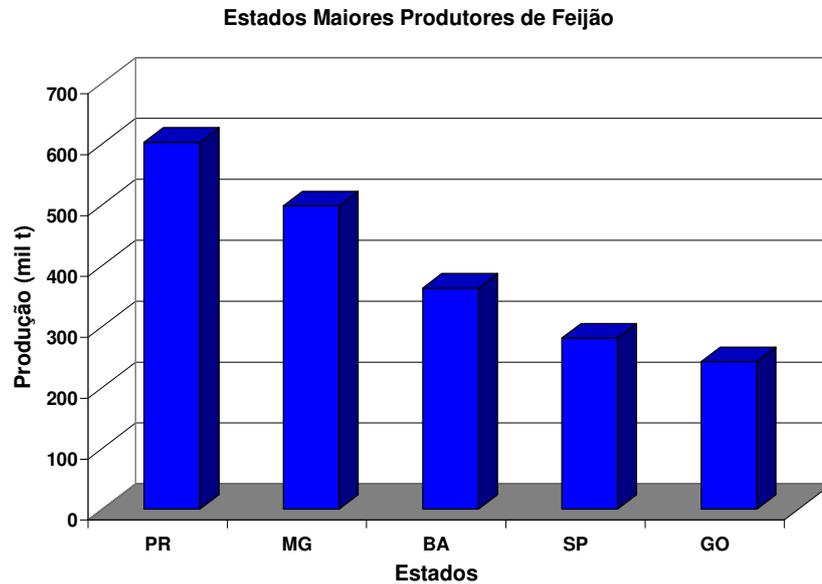


Figura 46: Maiores Produtores de Feijão no Brasil

3.4.4 - Produção de Feijão em Goiás

No Estado de Goiás, as épocas de semeadura recomendadas para a cultura do feijoeiro concentram-se em três períodos: “águas” (outubro a novembro); “seca” (janeiro a fevereiro) e “inverno” (maio a junho) (EMBRAPA, 1994).

A produção de feijão apresentou poucas variações no estado de Goiás até o ano de 1996. A partir de então a produção passou a ter um forte crescimento devido à expansão da fronteira agrícola do Brasil para a região dos cerrados. Esta evolução da área cultivada está representada na Figura 47 enquanto na Figura 34 está representada a evolução da produção desta leguminosa no estado de Goiás, onde se observa que apesar de ter havido decréscimo da área cultivada a produção não se reduziu devido ao aumento da produtividade.

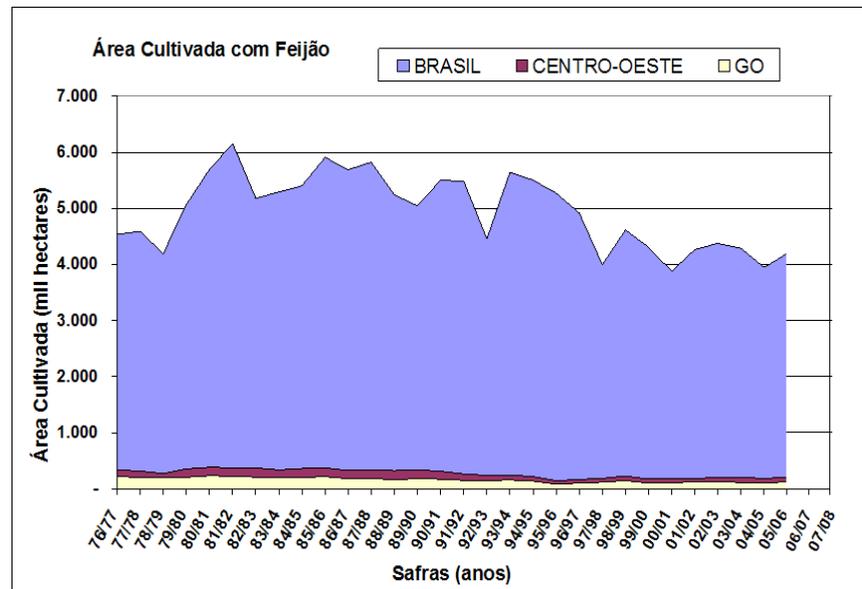


Figura 47 : Evolução da Área Cultivada Feijão no Estado de Goiás

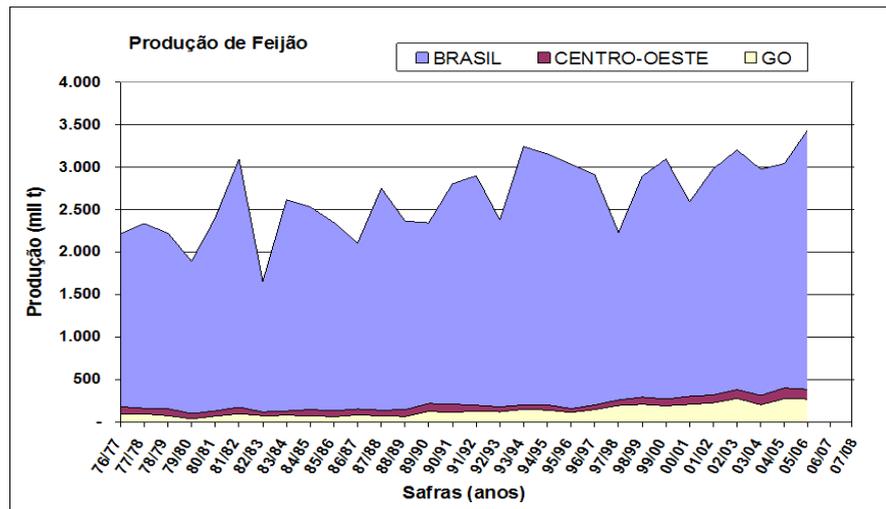


Figura 48: Evolução da Produção de Feijão no Estado de Goiás

Atualmente, os municípios maiores produtores de feijão em Goiás são: Cristalina, Luziânia, Água Fria de Goiás, Morrinhos, Cabeceiras e Itaberaí. Os vinte municípios maiores produtores de feijão do estado encontram-se listados na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Municípios maiores produtores de Feijão em Goiás e seus potenciais SIEG (2007) / EMBRAPA (2006)

Município	Produção (t)	Prod. Resíduos (t)	Uso Resíduos (t) 30%	Geração Anual (GWh)	Potência (MW)
CRISTALINA	97410	204561	61368,3	54,23	6,19
LUZIANIA	37380	78498	23549,4	20,81	2,38
AGUA FRIA DE GOIAS	19215	40351,5	12105,45	10,7	1,22
MORRINHOS	14145	29704,5	8911,35	7,88	0,9
CABECEIRAS	13200	27720	8316	7,35	0,84
ITABERAI	11480	24108	7232,4	6,39	0,73
JUSSARA	9000	18900	5670	5,01	0,57
RIO VERDE	6960	14616	4384,8	3,87	0,44
SAO JOAO DA PARAUNA	6180	12978	3893,4	3,44	0,39
SILVANIA	4570	9597	2879,1	2,54	0,29
FORMOSA	3825	8032,5	2409,75	2,13	0,24
IPAMERI	3570	7497	2249,1	1,99	0,23
CAMPO ALEGRE DE GOIAS	2910	6111	1833,3	1,62	0,18
PONTALINA	2700	5670	1701	1,5	0,17
NIQUELANDIA	2680	5628	1688,4	1,49	0,17
MONTES CLAROS DE GOIAS	2330	4893	1467,9	1,3	0,15
MONTIVIDIU	2280	4788	1436,4	1,27	0,14
PLANALTINA	2100	4410	1323	1,17	0,13
CATALAO	1830	3843	1152,9	1,02	0,12
CAIAPONIA	1800	3780	1134	1	0,11
TOTAL	245565	515686,5	154705,95	136,71	15,59

Para a geração da tabela 6 consideramos o rendimento dos equipamentos de 25%. Os cálculos serão apresentados no estudo de caso do município de Rio Verde adiante.

Com relação à distribuição da produção de feijão pelo território de Goiás, obtiveram-se dados da produção de todos os municípios produtores no estado, junto ao Sistema Estadual de Estatística de Informações Geográficas de Goiás (SIEG, 2007). Por meio destes calculou-se que 62,4% da produção concentra-se nos municípios do entorno do Distrito Federal, sendo esta a principal região produtora. A região Sudoeste do estado, que se caracteriza por forte atividade agrícola, apresenta participação de apenas 5,2% devido à maior presença de culturas com maior valor de mercado e que são exploradas de forma mais intensa nesta região.

O estado de Goiás está dividido em regiões de planejamento conforme indicado na Figura 49, onde se tem também a indicação da participação percentual de cada uma das regiões em relação à produção de feijão no estado.

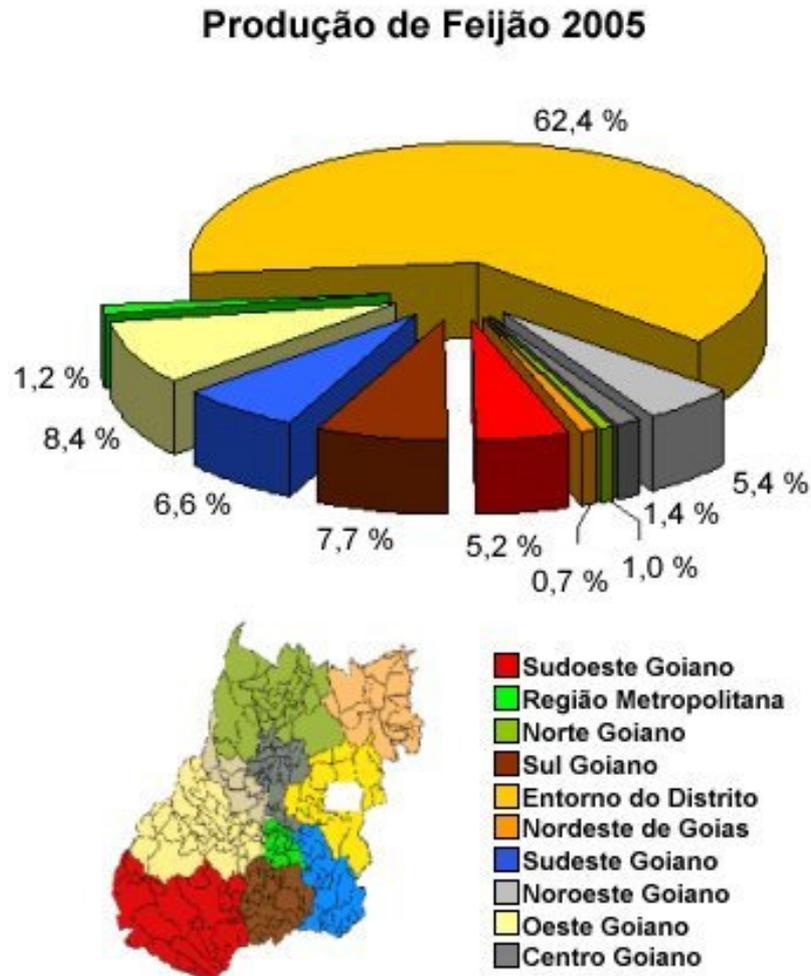


Figura 49: Participação das Regiões de Planejamento na Produção de Feijão

3.5 - MILHO

3.5.1 - Introdução

O milho é uma planta da família “Gramineae” e da espécie “Zea mays”. Comumente, o termo se refere à sua semente, um cereal de altas qualidades nutritivas. É extensivamente utilizado como alimento humano ou ração animal.

Tem alto potencial produtivo, e é bastante responsivo à tecnologia. Seu cultivo geralmente é mecanizado, beneficiando-se muito de técnicas modernas de plantio e colheita (Figura 50).



Figura 50: Cultivo Mecanizado de Milho

O milho é um dos cereais mais importantes cultivados no mundo todo e há muitos séculos vem sendo utilizado diretamente na alimentação humana e de animais domésticos, bem como na indústria para a produção de rações, cola, amido, óleo, álcool, flocos alimentícios, bebidas, além de outros produtos.

Na realidade, o uso do milho em grão como alimentação animal representa a maior parte do consumo desse cereal, isto é, cerca de 70% no mundo. Nos Estados Unidos, cerca de 50% é destinado a esse fim, enquanto que no Brasil varia de 60 a 80%, dependendo da fonte da estimativa e de ano para ano (USDA, 2006).

A produção mundial de milho em 2004 foi de 705.293 mil toneladas, sendo que os maiores produtores são os Estados Unidos com 42,3% e a China com 18,7%. O Brasil é o terceiro maior produtor de milho e sua produção corresponde a 5,9% da produção mundial. No ano de 2005 os Estados Unidos, China e Brasil, produziram respectivamente 280,2; 131,1; e 34,8 milhões de toneladas (FAO, 2006).

3.5.2 - Cultivo de Milho Normal e Safrinha

A produção de milho no Brasil tem se caracterizado pela divisão da produção em duas épocas de plantio. Os plantios de verão, ou primeira safra são realizados na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre fins de agosto na região Sul até os meses de outubro/novembro no Sudeste e Centro Oeste (no Nordeste este período ocorre no início do ano). Mais recentemente tem aumentado a produção obtida na chamada "safrinha", ou segunda safra.

A "safrinha" se refere ao milho de sequeiro, plantado extemporaneamente, em fevereiro ou março, quase sempre depois da soja precoce, predominantemente na região Centro-Oeste e nos estados do Paraná e São Paulo. O milho "safrinha" ocupa hoje cerca de 2.600.000 ha nos estados PR, SP, MT, MS e GO, principalmente (EMBRAPA, 2007).

A produtividade do milho é função de vários fatores integrados, sendo os mais importantes a disponibilidade de água para a cultura.

No Brasil, mais especificamente na região dos Cerrados, a melhor época para se realizar o plantio do milho, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), dá-se entre Setembro e Novembro, dependendo do início das chuvas.

3.5.3 - A Produção de Milho no Brasil

Nota-se ao analisar as figuras 51 e 52 que ao longo dos anos 90 e 2000, a área de plantio de milho no Brasil praticamente não se alterou, diferentemente do ocorrido com a produtividade que no mesmo período alternou anos de crescimento e anos de queda. CONAB (2006).

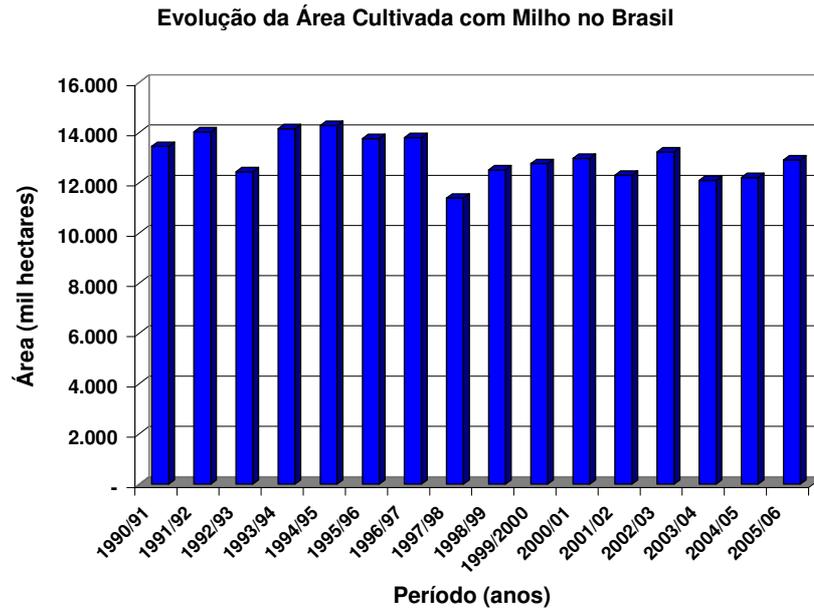


Figura 51: Evolução da Área Cultivada com Milho no Brasil

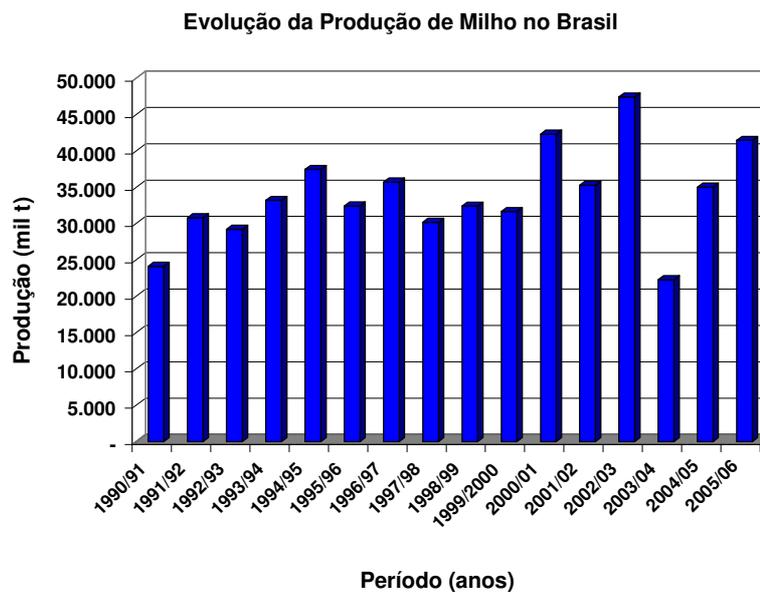


Figura 52: Evolução da Produção de Milho no Brasil

A cultura do milho está se transformando em lavoura de ponta, com várias regiões produtoras alcançando produtividade altíssima e com expansão de área em regiões que podem ser intensivamente mecanizáveis, como o Cerrado. O uso crescente de sementes melhoradas continuará sendo um dos grandes impulsos do aumento de produção.

O milho é cultivado em praticamente todo o território, sendo que 90 % da produção concentra-se nas regiões Sul (43 % da produção), Sudeste (25 % da produção) e Centro - Oeste (22% da produção). A participação dessas regiões em área plantada e produção vêm se alterando ao longo dos anos (EMBRAPA, 2007).

Em relação à produção de milho por estados, tem-se que apesar de sua grande expansão para a região centro-oeste, com o avanço das fronteiras agrícolas da região de cerrado, a região sul ainda continua sendo uma grande produtora, sendo que o estado do Paraná lidera o ranking dos maiores produtores no Brasil. Na Figura 53 está representada a produção média dos cinco maiores estados produtores de milho no Brasil, tomando-se a média das últimas cinco safras, onde se percebe claramente o destaque do estado do Paraná na produção deste grão. O estado de Goiás tem expandido de forma significativa, devido à expansão das fronteiras agrícolas para a região dos cerrados, sendo até a safra 2004/2005 o sexto maior produtor de milho do país.

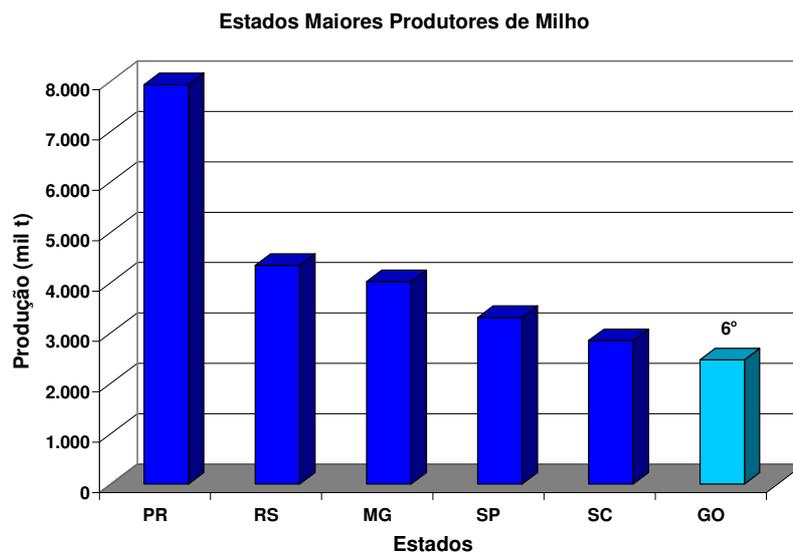


Figura 53: Maiores Produtores de Milho no Brasil

3.5.4 - Produção de Milho em Goiás

O estado de Goiás passou a ser o quarto produtor de milho. Segundo dados do último levantamento de safra da CONAB, de abril de 2006, o Estado produziu 2,88 milhões de toneladas de grãos na safra 2004/2005, o que representa participação de 8 % na produção total de milho do País.

De um modo geral a produção no estado tem aumentado apesar da área cultivada não estar aumentando, conforme se observa na Figura 54. Percebe-se que o estado de Goiás apresenta pequena participação total.

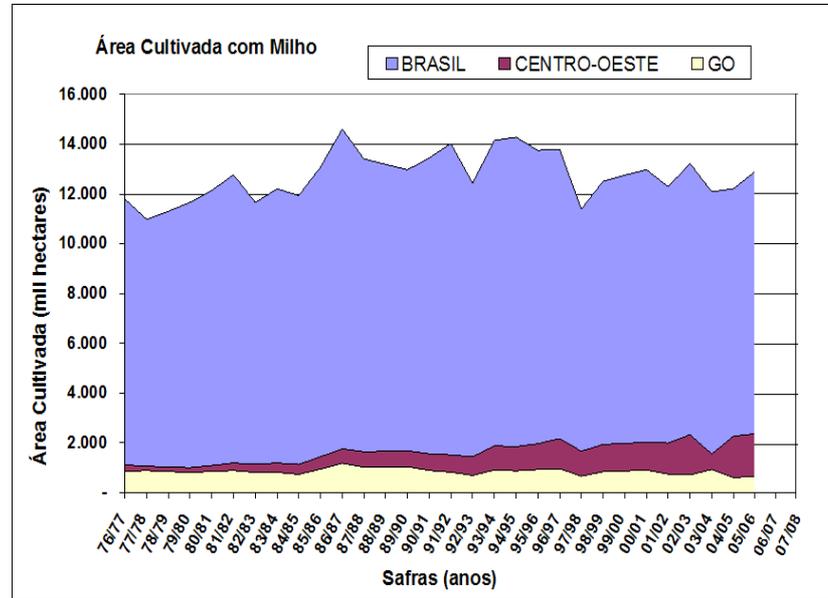


Figura 54: Evolução da Área Cultivada com Milho no Estado de Goiás

Na Figura 55 tem-se a evolução da produção de milho no estado de Goiás, seguindo-se também a produção da região centro-oeste e do Brasil, onde se percebe que a produção tem mantido a tendência de aumento devido à expansão das fronteiras agrícolas e ganhos de produtividade obtidos ao longo dos últimos anos.

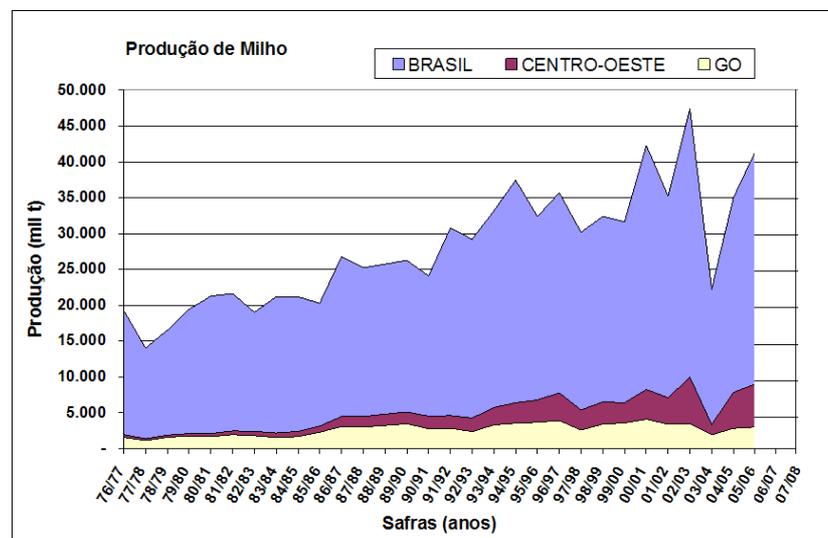


Figura 55: Evolução da Produção de Milho no Estado de Goiás

Com relação à distribuição da produção de milho pelo território de Goiás, obtiveram-se dados da produção de todos os municípios produtores no estado, junto ao Sistema Estadual de estatísticas e de informações geográficas (SIEG, 2007). Por meio destes calculou-se que 36,7% da produção concentra-se nos municípios do sudoeste do estado como Rio Verde, Jataí, Montividiu e Mineiros, conforme se observa na Tabela 7, sendo esta a principal região produtora.

Tabela 7 - Municípios maiores produtores de Milho em Goiás e seus potenciais SIEG (2007) / EMBRAPA (2006)

Município	Produção (t)	Prod. Resíduos (t)	Uso Resíduos (t) 30%	Geração Anual (GWh)	Potência (MW)
JATAI	346600	346600	103980	108,82	12,42
RIO VERDE	132000	132000	39600	41,44	4,73
MONTIVIDIU	129600	129600	38880	40,69	4,64
CRISTALINA	124080	124080	37224	38,96	4,45
CHAPADAO DO CEU	111700	111700	33510	35,07	4
IPAMERI	84000	84000	25200	26,37	3,01
MINEIROS	83000	83000	24900	26,06	2,97
LUZIANIA	79200	79200	23760	24,87	2,84
CATALAO	77000	77000	23100	24,17	2,76
CAIAPONIA	75000	75000	22500	23,55	2,69
BOM JESUS DE GOIAS	71500	71500	21450	22,45	2,56
CABECEIRAS	53070	53070	15921	16,66	1,9
GOIATUBA	50880	50880	15264	15,97	1,82
AGUA FRIA DE GOIAS	50300	50300	15090	15,79	1,8
ITABERAI	49993	49993	14997,9	15,7	1,79
SAO JOAO DA PARAUNA	46620	46620	13986	14,64	1,67
QUIRINOPOLIS	44480	44480	13344	13,96	1,59
CAMPO ALEGRE DE GOIAS	38500	38500	11550	12,09	1,38
ACREUNA	34300	34300	10290	10,77	1,23
PALMEIRAS DE GOIAS	32500	32500	9750	10,2	1,16
TOTAL	1714323	1714323	514296,9	538,23	61,41

Para a geração da tabela 7 consideramos o rendimento dos equipamentos de 25%. Os cálculos serão apresentados no estudo de caso do município de Rio Verde adiante.

O estado de Goiás está dividido em regiões de planejamento conforme indicado na Figura 56, onde se tem também a indicação da participação percentual de cada uma destas regiões em relação à produção de milho no estado.

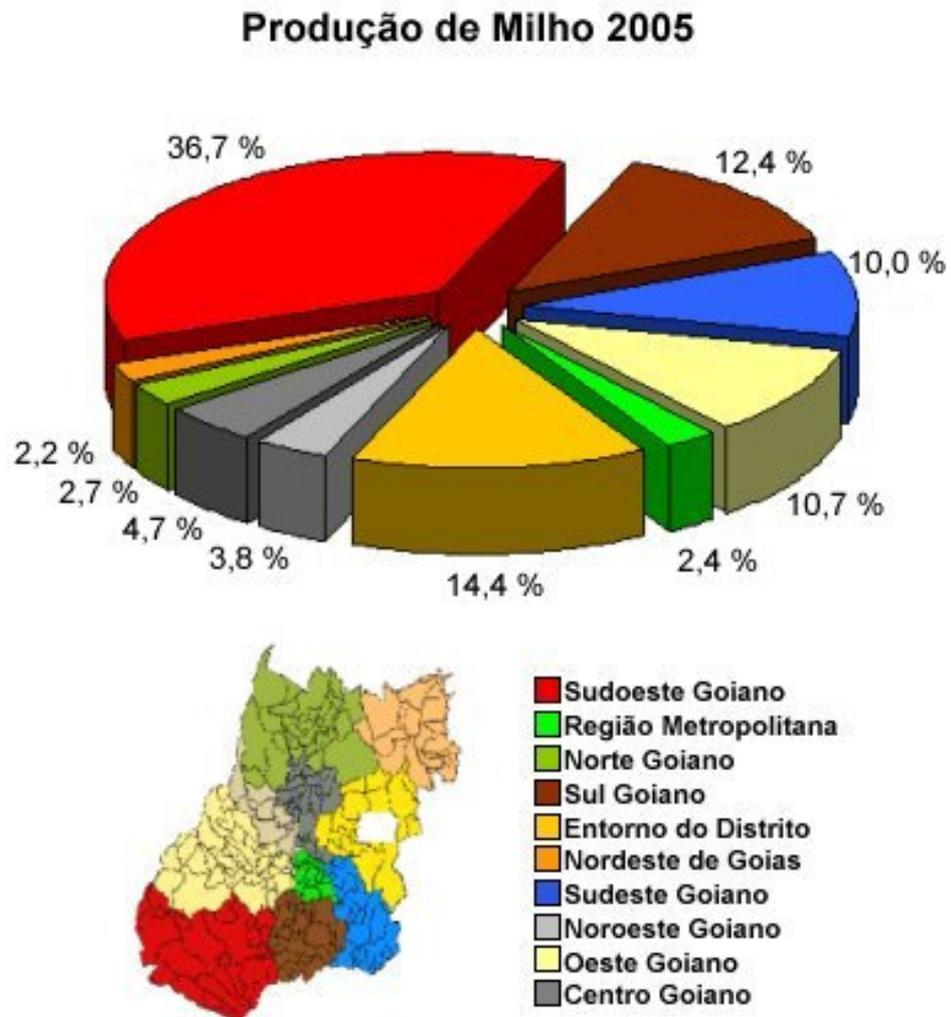


Figura 56: Participação das Regiões de Planejamento na Produção de Milho

3.6 - SOJA

3.6.1 - Introdução

A soja “*Glycine Max (L.) Merrill*” que hoje é cultivada mundo afora é muito diferente dos ancestrais que lhe deram origem: espécies de plantas rasteiras que se desenvolviam na costa leste da Ásia, principalmente ao longo do Rio Amarelo, na China. Sua evolução

começou com o aparecimento de plantas oriundas de cruzamentos naturais entre duas espécies de soja selvagem, que foram domesticadas e melhoradas por cientistas da antiga China. A soja (Figura 57) é uma leguminosa herbácea anual cujo alto teor protéico de seus grãos (38%) e sua fácil adaptação aos diversos tipos de clima e fotoperíodo, devido a suas inúmeras variedades, a colocam entre as principais oleaginosas do mundo, sendo entre elas a mais cultivada.

A produção mundial de soja alcançou, em média, nos últimos três anos, a marca de 125 milhões de toneladas, concentrada nos Estados Unidos e nos países do Mercosul (Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai, desconsiderando o Chile, que recentemente passou a integrar o bloco econômico). A produção americana oscilou em torno de 60 milhões de toneladas, enquanto as produções do Brasil, Argentina e Paraguai, somadas, situaram-se perto de 40 milhões de toneladas. A China e a Índia, com produções de 15 e 4 milhões de toneladas respectivamente, completam o quadro dos principais produtores (USDA, 2006).



Figura 57: Cultivo de Soja

Atualmente, os maiores produtores de soja (80% da produção mundial) são: Estados Unidos, Brasil, Argentina e China. Os três primeiros são responsáveis por 90% da comercialização mundial da oleaginosa, sendo o Brasil o segundo maior exportador. A China consome sua produção internamente (USDA, 2006).

3.6.2 - Cultivo da Soja

Pesquisas realizadas no Brasil pela Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) demonstram que a época de semeadura é a variável que produz maior impacto sobre o rendimento da cultura da soja. Para as condições brasileiras, a época de semeadura varia em função do cultivar, região de cultivo e condições ambientais do ano agrícola, geralmente apresentando uma faixa recomendável de outubro a dezembro. O mês de novembro, de maneira geral, tem proporcionado os melhores resultados de produtividade nos estados onde a cultura é cultivada tradicionalmente.

A época de semeadura denominada safrinha é uma opção normalmente realizada em sucessão à cultura do milho em época normal, ou à outra cultura que foi semeada no início do período das chuvas. No Estado de São Paulo, a safrinha é instalada em fevereiro ou março de cada ano, após a colheita da cultura de verão. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1996) indica que cultivares de ciclo de maturação médio e semi-tardios tem maiores potenciais de rendimento.

A pequena produção de palha pela soja, principal cultura dos Cerrados, aliada à rápida decomposição dos seus resíduos, pode tornar-se um grande problema à viabilização do Sistema de Plantio Direto (SPD), especialmente quando essa leguminosa é cultivada como monocultura. Para contornar essa dificuldade, a soja deve compor sistemas de rotação de culturas adequadamente planejados. Com isso haverá permanente cobertura e suficiente reposição de palhada sobre a superfície do solo, viabilizando o SPD.

3.6.3 - A Produção de Soja no Brasil

Percebe-se ao analisar as figuras 58 e 59 que tanto nos anos 90 quanto nos anos 2000 houve no Brasil considerável crescimento na área plantada com soja e na sua produtividade, mais que duplicando seus índices no período em questão. CONAB (2006).



Figura 58: Evolução da Área Cultivada com Soja no Brasil



Figura 59 : Crescimento da Produção de Soja no Brasil

As exportações do complexo da soja (grão, farelo e óleo) merecem destaque. O Brasil juntamente com os Estados Unidos são os líderes na comercialização, sendo responsáveis na safra 2004/05 por 30,7% (37,0 milhões de toneladas) e 31,2% (37,6 milhões de toneladas), respectivamente, para um total mundial de 120,5 milhões de toneladas, segundo previsão do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2007).

Devido à expansão da soja para a região do cerrado ao longo dos últimos 15 anos, atualmente o estado de Mato Grosso detém o título de maior produtor deste grão, conforme se observa na Figura 60, tomando-se a média das últimas cinco safras, onde se observa também que o estado de Goiás detém o quarto lugar do ranking dos estados maiores produtores de soja no Brasil.

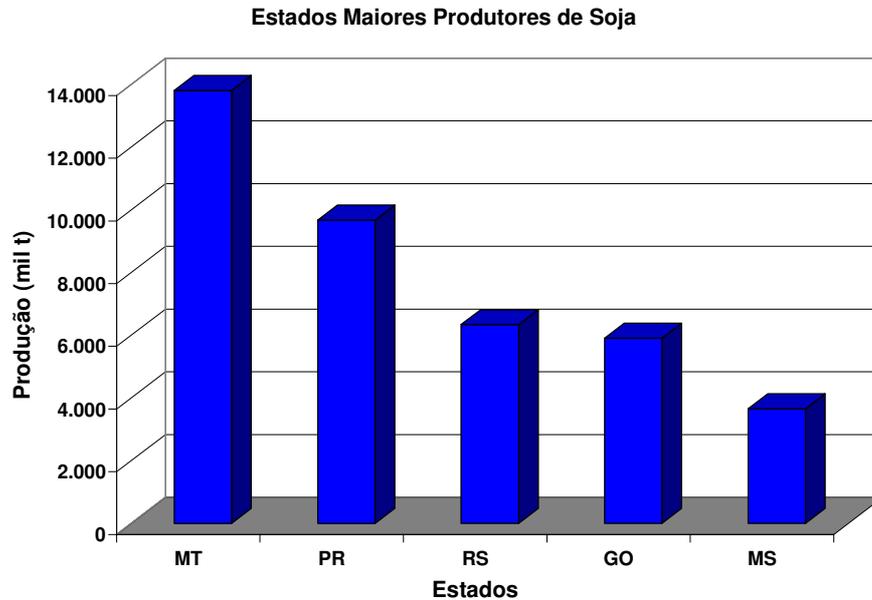


Figura 60: Maiores Produtores de Soja no Brasil

3.6.4 - A Produção de Soja em Goiás

A produção de soja no Estado de Goiás, bem como em toda a zona sojicultora do cerrado brasileiro, é realizada, principalmente, em médias e grandes explorações, com utilização intensa de máquinas e insumos químicos.

A soja destaca-se entre as principais culturas do estado tanto em área plantada e produção quanto em rendimento obtido (produtividade). Na safra 2004/2005 a produtividade chegou a 2.351 kg por hectare, conforme dados do SIEG (2007). Neste mesmo período a produtividade brasileira foi de 2.208 kg por hectare.

A soja é, atualmente, cultivada em várias regiões do território goiano. Percebe-se que no estado de Goiás houve um crescimento tanto da área plantada (Figura 61) quanto da produção (Figura 62), saltando, na safra de 1990/1991 de 800 mil hectares cultivados para 2.590.000

hectares na safra 2004/2005, enquanto a produção neste mesmo período passou de 528.440 toneladas para 6.096.760 toneladas, segundo dados do SIEG (2007).

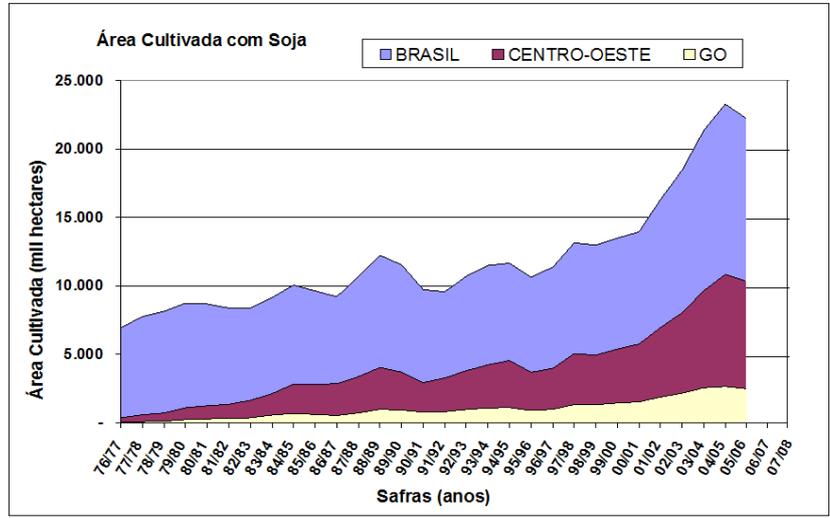


Figura 61: Evolução da Área Cultivada Soja no Estado de Goiás

A soja produzida no estado de Goiás tem dois destinos: industrialização dentro do próprio estado e o da exportação tanto para o exterior como para outros estados da federação. A produção de soja no estado de Goiás tanto como Brasil teve um grande crescimento como podemos verificar na figura 48.

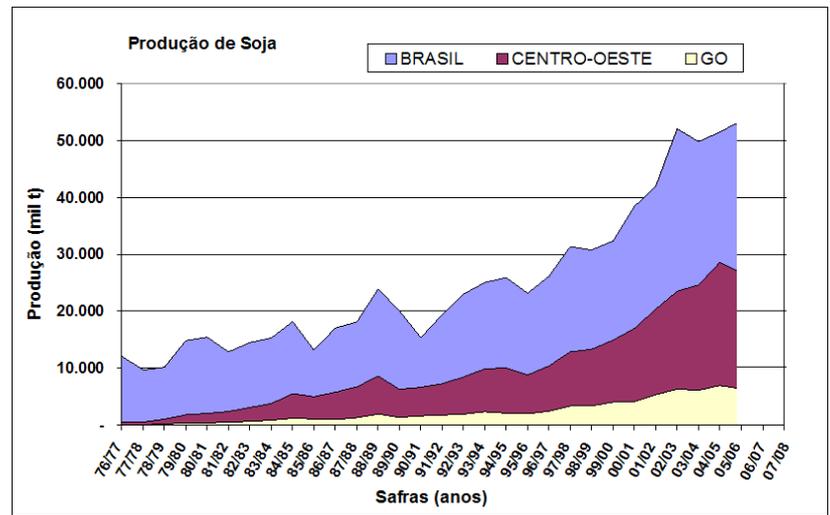


Figura 62: Evolução da Produção de Soja no Estado de Goiás

Atualmente, entre os municípios maiores produtores de soja em Goiás, tem-se: Rio Verde, Jataí, Mineiros, Montividiu e Chapadão do Céu, localizados na Região Sudoeste do estado, segundo dados do Sistema Estadual de Estatísticas e de Informações Geográficas de

Goiás (SIEG). Na Tabela 8 tem-se a relação dos vinte municípios maiores produtores de soja no estado.

Segundo dados do IBGE, na safra de 2005, a produção de soja do município de Rio Verde foi de 715 mil toneladas. Cerca de 90% da área cultivável utiliza o sistema de plantio direto, protegendo o solo e reduzindo o índice de erosões. A área plantada é superior a 230 mil hectares e apresenta as melhores médias de produtividade do país.

Tabela 8 - Municípios maiores produtores de Soja em Goiás e seus potenciais SIEG (2007) / EMBRAPA (2006)

Município	Produção (t)	Prod. Resíduos (t)	Uso Resíduos (t) 30%	Geração Anual (GWh)	Potência (MW)
RIO VERDE	715500	1502550	450765	345,94	39,49
JATAI	597000	1253700	376110	288,64	32,95
CRISTALINA	407160	855036	256510,8	196,86	22,47
MINEIROS	328000	688800	206640	158,58	18,1
MONTIVIDIU	324800	682080	204624	157,04	17,93
CATALAO	238500	500850	150255	115,31	13,16
CHAPADAO DO CEU	224000	470400	141120	108,3	12,36
CAIAPONIA	215000	451500	135450	103,95	11,87
IPAMERI	207900	436590	130977	100,52	11,47
LUZIANIA	180000	378000	113400	87,03	9,93
CAMPO ALEGRE DE GOIAS	176000	369600	110880	85,09	9,71
SILVANIA	160000	336000	100800	77,36	8,83
EDEIA	144000	302400	90720	69,62	7,95
GOIATUBA	143000	300300	90090	69,14	7,89
BOM JESUS DE GOIAS	142120	298452	89535,6	68,71	7,84
PIRACANJUBA	136350	286335	85900,5	65,92	7,53
PARAUNA	133920	281232	84369,6	64,75	7,39
PEROLANDIA	120000	252000	75600	58,02	6,62
SANTA HELENA DE GOIAS	108100	227010	68103	52,27	5,97
ITUMBIARA	105090	220689	66206,7	50,81	5,8
TOTAL	4806440	10093524	3028057,2	2323,86	265,26

Para a geração da tabela 8 consideramos o rendimento dos equipamentos de 25%. Os cálculos serão apresentados no estudo de caso do município de Rio Verde adiante.

Em Rio Verde, encontra-se um dos maiores pólos agroindustriais do estado de Goiás. Seu desenvolvimento encontra-se atrelado à abertura dos cerrados para a agricultura, a partir

de 1970, e à chegada de agricultores oriundos de São Paulo e região sul do país, atraídos pelas terras planas e mecanizáveis. Esses agricultores/empreendedores trouxeram maquinários, tecnologias, recursos e experiências, transformando o município no maior produtor de grãos do estado de Goiás. É nesse município que se encontra a primeira cooperativa do Centro-Oeste, COMIGO (Cooperativa Mista dos Produtores Rurais do Sudoeste Goiano).

Suas atividades incluem esmagamento de soja, refinaria de óleo, fábrica de fertilizantes, ração, sabão e produção de sementes. A COMIGO está entre as três maiores cooperativas do Brasil.

Com relação à distribuição desta produção pelo território de Goiás, obtiveram-se dados da produção de todos os municípios produtores no estado junto ao SIEG. Por meio destes calculou-se que 40,8% da produção se concentra nos municípios do sudoeste do estado como Rio Verde, Jataí, Montividiu e Mineiros, conforme se observa na Tabela 8, sendo esta a principal região produtora.

O estado de Goiás está dividido em regiões de planejamento conforme indicado na Figura 63, onde se tem também a indicação da participação percentual de cada uma destas regiões em relação à produção de soja no estado.

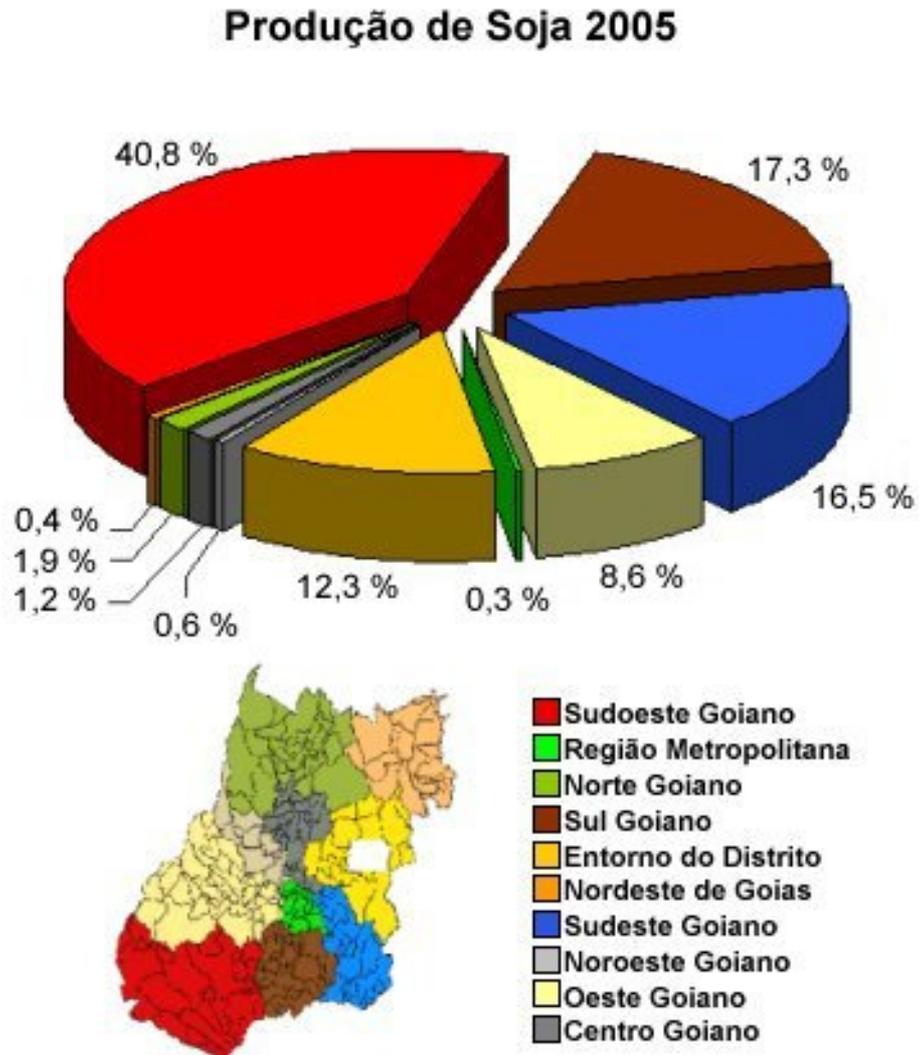


Figura 63: Participação das Regiões de Planejamento na Produção de Soja

3.7 – SORGO

3.7.1 – Introdução

A moderna planta de sorgo “*Sorghum bicolor* L. Moench” é um produto da intervenção do homem, que domesticou a espécie e, ao longo de gerações, vem transformando-a para satisfazer as necessidades humanas. Sorgo é uma extraordinária fábrica de energia, de enorme utilidade em regiões muito quentes e muito secas, onde o homem não consegue boas produtividades de grãos ou de forragem cultivando outras espécies, como o milho. Sorgo é,

entre as espécies alimentares, uma das mais versáteis e mais eficientes, tanto do ponto de vista fotossintético, como em velocidade de maturação.

Basicamente, existem cinco tipos de sorgo – granífero, sacarino, vassoura, forrageiro e sudanense. Os tipos granífero e forrageiro são os de maior importância.

Em termos globais, o sorgo granífero é a base alimentar de mais de 500 milhões de pessoas em mais de 30 países. Somente arroz, trigo, milho e batata o superam em termos de quantidade de alimento consumido. Entretanto, a cultura de sorgo granífero (Figura 64) produz muito menos do que seu potencial oferece.



Figura 64: Cultura de Sorgo Granífero

O sorgo granífero é o quinto cereal mais importante no mundo, sendo precedido pelo trigo, arroz, milho e cevada. É utilizado como principal fonte de alimento em grande parte dos países da África, Sul da Ásia e América Central e importante componente da alimentação animal nos Estados Unidos, Austrália e América do Sul. Os grãos também podem ser utilizados na produção de farinha para panificação, amido industrial, álcool e a palhada como forragem ou cobertura de solo (EMBRAPA, 2007).

3.7.2 – Cultivo de Sorgo

O produtor típico de sorgo na safrinha é o produtor de soja que tem um bom conhecimento sobre a cultura, possui infra-estrutura de máquinas e equipamentos que podem ser compartilhadas para uso nas lavouras de soja e sorgo, mão-de-obra qualificada para a condução da lavoura.

O sorgo safrinha, que é plantado também além dos limites do Cerrado, não tem um período prefixado para seu plantio.

Sorgo é uma cultura 100% mecanizável e usa os mesmos equipamentos de plantio, cultivo e colheita utilizados para outras culturas de grãos, como a soja, o arroz e o trigo. Mas a cultura pode ser conduzida manualmente também e sua adaptação a sistemas utilizados por pequenos produtores é muito boa.

3.7.3 – A Produção de Sorgo Granífero no Brasil

Nota-se ao analisar as figuras 65 e 66 sobre a evolução da área plantada com sorgo granífero no Brasil e sobre sua produtividade que nos anos 90 houve discreto crescimento, tanto na área cultivada quanto na produtividade. Já nos anos 2000, ocorreu um forte aumento nos índices tanto de área cultivada quanto de produtividade, chegando a quase quintuplicar seus números. CONAB (2006).

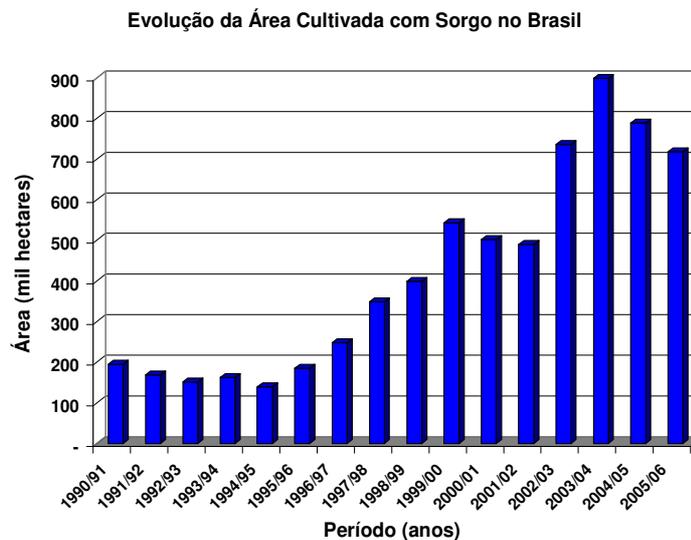


Figura 65: Evolução da Área Cultivada com Sorgo Granífero no Brasil

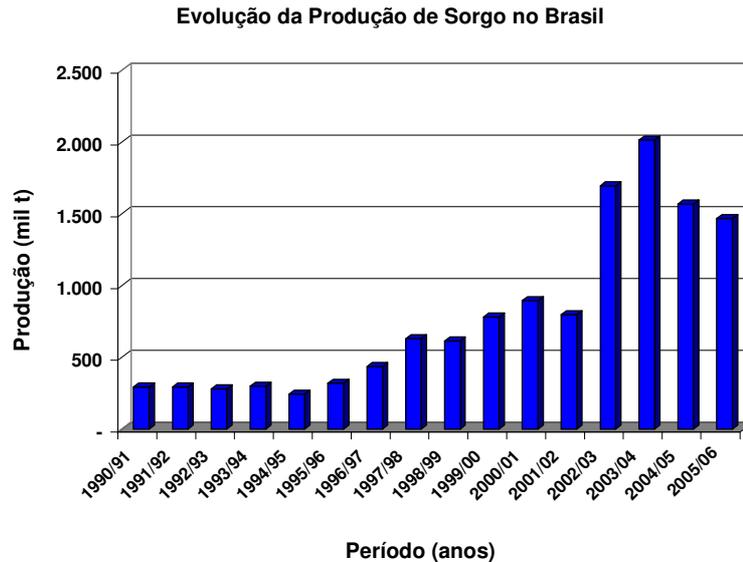


Figura 66: Crescimento da Produção de Sorgo Granífero no Brasil

Ao analisar-se a produção do Brasil como um todo, nota-se que em uma década a área colhida de sorgo em grãos praticamente quadruplicou e que a produção mais que quadruplicou. Pode-se observar na Figura 66 a mudança de inclinação da linha que representa a evolução da produção no Brasil. Até 1994 a linha tem oscilações em torno de uma tendência praticamente horizontal e após 1995 observa-se que a linha é fortemente inclinada positivamente representando este crescimento acentuado.

Na Figura 66 estão representados os principais estados produtores de sorgo no Brasil, tomando-se a média das últimas cinco safras.

Conforme se observa na Figura 67 percebe-se que o estado de Goiás tem a maior produção de sorgo do país, sendo seguido por Minas Gerais e São Paulo no ranking dos maiores produtores. Na realidade, os estados de Goiás, Mato Grosso, São Paulo e Minas Gerais têm sido responsáveis por mais de 80% da área plantada com sorgo e mais de 70% da produção nacional.

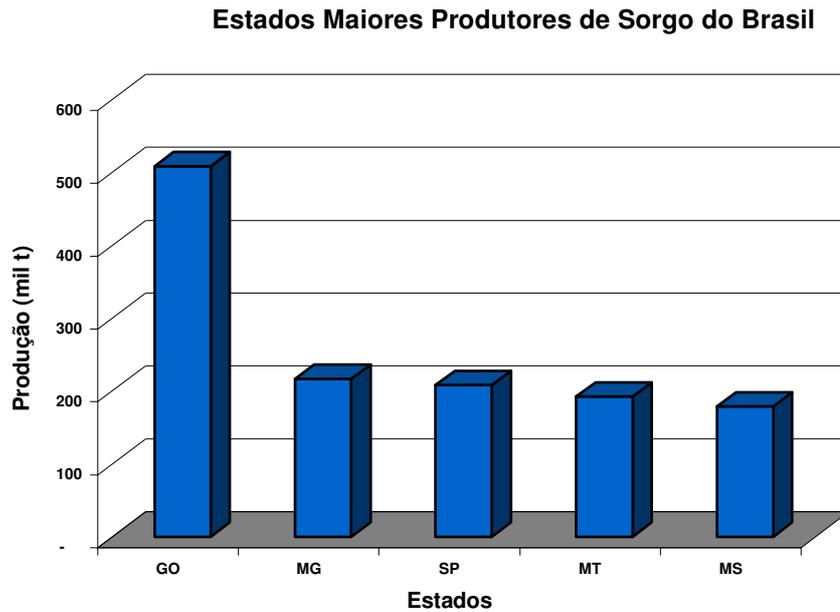


Figura 67: Maiores Produtores de Sorgo Granífero no Brasil

Uma observação final sobre a produção de sorgo está relacionada ao baixo índice de produtividade da cultura no Brasil quando comparado aos 4200 quilogramas por hectare produzidos nos Estados Unidos da América e 4300 kg/ha produzidos na Argentina. O ponto positivo em termos de produtividade é que apesar de termos índices baixos, a produtividade média do Brasil está acima dos níveis médios mundiais, i.e., enquanto que a média da produtividade mundial é de 1439 kg/ha, a produtividade média brasileira é em torno de 1800 kg/ha, registrando 2108 kg/ha na safra 2005/06. Como já foi ressaltado anteriormente, baixos índices de produtividade do sorgo no Brasil estão relacionados com a opção dos produtores de cultivo da cultura na segunda safra.

3.7.4 – A Produção de Sorgo Granífero em Goiás

A cultura do sorgo vem se solidificando como opção para plantio na "safrinha", nos estados da região Centro-Oeste e em regiões do Estado de São Paulo e Minas Gerais. No estado de Goiás, o sorgo ocupa uma área que vem crescendo de forma expressiva com uma produção bastante significativa.

Segundo o SIEG, na safra de 2004/2005, o sorgo ocupou no estado de Goiás uma área de 314.267 hectares com uma produção de 74300 toneladas. A Figura 68 mostra a evolução da área cultivada com sorgo no estado de Goiás em relação à região Centro-Oeste e ao Brasil

e a Figura 69 mostra a evolução da produção de sorgo no estado de Goiás em relação à região Centro-Oeste e ao Brasil.

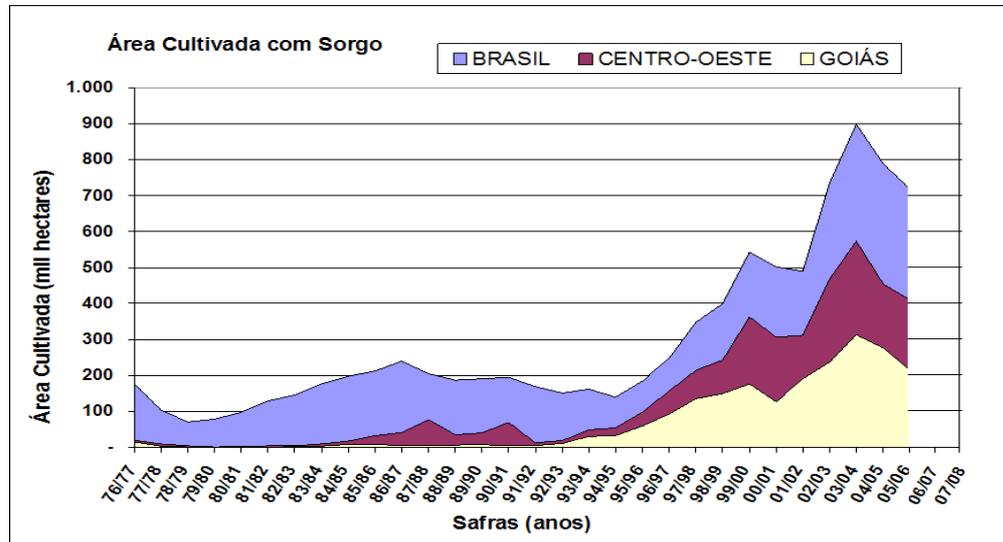


Figura 68: Evolução da Área Cultivada com Sorgo Granífero no Estado de Goiás

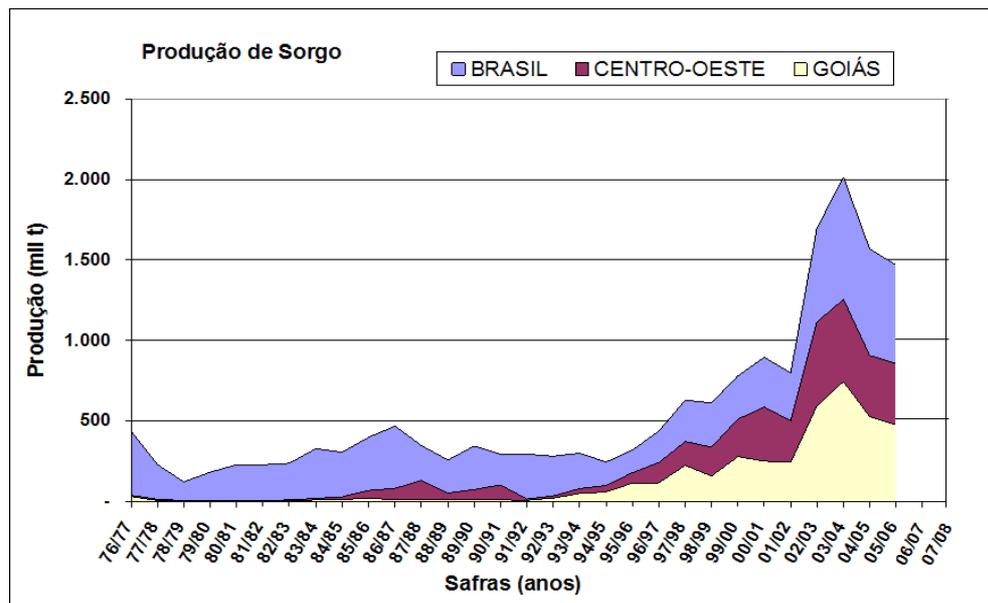


Figura 69: Evolução da Produção de Sorgo Granífero no Estado de Goiás

O estado de Goiás conforme citado anteriormente é o maior produtor de sorgo do Brasil, sendo que algumas regiões do estado se destacam como grandes centros produtores, especialmente os municípios localizados no sul goiano. Na Tabela 9 tem-se a relação dos 20 municípios maiores produtores deste cereal no estado.

O estado de Goiás está dividido em regiões de planejamento conforme indicado na Figura 70, onde se tem também a indicação da participação percentual de cada uma destas regiões em relação à produção de sorgo no estado.

Com relação à distribuição da produção de sorgo pelo território de Goiás, obtiveram-se dados da produção de todos os municípios produtores deste cereal no estado junto ao Sistema Estadual de Estatísticas e de Informações Geográficas de Goiás (SIEG). Por meio destes calculou-se que 61,6% da produção se concentra nos municípios do sudoeste do estado como Rio Verde, Jataí, Montividiu e Mineiros, conforme se observa na Figura 56, sendo esta a principal região produtora.

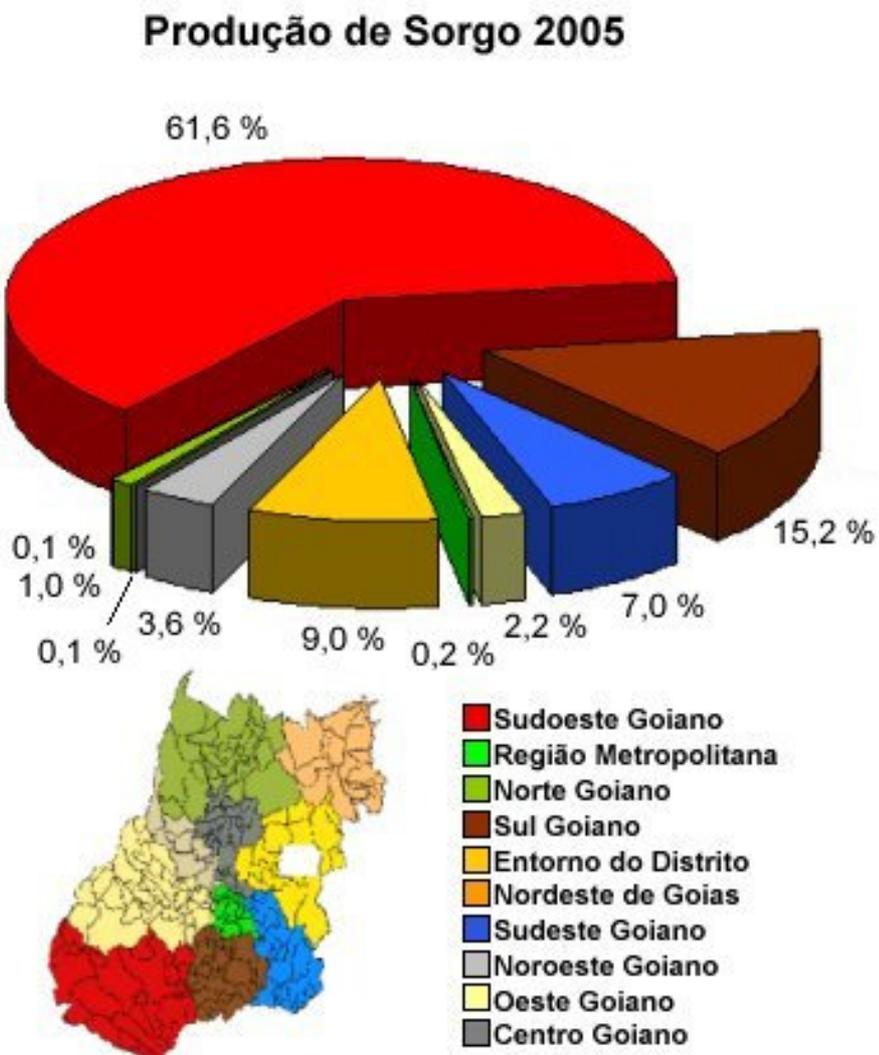


Figura 70: Participação das Regiões de Planejamento na Produção de Sorgo Granífero

Tabela 9 - Municípios maiores produtores de Sorgo Granífero em Goiás e seus potenciais SIEG (2007) / EMBRAPA (2006)

Município	Produção (t)	Prod. Resíduos (t)	Uso Resíduos (t) 30%	Geração Anual (GWh)	Potência (MW)
RIO VERDE	97500	165750	49725	43,61	4,98
MONTIVIDIU	54000	91800	27540	24,15	2,76
JATAI	51000	86700	26010	22,81	2,6
MINEIROS	34000	57800	17340	15,21	1,74
CHAPADAO DO CEU	32000	54400	16320	14,31	1,63
LUZIANIA	25200	42840	12852	11,27	1,29
ITABERAI	18000	30600	9180	8,05	0,92
BOM JESUS DE GOIAS	18000	30600	9180	8,05	0,92
VICENTINOPOLIS	12960	22032	6609,6	5,8	0,66
SILVANIA	12000	20400	6120	5,37	0,61
GOIATUBA	11250	19125	5737,5	5,03	0,57
SANTA HELENA DE GOIAS	11000	18700	5610	4,92	0,56
PORTELANDIA	8000	13600	4080	3,58	0,41
QUIRINOPOLIS	7850	13345	4003,5	3,51	0,4
PIRACANJUBA	7200	12240	3672	3,22	0,37
PEROLANDIA	7000	11900	3570	3,13	0,36
CALDAS NOVAS	6120	10404	3121,2	2,74	0,31
CRISTALINA	6000	10200	3060	2,68	0,31
PORTEIRAO	4500	7650	2295	2,01	0,23
CABECEIRAS	4500	7650	2295	2,01	0,23
TOTAL	428080	727736	218320,8	191,46	21,86

Para a geração da tabela 9 consideramos o rendimento dos equipamentos de 25%. Os cálculos serão apresentados no estudo de caso do município de Rio Verde adiante.

3.8 – TRIGO

3.8.1 – Introdução

O trigo "*Triticum aestivum*" é uma planta de ciclo anual (Figura 71), cultivada durante o inverno e a primavera. O grão é consumido na forma de pão, massa alimentícia, bolo e biscoito. É usado também como ração animal, quando não atinge a qualidade exigida para consumo humano. O trigo ocupa o primeiro lugar em volume de produção mundial e é um dos principais alimentos da humanidade, ocupando 20% da área cultivada no mundo. Sua produção está em torno de 500 milhões de toneladas/ano tendo como principais produtores mundiais a Rússia (Ucrânia), Estados Unidos da América, China, Índia e França (juntos ofertam 60% da produção) (USDA, 2006).

O trigo é originário do Oriente Médio (Ásia), cultivada há muitos anos na Síria e de grande importância para os povos babilônicos e egípcios (era dos faraós).



Figura 71: Cultura de Trigo

Na América do Sul, a Argentina é, com folga, o maior produtor de trigo e está em 5º lugar na lista dos maiores exportadores mundiais. Produz em média 12 milhões de toneladas anuais. Apesar de participar com apenas 2% da produção mundial, a Argentina consegue exportar, em média, 7,9 milhões de toneladas por ano, valor equivalente a demanda brasileira, em alguns anos, por importação (em torno de 7 milhões de t/ano) (EMBRAPA, 2007).

3.8.2 – Cultivo de Trigo

O trigo é importante por ser uma gramínea que rompe o ciclo de doenças e pragas de leguminosas, como a soja e o feijão, e hortaliças, como o tomate, a batata e a cenoura. Mas a rotação de culturas não é o único ponto a favor do trigo: o retorno econômico é sempre grande, quando os preços internacionais estão em alta.

O trigo do Cerrado é o primeiro colhido no Brasil e, por isso, alcança melhores preços que o da região Sul, ainda a maior produtora do país. Ao contrário das plantações do Sul, as do Cerrado têm fácil manejo, sofrendo pouco ataque de pragas e doenças. E, de quebra, o trigo deixa uma excelente palhada para o plantio direto. O Cerrado favorece rendimentos mais altos devido à maior estabilidade de suas condições climáticas.

3.8.3 – A Produção de Trigo no Brasil

Nota-se ao analisar as figuras 72 e 73 que nos anos 90 tanto a área cultivada quanto a produtividade de trigo no Brasil, sofreram considerável incremento. Já nos anos 2000, mais uma vez para a área cultivada e para a produtividade de trigo no Brasil, houve forte recuperação com considerável crescimento. CONAB (2006).



Figura 72 : Evolução da Área Cultivada com Trigo no Brasil

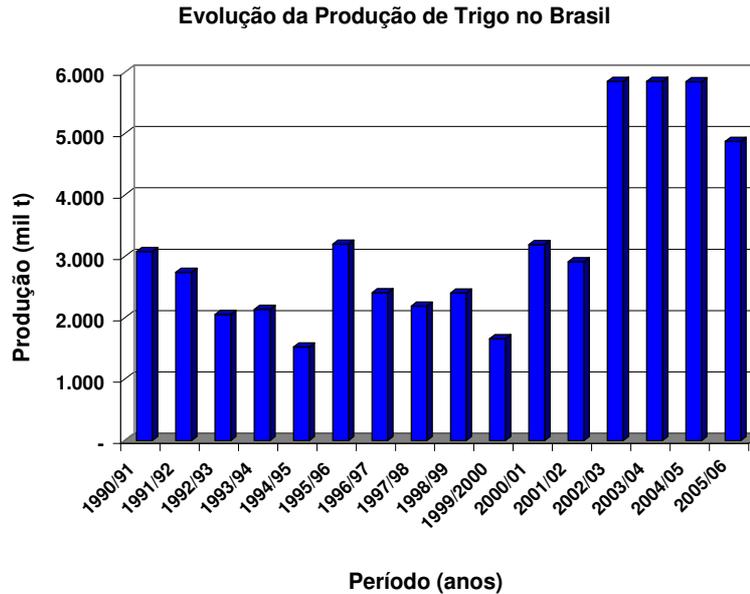


Figura 73: Crescimento da Produção de Trigo no Brasil

O trigo irrigado no Brasil Central dispõe de tecnologia relativamente consolidada. Existe interesse no cultivo desse cereal, até mesmo por necessidade de rotação de culturas nas áreas irrigadas.

Os Estados do Rio Grande do Sul e do Paraná produzem 90% do trigo brasileiro. Apesar do enorme avanço da pesquisa, a produção no Sul do País depende da normalidade do clima, o que torna o seu cultivo uma atividade de alto risco e, em consequência, de custos elevados e com perda de competitividade.

A partir de 1999, com a mudança da política cambial favorecendo exportações e dificultando importações, os preços de paridade do produto importado passaram a balizar os preços internos. Assim, a produção interna passou a ter atrativos de preços com reflexos positivos no agro negócio brasileiro.

Conforme citado anteriormente, no Brasil, a produção de trigo concentra-se basicamente nos estados da região Sul (Paraná e Rio Grande do Sul), sendo seguidos pelo estado do Mato Grosso do Sul, conforme se observa na Figura 74, onde se tem a relação dos cinco principais estados produtores de trigo no Brasil, tomando-se a média das últimas cinco safras. O estado de Goiás encontra-se atualmente na sétima colocação dos estados maiores produtores de trigo no Brasil, com uma produção ainda pouca expressiva se comparada com o maior produtor do país.

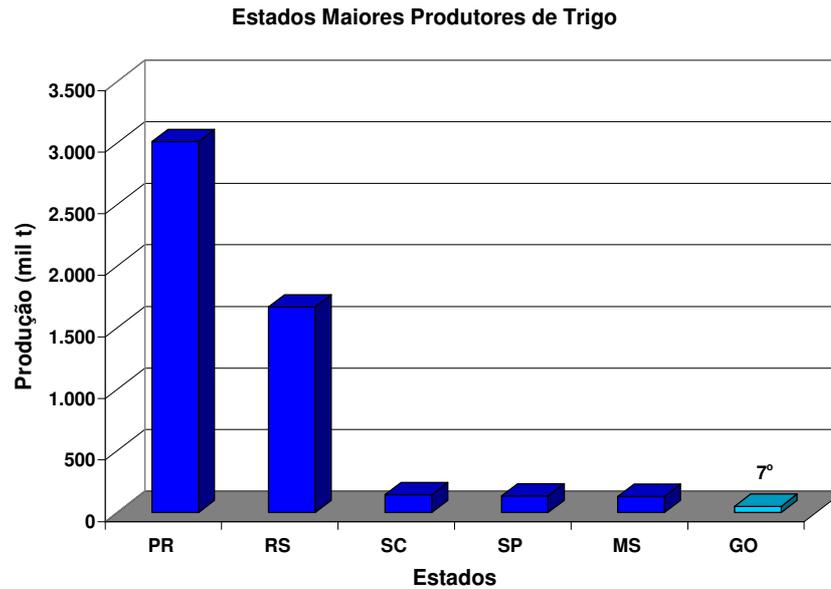


Figura 74: Maiores Produtores de Trigo no Brasil

3.8.4 – Produção de Trigo em Goiás

Em Goiás a área plantada com trigo safrinha apresentou uma redução de 31,54%, embora com um incremento no rendimento médio de 3,16%. A área com trigo irrigado apresentou um decréscimo de 10,17% e um incremento no rendimento médio de 1,89%, seguindo tendência nacional de retração de área que nesta safra foi a menor desde 2000. O trigo goiano é cultivado em terras altas e irrigado (EMBRAPA, 2007).

A área total colhida de trigo no estado nas últimas safras manteve-se relativamente estável e em torno de 20 mil hectares, segundo o SIEG. A área total cultivada com trigo no estado de Goiás é muito pequena se comparada com a área total cultivada no Brasil, conforme se observa na Figura 72, onde se percebe também a forte redução da área cultiva com este cereal no Brasil.

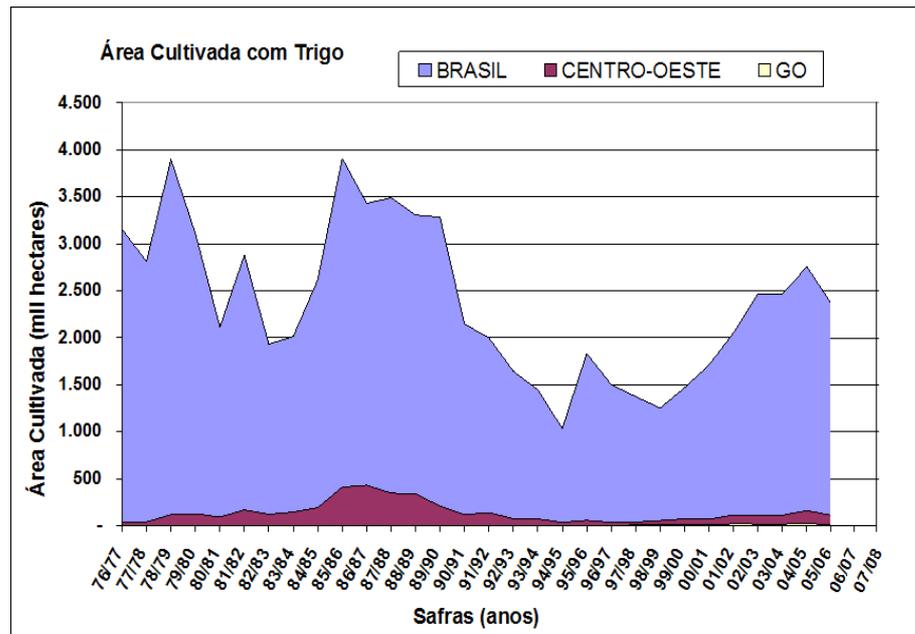


Figura 75: Evolução da Área Cultivada Trigo no Estado de Goiás

De acordo com o Grupo de Coordenação das Estatísticas Agropecuárias no Estado (GCEA-Go), são apontadas como principais causas para este fraco desempenho do produto, tanto em Goiás quanto em nível nacional, a baixa cotação do produto no mercado interno, assim como, as dificuldades de comercialização enfrentadas nas últimas safras. As maiores possibilidades de ampliação do cultivo de trigo no País estão no Centro-Oeste. Dessa forma, Goiás surge como importante referência, a contar pelos resultados expressivos que vem obtendo no cultivo do trigo nos últimos anos.

No ano de 2002 o trigo foi à cultura que mais cresceu, 139,82%, estando presente em dezenove municípios contra nove no ano de 2001, sendo que Cristalina (29,99%), Rio Verde (13,33%), Mineiros (11,99%), Montividiu (10,00%) e Catalão (6,80%) foram responsáveis por 72,10% da produção total do Estado (45.100 t) (SEPLAN, 2007).

Apesar de a produção de trigo no estado de Goiás ter aumentado ao longo dos últimos anos devido aos ganhos de produtividade, o volume total produzido é muito pequeno se comparado ao que é produzido no Brasil. Na safra 2004/2005 o estado produziu 87,8 mil toneladas de trigo. Na Figura 76 tem-se a representação da produção do estado juntamente com a produção do Brasil.

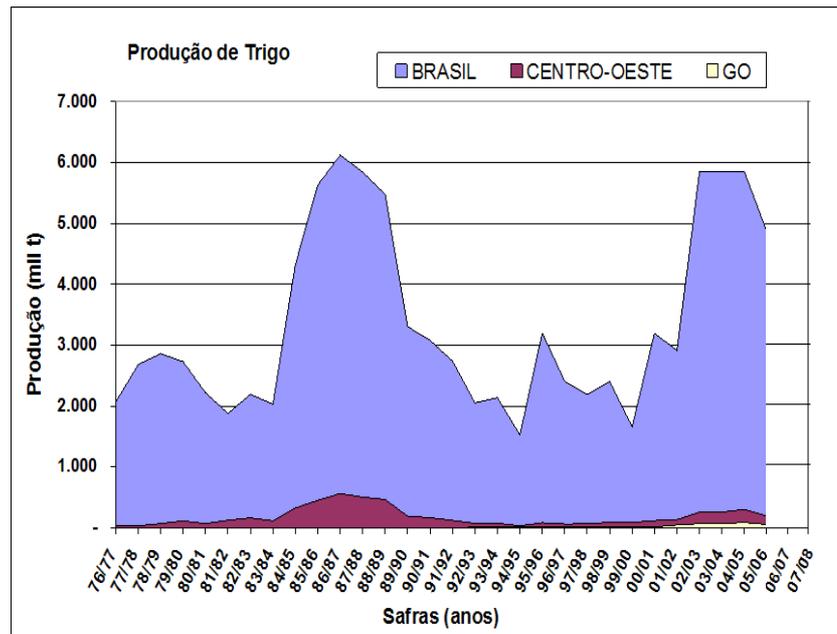


Figura 76: Evolução da Produção de Trigo no Estado de Goiás

Atualmente, segundo dados do SIEG (2007), entre os municípios maiores produtores de trigo em Goiás tem-se: Cristalina e Luziânia, localizados na região do Entorno do Distrito Federal, Catalão; Campo Alegre de Goiás e Montividiu, localizados no Sudoeste Goiano. Na Tabela 10 tem-se a relação dos vinte municípios maiores produtores de trigo no estado.

Com relação à distribuição desta produção pelo território de Goiás, obtiveram-se dados da produção de todos os municípios produtores no estado junto ao SIEG (2007) e calculou-se que 53,6% desta produção concentra-se nos municípios da região do Entorno do Distrito Federal e 28,8% na região do Sudeste Goiano, sendo estas as principais regiões produtoras.

O estado de Goiás está dividido em regiões de planejamento conforme indicado na Figura 77, onde se tem também a indicação da participação percentual de cada uma destas regiões em relação à produção de trigo no estado.

Tabela 10 - Municípios maiores produtores de Trigo em Goiás e seus potenciais SIEG (2007) / EMBRAPA (2006)

Município	Produção (t)	Prod. Resíduos (t)	Uso Resíduos (t) 30%	Geração Anual (GWh)	Potência (MW)
CRISTALINA	18400	23920	7176	4,99	0,57
CATALAO	7500	9750	2925	2,03	0,23
LUZIANIA	5520	7176	2152,8	1,5	0,17
CAMPO ALEGRE DE GOIAS	3000	3900	1170	0,81	0,09
MONTIVIDIU	2880	3744	1123,2	0,78	0,09
VIANOPOLIS	2100	2730	819	0,57	0,07
CABECEIRAS	2025	2632,5	789,75	0,55	0,06
RIO VERDE	1440	1872	561,6	0,39	0,04
GOIATUBA	1190	1547	464,1	0,32	0,04
MORRINHOS	1050	1365	409,5	0,28	0,03
IPAMERI	1000	1300	390	0,27	0,03
JOVIANIA	850	1105	331,5	0,23	0,03
SILVANIA	780	1014	304,2	0,21	0,02
AGUA FRIA DE GOIAS	540	702	210,6	0,15	0,02
PONTALINA	400	520	156	0,11	0,01
SANTA HELENA DE GOIAS	310	403	120,9	0,08	0,01
PLANALTINA	270	351	105,3	0,07	0,01
SAO JOAO DA PARAUNA	270	351	105,3	0,07	0,01
JATAI	240	312	93,6	0,07	0,01
SERRANOPOLIS	120	156	46,8	0,03	0
TOTAL	49885	64850,5	19455,15	13,51	1,54

Para a geração da tabela 10 consideramos o rendimento dos equipamentos de 25%. Os cálculos serão apresentados no estudo de caso do município de Rio Verde adiante.

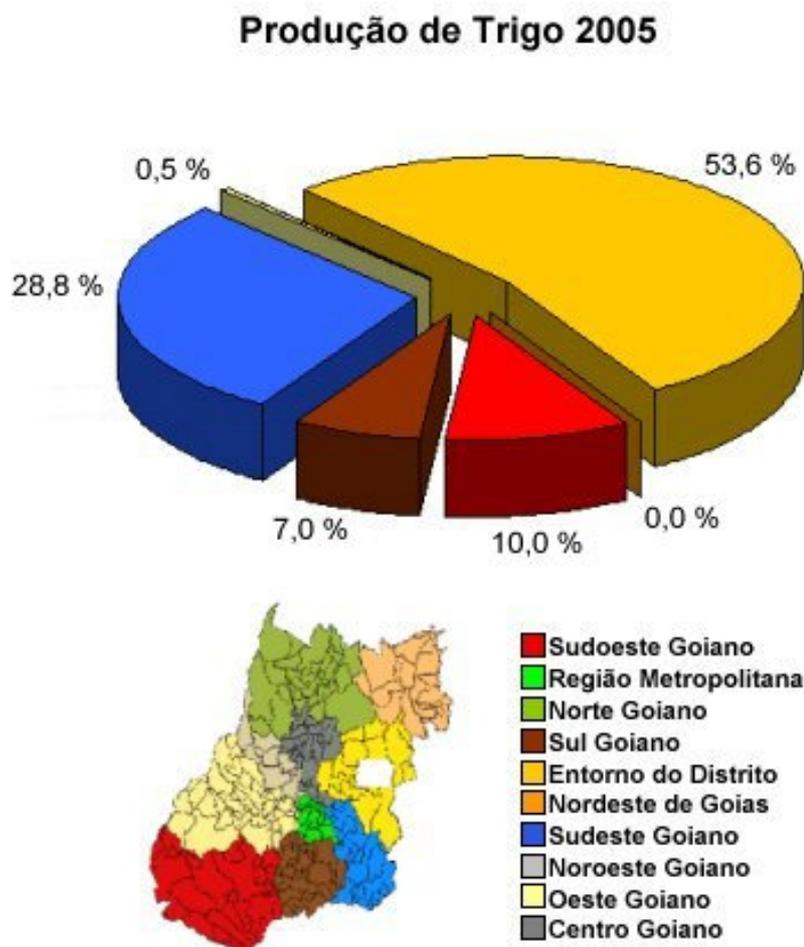


Figura 77: Participação das Regiões de Planejamento na Produção de Trigo

Capítulo 4

SIMULAÇÃO DE ESTUDO DE CASO – MUNICÍPIO DE RIO VERDE

4.1 – DETERMINAÇÃO DA ORIENTAÇÃO DO ESTUDO

A análise dos resultados obtidos do equacionamento dos dados para este trabalho se dará de forma fragmentada para cada localidade, região ou micro região. Esta análise ocorre desta forma, pois as localidades possuem suas características e peculiaridades independentemente umas das outras.

Para que se pudesse realizar este trabalho de forma coerente, optou-se por definir a orientação a ser seguida para as análises.

A orientação deste estudo pode acontecer basicamente de duas formas distintas para uma determinada localidade ou região. Para mostrar a viabilidade da geração descentralizada de Energia Elétrica com resíduos agrícolas no estado de Goiás, podemos adotar o critério econômico e mostrar que para determinada região ou localidade considerando os recursos naturais disponíveis, os equipamentos e instalações prediais a serem implantadas, o empreendimento se justifica economicamente.

Outro critério que pode ser adotado para a comprovação da viabilidade desta geração é o social, isto é, apesar de indicadores econômicos não justificarem o empreendimento,

localidades ou regiões carentes do estado podem vir a ser atendidas, melhorando os índices de qualidade de vida da sua população.

A seguir se apresenta um estudo de caso, sendo que, orientaremos este estudo pelo critério econômico, isto é, se testará a viabilidade da implantação de uma usina de geração descentralizada em uma determinada localidade verificando seu custo de implantação e comparando-o com valores referenciais pré-estabelecidos.

Seguindo a definição anterior em termos de orientação deste trabalho, escolhe-se uma cidade que se encaixasse no perfil desejado, ou seja, precisa-se de uma cidade com bom potencial econômico, isto é, localizada em uma região mais rica do estado, com um PIB maior que a média das cidades do estado, para que se justificasse um empreendimento com excedente de energia elétrica para ser comercializado. Além disso, esta cidade deveria ter alta produtividade em termos de culturas agrícolas diversas para garantir um fornecimento de resíduos agrícolas e assim subsidiar o funcionamento da usina.

Em resposta a estas exigências, escolheu-se para este estudo de caso a cidade de Rio Verde, pois esta foi uma das cidades de maior potencial de geração de energia elétrica com biomassa residual de diversas culturas, sendo o maior produtor do estado de soja e sorgo e estando entre os maiores produtores do estado nas demais culturas, além de estar localizada em uma região próspera do estado de Goiás.

4.2 – POTENCIAIS ENERGÉTICOS DE RIO VERDE

Seguindo os passos descritos na metodologia deste trabalho, precisou-se determinar em primeiro lugar, qual a disponibilidade de resíduos agrícolas na cidade de Rio Verde. Como já se apresentou anteriormente, o ranking das cidades maiores produtoras de cada cultura, pode-se selecionar agora as principais culturas em produção na cidade de Rio Verde. Também se mostrou nos itens anteriores dois conceitos importantes que serão utilizados a seguir, o primeiro é o Coeficiente de produção de resíduos (C_R) que é a quantidade de unidades de peso de resíduos agrícolas gerada, para cada unidade de peso do produto final produzido. O segundo é o Poder Calorífico característico dos resíduos agrícolas disponíveis.

Não se pode esquecer que nem todo o resíduo gerado pode ser aproveitado, então utilizaremos agora o conceito de Índice de Colheita (I_C), que determina a quantidade de resíduos de biomassa útil, ou seja, que pode ser considerada para utilização. Como já explicado anteriormente parte da sobra da produção deve ser deixada no solo para a recomposição do mesmo. A proporção de resíduos que pode ser aproveitada, varia de cultura para cultura, mas excetuando-se o algodão que deve ter todo o resíduo retirado do solo para evitar doenças, as demais culturas permitem que se utilize cerca de 30% dos resíduos produzidos.

A energia disponível nos recursos de biomassa apresenta-se sempre na forma de energia química impondo reações para sua liberação e conseqüentemente execução de alguma ação de interesse, como por exemplo, a geração de vapor. Além disso, existem muitas situações nas quais se requer a conversão de biomassa, que é um combustível sólido, em outra forma energética mais homogênea ou que apresente melhor adequação para um uso final desejado. Assim, por exemplo, a sua conversão num combustível gasoso ou líquido permite a geração de energia mecânica em motores de combustão interna. Em todos os casos pode-se dizer que a utilização da energia da biomassa é a fotossíntese inversa, pois se busca resgatar a energia solar armazenada pelo vegetal consumindo o oxigênio atmosférico e restituindo ao ar o dióxido de carbono.

Assim se justifica o emprego de diversas tecnologias, baseadas em alguns processos de conversão. Os processos de conversão energética da biomassa podem ser classificados em três grupos: processos físicos, termoquímicos e biológicos. Como processo físico, considera-se a densificação, redução granulométrica e a obtenção de óleos vegetais por prensagem, tipicamente não afetando a composição química original da matéria prima. Os processos termoquímicos se caracterizam por temperaturas elevadas e incluem a combustão direta, gaseificação, pirólise e liquefação, considerados os mais comuns. Entre os processos de conversão biológica, a fermentação alcoólica e a digestão anaeróbia são os mais utilizados e se desenvolvem geralmente na presença de biomassa com elevado teor de umidade e temperaturas próximas da ambiente.

Embora muitas vezes a biomassa possa ser empregada de modo direto, como é o caso da queima da lenha em fornos e caldeiras, sua conversão em outros produtos energéticos permite incrementar sua homogeneidade e densidade energética, melhorando as condições de armazenamento e transporte, além de adequar tais combustíveis para uso final. Assim,

converter biomassa sólida em combustíveis líquidos e gasosos, por exemplo, permite a utilização em motores de combustão interna e turbina a gás.

Para os cálculos que seguem considerar-se-á a operação do empreendimento por um ano, ou seja para o ano cujos dados de colheita foram estudados nos itens anteriores.

O cálculo da quantidade de energia gerada a partir de biomassa em eletricidade é dado pela equação 3 a seguir.

$$E \text{ [kWh]} = m \text{ [kg]} \times \text{PCI}_{\text{BIOMASSA}} \text{ [kJ/kg]} \times \eta_{\text{TECNOLOGIA}} \quad (3)$$

Sendo,

E = Energia Gerada

m = Massa de Biomassa disponível

$\text{PCI}_{\text{BIOMASSA}}$ = Poder Calorífico Inferior da Biomassa

$\eta_{\text{TECNOLOGIA}}$ = rendimento da Tecnologia

Também foi mostrado nos itens anteriores que para o rendimento da tecnologia consideraremos um número médio dos equipamentos disponíveis no mercado que é de 25% (vinte e cinco por cento) tanto para opção com gaseificador quanto para com combustão direta na caldeira do ciclo a vapor.

Para que se possa equacionar os dados apresentados e obter os potenciais de cada cultura em produção em Rio Verde, tem-se a tabela 11, que mostra para cada cultura em produção na cidade de Rio Verde, o C_R , o I_C e o PCI para cada cultura a ser considerada.

Tabela 11 – Considerações para cálculo dos potenciais.

I_C e % Biomassa Útil – EMBRAPA / PCI - NEST

	Cultura Analisada	Coefficiente de Produção de Resíduos (C_R)	Índice de Colheita (I_C)	PCI (kcal/kg)	PCI (kJ/kg)
1	Algodão	2,45	90%	4370	18.275,34
2	Arroz Palha	1,43	30%	3200	13.382,40
2.1	Arroz Casca	0,18	30%	3846	16.083,97
3	Cana Palhiço	0,25	30%	4500	18.819,00
3.1	Cana Bagaço	0,25	30%	4130	17.271,66
4	Feijão	2,1	30%	3800	15.891,60
5	Milho	1	30%	3570	14.929,74
6	Soja	2,1	30%	1875	7.841,25
7	Sorgo	1,7	30%	4186	17.505,85
8	Trigo	1,3	30%	4000	16.728,00

Para se saber os potenciais de geração em termos de potência (P) precisa-se converter a Energia Anual (E) calculada anteriormente em potência(P). Esta conversão se dá através da equação 4 abaixo:

$$P[W] = E [Wh] / t [s] = E [Wh] / 8760 [h] = E / 8760 [W] \quad (4)$$

Aplicando nos dados de disponibilidade de biomassa residual as equações 3 e 4 acima, se obtém a tabela 12 que mostra os potenciais de geração em termos de energia ao longo do ano e em termos de potência instantânea.

Tabela 12 – Potenciais calculados para as diversas culturas de Rio Verde

Cultura	Produção (t)	Prod Resíduos (t)	Prod Resíduos útil (t)	Geração Anual (GWh)	Potência (MW)
ALGODÃO	3.821,43	9.362,50	8.426,25	10,70	1,22
ARROZ PALHA	4.500,00	6.435,00	1.930,50	1,80	0,21
ARROZ CASCA	4.500,00	810,00	243,00	0,27	0,03
CANA PALHIÇO	210.001,00	52.500,25	15.750,08	20,60	2,35
CANA BAGAÇO	210.001,00	52.500,25	15.750,08	18,91	2,16
FELIÃO	6.960,00	14.616,00	4.384,80	4,84	0,55
MILHO	132.000,00	132.000,00	39.600,00	41,10	4,69
SOJA	715.500,00	1.502.550,00	450.765,00	245,69	28,05
SORGO	97.500,00	165.750,00	49.725,00	60,51	6,91
TRIGO	1.440,00	1.872,00	561,60	0,65	0,07
TOTAIS	1.386.223,43	1.938.396,00	587.136,30	405,08	46,24

4.3 – CUSTOS PARA IMPLANTAÇÃO DE USINA TERMELÉTRICA EM RIO VERDE

4.3.1 - Considerações para Levantamento dos Custos

Serão tratados inicialmente dos custos referentes ao transporte e ao armazenamento dos resíduos agrícolas a serem utilizados na usina de Rio Verde.

Para tal levantamento de custos, serão adotadas algumas premissas de projeto.

Estas premissas serão descritas a seguir.

Considerar-se-á que a biomassa residual será enfardada para transporte e armazenagem. As características do fardo serão de suma importância para as considerações tanto de transporte, como de armazenagem e estão demonstradas na tabela 13.

Tabela 13 – Características dos fardos de armazenagem de Biomassa residual

Fardo		
Comprimento	2,10	m
Largura	0,82	m
Altura	0,87	m
Volume	1,50	m ³
Área ocupada	1,72	m ²
Densidade	200,00	kg/m ³
Num. Unidades na pilha	8,00	unid.

Este tipo de fardo foi escolhido por melhor distribuição no caminhão e conseqüente melhor relação de custo / benefício para o transporte.

Da tabela 13 se pode calcular o volume e a densidade do fardo para descobrirmos sua massa, que é de 300 kg.

Precisa-se saber qual a quantidade de fardos é necessária por hora para que possamos calcular os custos de transporte e armazenagem.

Sabe-se da tabela 12 a quantidade de energia anual. Para se saber a quantidade de energia potencialmente gerada em uma hora, basta que se divida a energia total anual pelo número de horas de um ano conforme equação 5;

$$E_{\text{HORÁRIA}} [\text{GWh}] = E_{\text{ANUAL}} [\text{GWh}] / (365 * 24) \quad (5)$$

Sendo:

$E_{\text{HORÁRIA}}$ = Energia gerada por hora

E_{ANUAL} = Energia gerada por ano

Para se saber a quantidade de fardos por hora, tem-se que saber a quantidade de biomassa residual demandada para gerar a energia horária calculada na equação 5. Este cálculo está explicitado na equação 6 abaixo;

$$m_H \text{ [kg]} = E_H \text{ [GWh]} / (\text{PCI} * \eta) \quad (6)$$

Sendo:

m_H = Massa de Biomassa por hora

E_H = Energia Gerada por Hora

PCI = poder Calorífico Inferior da Biomassa

η = Rendimento da Tecnologia

Agora que se tem massa de biomassa necessária por hora, se pode calcular a quantidade de fardos por hora simplesmente dividindo a massa de biomassa pela massa do fardo conforme equação 7 abaixo;

$$N_F = m_H \text{ [kg]} / 300 \text{ [kg]} \quad (7)$$

Sendo;

N_F = Número de Fardos

m_H = Massa de Biomassa por hora

Considerou-se que as safras ocorrerão simultaneamente e que se tem um período de 2 meses ou 60 dias para a coleta da biomassa residual de toda a produção, para que não se perca

suas características para o armazenamento e posterior utilização para conversão em energia elétrica.

Para se saber os custos do transporte da biomassa residual que subsidiará a operação da central termelétrica de Rio Verde, têm-se na tabela 12 a quantidade total de biomassa útil disponível.

Agora que se sabe o tipo do fardo que se precisa transportar e armazenar, precisou-se fazer pesquisas locais para se obter os custos de transporte e armazenamento.

As condições e os preços pesquisados estão em reais e são referentes a valores praticados em 2006. Estas condições comerciais foram fornecidas por cooperativas agrícolas locais.

Considerou-se para o empreendimento a compra de caminhões cavalo e reboque do tipo “Romeu e Julieta” para complementar o transporte que se considerou base, conforme tabelas 14 e 15 abaixo. A tabela 14 mostra os valores base de coleta, enleiramento, enfardamento e transporte com quatro caminhões conforme RÍPOLI(2004). Estes valores foram cotados para distâncias de 15, 50 e 100 km sendo que consideramos para os cálculos o valor médio de viagem de 50 km.

Tabela 14 – Custo Base de Coleta Enleiramento, Enfardamento e Transporte.

Custo Base de Coleta, Enleiramento, Enfardamento e Transporte	
Distância de transporte(km)	Custo (R\$/t)
15	R\$ 25,00
50	R\$ 32,00
100	R\$ 44,00

Tabela 15 – Custo Adicional Transporte

Custo Adicional Transporte	
Caminhão Romeu e Julieta	
Custo Unitário	R\$ 400.000,00
Volume por Viagem	80 m ³
Viagens por dia por caminhão	3

Pode-se agora totalizar o custo com transporte, para tal precisa-se saber o custo para coleta enleiramento, enfardamento e transporte base que é dado pela equação 8;

$$C_{CEETB} [\text{R\$}] = m_U [\text{t}] * C_{TBPT} [\text{R\$} / \text{t}] \quad (8)$$

Sendo:

C_{CEET} = Custo de Coleta, Enleiramento, Enfardamento e Transporte Base

m_U = Massa de Biomassa Útil

C_{TPBT} = Custo de Transporte Base por Tonelada

Para se saber a quantidade de caminhões adicionais e calcular seu custo, precisa-se saber o volume total de fardos de biomassa residual a ser transportado. Este cálculo está na equação 9;

$$V_{FT} = m_U [\text{kg}] * D_F [\text{m}^3 / \text{kg}] \quad (9)$$

Sendo;

V_{FT} = Volume de Fardos Total

m_U = Massa útil de Biomassa

D_F = Densidade do Fardo

Agora pode-se calcular a quantidade de caminhões adicionais conforme a equação;

$$N_{CA} = \{V_{FT} / (60 * 80 * 3)\} - 4 \quad (10)$$

Sendo;

N_{CA} = Número de Caminhões Adicionais

V_{FT} = Volume de Fardos Total

Pode-se agora calcular o custo de transporte adicional por tonelada de biomassa útil transportada, conforme equação 11;

$$C_{ATi} = \frac{N_{CA} * 400000}{m_{UT}} \quad (11)$$

Sendo;

C_{ATi} = Custo Adicional de Transporte por Tonelada

N_{CA} = Número de Caminhões Adicionais

m_{UT} = Massa Útil Total de Biomassa

Apresenta-se agora como resultado das equações acima, tabela 16 com os custos totais de coleta enleiramento, enfardamento e transporte da biomassa residual para operação da central termelétrica de Rio Verde;

Tabela 16 – Custos totais de coleta, enleiramento, enfardamento e transporte

Fardos / hora	Volume dos Fardos (m ³)	Caminhões Necessários Adicionais	Custos Transporte Adicional (R\$/t)	Custo Transporte BASE+ADICIONAL (R\$/t)	Custo Total Transporte (R\$)
223,42	2.935.681,52	200	136,16	168,16	98.735.070,47

Para o armazenamento, consideraram-se também algumas premissas, conforme tabela 17;

Tabela 17 – Considerações para Galpão de Armazenamento

Armazenamento		
Área de transito pátio	5%	%
Custo Concreto Fck 15 MPa	170,00	R\$/m ³
Custo Concreto Fck 30 MPa	235,00	R\$/m ³
Espessura do piso	0,15	m
Qtde Ferragem colunas	200,00	kg/m ³ concreto
Custo Ferragens Coluna	4,50	R\$/kg ferragem
Custo Tijolos	120,00	R\$/milheiro tijolo
Custo Cobertura Galpão	100,00	R\$/m ²
Custo Empilhadeira c/ garras	50.000,00	R\$
Preço Esteira	1.000,00	R\$/m
Distancia entre Galpão e picadorde fardos	50,00	m

Agora se pode equacionar os dados disponíveis para obter os custos com armazenamento dos resíduos agrícolas que subsidiarão a operação da usina Rio Verde. Para determinar as proporções do galpão a ser construído, precisa-se determinar as áreas a serem ocupadas pelos fardos, lembrando que se considerou para melhor ocupação do galpão, que o mesmo seja quadrado. Inicialmente calcula-se o número de fardos a ser armazenado, conforme equação 12;

$$N_{FT} = V_{TF} [m^3] / V_F [m^3] \quad (12)$$

Sendo:

N_{FT} = Número de Fardos Total

V_{TF} = Volume Total dos Fardos

V_F = Volume do Fardo

Agora se calcula a área ocupada pelos fardos, conforme equação 13;

$$A_{FT} [m^2] = N_{FT} * A_F [m^2] \quad (13)$$

Sendo

A_{FT} = Área de Fardos Total

N_{FT} = Número de Fardos Total

A_F = Área do Fardo

Agora calculare-se a área das pilhas de fardos, lembrando que segundo as premissas, armazenaremos 8 fardos por pilha. O cálculo é conforme equação 14;

$$A_{PF} [m^2] = A_{FT} [m^2] / 8 \quad (14)$$

Sendo;

A_{PF} = Área de pilhas de Fardos

A_{FT} = Área de Fardos Total

Na seqüência, também seguindo as premissas pré-estabelecidas, calcula-se a área total do pátio, considerando 5% de área para circulação. A equação 15 abaixo mostra este cálculo;

$$A_P [m^2] = A_{PF} [m^2] * 1,05 \quad (15)$$

Sendo;

A_P = Área do Pátio

A_{PF} = Área das Pilhas de Fardos

Ao se equacionar os dados encontrados na equação 13 acima com as premissas da tabela 17, obtém-se a tabela 18, que mostra o custo do piso do galpão.

Tabela 18 – Custo do Piso do Galpão

Cultura	Num. Fardos	Área dos Fardos (m ²)	Área pilha dos Fardos (m ²)	Área do pátio Galpão (m ²)	Vol. Concreto p/ piso (m ³)	Custo Piso (R\$)
TOTAIS	1.957.121,01	3.366.248,14	420.781,02	441.820,07	66.273,01	11.266.411,74

Para se saber o custo das paredes, primeiramente precisa-se calcular o comprimento das paredes, conforme equação 16 abaixo;

$$L_P \text{ [m]} = \text{Raiz quadrada da } A_P \text{ [m]} \quad (16)$$

Sendo;

L_P = Largura da Parede

A_P = Área do Pátio

Agora calcule-se a área lateral do pátio, considerando 1 m acima da altura máxima das pilhas de fardos, lembrando que são quatro paredes, conforme nos mostra a equação 17;

$$A_{LP} \text{ [m}^2\text{]} = \{L_P \text{ [m]} * \{(h_F \text{ [m]} * N_{FP}) + 1\}\} * 4 \quad (17)$$

Sendo;

A_{LP} = Área Lateral do Pátio

L_P = Largura da Parede

h_F = Altura do Fardo

N_{FP} = Número de Fardos na Pilha

Para se saber o custo das paredes e colunas, que incluem tijolo, ferragem e concreto, basta se equacionar os dados obtidos da equação 15 com as premissas da tabela 17. Assim obtém-se a tabela 19 com os custos das colunas do Galpão e a tabela 20 com os custos da parede, da cobertura e o custo total do armazenamento.

Tabela 19 – Custo das Colunas das Paredes do Galpão

Largura do Pátio Galpão (m)	Área lateral do Galpão (m ²)	Vol. Concreto p/ colunas (m ³)	Quant. Ferragens p/ coluna (kg)	Custo Colunas (R\$)
664,70	4.509,29	190,58	38.116,30	216.309,99

Tabela 20 – Custo Total de Armazenamento

Quant. Tijolos p/ parede (m ²)	Custo Parede (R\$)	Área cobertura Galpão (m ²)	Custo Cobertura (R\$)	Custo Total Armazenagem (R\$)
3.556,39	8.535,33	441.820,07	44.182.006,81	55.673.263,86

Nesta próxima etapa determinam-se os custos por kW instalado para as duas opções tecnológicas de equipamentos de conversão de resíduos de biomassa em energia elétrica. Para tal apresenta-se o resultado de pesquisas de mercado para custos por kW instalado para estes equipamentos, conforme tabela 2. Observa-se que os custos apresentados na tabela 21 consideram somente os equipamentos de conversão e não os acessórios elétricos que serão cotados adiante. Estes custos são parte do relatório fornecido pelo NEST com suporte acadêmico para a pesquisa da GMS.

Tabela 21 - Custo de Mercado de Equipamentos de Conversão

Custo de Mercado Equipamentos de Conversão		
Picador de Fardos	20.000,00	R\$
Gaseificador	3.020,00	R\$/kW inst
Caldeira	3.800,00	R\$/kW inst

Como já se tem o valor do potencial de geração instantâneo em termos de potência (ver tabela 12), para se obter os custos de equipamentos para as duas opções consideradas, isto é, para se implementar a conversão com gaseificador e motor de combustão interna acoplado ou com queima direta na caldeira em ciclo a vapor, para cada caso multiplica-se o custo do equipamento por kW instalado pelo potencial de geração em termos de potência instantânea, conforme as equações 18 e 19;

$$C_{EG} \text{ [R\$]} = C_{EG/kW} \text{ [R\$/kW]} * P \text{ [MW]} \quad (18)$$

Sendo;

C_{EG} = Custo de Equipamentos para a opção Gaseificador

$C_{EG/kW}$ = Custo de Equipamentos para a opção Gaseificador por kW Instalado

P = Potência Gerada

$$C_{EC} \text{ [R\$]} = C_{EC/kW} \text{ [R\$/kW]} * P \text{ [MW]} \quad (19)$$

Sendo;

C_{EC} = Custo de Equipamentos para a opção Caldeira

$C_{EC/kW}$ = Custo de Equipamentos para a opção Caldeira por kW Instalado

P = Potência Gerada

Sabe-se que uma empilhadeira consegue transportar 20 fardos por hora das premissas da tabela 17, logo a equação 20 abaixo mostra a o número de empilhadeiras necessário;

$$N_E = N_{FH} / 20 \quad (20)$$

Sendo;

N_E = Número de Empilhadeiras

N_{FH} = Número de Fardos por Hora

O custo de empilhadeiras é dado abaixo pela equação 21;

$$C_E \text{ [R\$]} = N_E * \text{R\$}50.000,00 \quad (21)$$

Sendo;

C_E = Custo de Empilhadeiras

N_E = Número de Empilhadeiras

Para que se calcule o custo da esteira, utilizare-se a premissa fornecida na tabela 17, que informa que o custo da esteira é de R\$1000,00 por metro. A quantidade de esteiras é igual ao comprimento do galpão, mais 50 m, conforme equação 22 ;

$$C_{PEST} \text{ [m]} = L_G \text{ [m]} + 50 \text{ [m]} \quad (22)$$

Sendo;

C_{PEST} = Comprimento de Esteiras

L_G = Largura do Galpão

O custo das esteiras está calculado na equação 23 abaixo;

$$C_{EST} [R\$] = C_{PEST} [m] * R\$1000,00 \quad (23)$$

Sendo;

C_{EST} = Custo de esteiras

C_{PEST} = Comprimento de Esteiras

Para se calcular os custos da casa de máquinas temos a tabela 22 que mostra as premissas para levantamento deste custo, levando-se em consideração três faixas de potência geradas.

Tabela 22 – Considerações para Instalações da Casa de Máquinas (GMS).

Considerações para Instalação da Casa de Máquinas	
Faixa de Potência	Área Necessária
< 0,1 MW	50,00
0,1 - 1 MW	100,00
1 - 10MW	200,00
> 10MW	250,00
Custo do m ² da Casa de Máquinas	R\$ 700,00

Como a potência gerada é de 46,24 MW, para se saber a área necessária da casa de máquinas têm-se que dividir esta potência por 10 MW e multiplicar por 250 [m²] e para se saber seu custo, multiplica-se pelo valor custo de mercado do m² para casa de máquinas, conforme equação 24;

$$C_{CM} [R\$] = (46,24[MW] / 10 [MW]) * 250 [m^2] * 700 [R\$ / m^2] \quad (24)$$

Sendo;

C_{CM} = Custo da Casa de Máquinas

Para a interligação com a rede, a tabela 23 mostra as premissas de mercado em termos de custo.

Tabela 23 – Considerações para Conexão com a Rede (GEE).

Linha de Transmissão / Interligação		
Rede Elétrica	150.000,00	R\$/km de linha
Bay SE	40.000,00	R\$/MW
Bay Interl. Concessionária	40.000,00	R\$/MW
Distância de rede	20	Km

Para se saber o custo de interligação com a rede, basta se equacionar a tabela 23 conforme a equação 25;

$$C_I \text{ [R\$]} = (20 \text{ [km]} * \text{R\$}150.000,00 \text{ /[km]}) + 46,24 \text{ [MW]} * \text{R\$}40.000,00 \text{ / [MW]} + 46,24 \text{ [MW]} * \text{R\$}40.000,00 \text{ / [MW]} \quad (25)$$

Sendo;

C_I = Custo de Interligação

Para os custos com acessórios elétricos, têm-se a tabela 24 que apresenta as suas premissas de mercado.

Tabela 24 – Custos de Mercado para Acessórios Elétricos

Acessórios Elétricos		
Gaseificador	453,00	R\$/kW inst
Caldeira	570,00	R\$/kW inst

Para se calcular os custos de acessórios elétricos, para as duas opções de equipamentos de conversão, se equaciona a tabela 24 conforme as equações 26 e 27 abaixo; Os acessórios elétricos referem-se aos equipamentos destinados à operação da central de geração, tais como chaves, painéis de comando, sistemas de proteção entre outros.

$$C_{AEG} [\text{R\$}] = 46,24 [\text{MW}] * 1000 * \text{R\$}453,00 / [\text{kW}]$$

Sendo;

C_{AEG} = Custo de acessórios Elétricos para a opção Gaseificador

$$C_{AEC} [\text{R\$}] = 46,24 [\text{MW}] * 1000 * \text{R\$}570,00 / [\text{kW}] \quad (27)$$

Sendo;

C_{AEC} = Custo de Acessório Elétrico para opção caldeira

Resolvendo as equações acima, pode-se mostrar nas tabelas 25, 26 e 27 todos os custos para as duas opções de equipamentos de conversão.

Tabela 25 – Custos de Empilhadeiras, Esteiras, Casa de Máquinas e Equipamentos.

Num. Empilhadeiras	Custo Empilhadeira (R\$)	Custo Esteira (R\$)	Custo Casa de Máquinas (R\$)	Custo Equipamento Gaseificador (R\$)	Custo Equipamento Caldeira (R\$)
12	608.539,10	714.695,47	809.233,25	139.670.538,52	175.739.220,65

Tabela 26 – Custos de Acessórios Elétricos e Conexão com a Rede

Custo Acess. Eletricos Gaseificador (R\$)	Custo Acess. Eletricos Caldeira (R\$)	Custo LT/Interligação (R\$)
20.947.580,78	26.357.883,10	6.699.352,01

Tabela 27 – Custos Totais para as duas Opções de Equipamentos

Custo Total Opção Gaseificador (R\$)	Custo Total Opção Caldeira (R\$)
323.858.273,47	365.337.257,92

Para que se possa analisar os custos do MWh precisamos fazer um estudo econômico cujas premissas estão na tabela 28 ;

Tabela 28 – Premissas para o Estudo Econômico

Premissas para análise Econômica	
n (anos)	10
i (%)	0,18

Considera-se os juros de 18 % AA para um período de 10 anos, sendo que para a anualização dos custos totais obtidos anteriormente, precisa-se calcular o Fator de Recuperação de Capital (FRC) conforme a equação 28;

$$FRC = ((1 + i)^n * i) / ((1 + i)^n - 1) \quad (28)$$

Sendo;

FRC = Fator de Recuperação de Capital

Resolvendo a equação 28 acima, obtém-se o valor do FRC, conforme a tabela 29 nos mostra.

Tabela 29 – Fator de Retorno de Capital

Premissas para análise Econômica	
n (anos)	10
i (%)	0,18
FRC	0,22

Para obter-se os custos totais das opções de equipamentos anualizados, aplica-se o FRC calculado acima nos custos totais das duas opções tecnológicas, conforme as equações 29 e 30;

$$C_{TAG} [\text{R\$}] = C_{TG} [\text{R\$}] * 0,22 \quad (29)$$

Sendo;

C_{TAG} = Custo Total Anualizado para opção Gaseificador

C_{TG} = Custo Total opção Gaseificador

$$C_{TAC} [\text{R\$}] = C_{TC} [\text{R\$}] * 0,22 \quad (30)$$

Sendo;

C_{TAC} = Custo Total Anualizado opção Caldeira

C_{TC} = Custo Total opção Caldeira

Para se saber os custos do MWh, basta dividirmos o custo total anualizado pela energia gerada, conforme as equações 31 e 32;

$$C_{MWhG} [\text{R\$} / \text{MWh}] = C_{TAG} [\text{R\$}] / E [\text{GWh}] * 1000 \quad (31)$$

Sendo;

C_{MWhG} = Custo do MWh para opção Gaseificador

C_{TAG} = Custo Total Anualizado para opção Gaseificador

E = Energia

$$C_{MWhC} [\text{R\$} / \text{MWh}] = C_{TAC} [\text{R\$}] / E [\text{GWh}] * 1000 \quad (32)$$

Sendo;

C_{MWhC} = Custo do MWh para opção Caldeira

C_{TAC} = Custo Total Anualizado para opção Caldeira

E = Energia

Para se saber os custos do kW instalado, dividi-se o custo total pela potência gerada, conforme as equações 33 e 34;

$$C_{kWG} [\text{R\$} / \text{kW}] = C_{TG} [\text{R\$}] / P [\text{MW}] * 1000 \quad (33)$$

Sendo;

C_{kWG} = Custo por kW Instalado para opção Gaseificador

C_{TG} = Custo Total para opção Gaseificador

P = Potência Gerada

$$C_{kWC} [\text{R\$} / \text{kW}] = C_{TC} [\text{R\$}] / P [\text{MW}] * 1000 \quad (34)$$

Sendo;

C_{kWC} = Custo por kW Instalado para opção Caldeira

C_{TC} = Custo Total para opção Caldeira

P = Potência Gerada

Resolvendo as equações propostas acima, obtém-se os custos por MWh e por kW instalado para ambas as opções de tecnologia, conforme mostra a tabela 30;

Tabela 30 – Custos por MWh e kW gerados

Custo Opção Gaseificador Anualizado (R\$)	Custo do MWh (R\$/MWh)	Custo do kW instalado (R\$/kW inst)	Custo Opção Caldeira Anualizado (R\$)	Custo do MWh (R\$/MWh)	Custo do kW instalado (R\$/kW inst)	Aumento Custo MWh Caldeira em relação ao Gaseificador
71.248.820,16	175,89	7.003,57	80.374.196,74	198,42	7.900,57	12,81%

Capítulo 5

CONCLUSÕES

No início deste trabalho propô-se verificar a viabilidade da geração de energia elétrica de forma descentralizada a partir de resíduos de biomassa provenientes das culturas em produção no estado de Goiás.

Para tal, precisou-se traçar um objetivo, que foi desenvolver uma metodologia científica capaz de definir que informações seriam necessárias e como equalizá-las de forma a conseguir uma resposta positiva para a nossa verificação.

Definiu-se então uma metodologia segundo a qual, levantaram-se algumas hipóteses a serem comprovadas. As hipóteses levantadas no início deste trabalho foram testadas e tiveram sua veracidade comprovada para o estudo de caso do município de Rio Verde.

A primeira hipótese levantada, questionava se a disponibilidade de resíduos de biomassa produzidos em determinada região seria suficiente para sustentar uma usina termelétrica em pleno funcionamento. O estudo de caso da cidade de Rio Verde nos confirma a veracidade desta hipótese, já que temos biomassa residual na cidade com potencial de geração de 405,08 GWh anuais.

A segunda hipótese também teve sua veracidade confirmada, já que afirmava que a melhor opção tecnológica de conversão de biomassa residual em energia elétrica seria através

da combustão direta em caldeira (ciclo a vapor). Isto se deu pela falta de disponibilidade comercial no mercado de equipamentos para a conversão através de gaseificação e até pela dificuldade de se obter informações sobre os preços destes equipamentos. Para os cálculos de custos no trabalho, foi considerado o mesmo valor de R\$ por kW instalado para as diversas faixas de potência. Isto explica por que a opção tecnológica de conversão através de gaseificador se apresentou mais barata neste trabalho que a opção de ciclo a vapor.

A terceira hipótese afirmava que a biomassa residual somente poderia ser transportada dentro de um raio de 100 km para que o empreendimento se justificasse financeira e logisticamente. Esta hipótese também teve sua veracidade atestada no exemplo de Rio Verde, onde toda a biomassa residual considerada foi gerada no próprio município e transportada dentro do limite estabelecido dos 100 km.

A quarta hipótese dissertava sobre as condições para armazenamento da biomassa residual para utilização posterior. O exemplo do município de Rio Verde também neste caso mostra a veracidade da hipótese, já que foram considerados armazém e equipamentos para armazenamento.

Finalmente para a verificação da viabilidade do empreendimento precisa-se da confirmação da quinta hipótese, que tratava do aspecto econômico. A quinta hipótese afirmava que seria economicamente viável a implantação de uma usina termelétrica a partir de resíduos de biomassa. De acordo as equalizações de dados apresentadas no capítulo 4 deste trabalho, pode-se ver que os custos do MWh gerados estão dentro dos padrões de comercialização no Brasil, ou seja a quinta hipótese também teve sua veracidade comprovado com a equalização dos dados pesquisados neste trabalho.

Pode-se finalmente considerar que para o exemplo da cidade de Rio Verde com a orientação econômica do empreendimento, a viabilidade da implantação de uma usina para geração descentralizada de Energia Elétrica a partir de biomassa residual no estado de Goiás está comprovada.

Com relação às referências adotadas para os equacionamentos realizados neste trabalho, é relevante salientar que o poder calorífico dos resíduos das diversas culturas em questão foi considerado para seu estado natural, podendo este sofrer alteração quando enleirado ou enfardado em tratamento para transporte e armazenagem. Cabe neste item uma pesquisa mais aprofundada para a obtenção dos valores exatos dos PCIs dos resíduos de biomassa para cada cultura.

Também é importante salientar que o estudo de caso realizado para a cidade de Rio Verde somente considerou a sua produção. Caso se considerasse a produção das cidades ao redor de Rio Verde, ter-se-ia um potencial consideravelmente maior para a central estudada. Este estudo se mostra igualmente interessante para um aprofundamento.

Ainda no estudo de caso de Rio Verde, para as equalizações das quantidades de produção disponível para conversão em energia elétrica, no que diz respeito à época de safra de cada cultura e sua sazonalidade, considerou-se uma disponibilidade constante ao longo do ano. Contou-se para isso com a possibilidade da armazenagem da biomassa residual recolhida no campo até a próxima disponibilidade de resíduos. Seria também relevante estudar a distribuição ao longo do tempo da disponibilidade de resíduos de biomassa para a conversão em energia elétrica na referida central.

Mais um estudo futuro cabível para este assunto seria um aprofundamento na pesquisa da tecnologia de conversão através de gaseificação para faixas de potências mais altas, como a do exemplo do estudo de caso do município de Rio Verde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. BIG – Banco de Informações em Geração ANEEL, 2005. Disponível no site <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=2&fase=1> . Acesso em Fevereiro de 2007.

BARROS, GERALDO S. C. *Quanto custa produzir biodiesel?* Disponível no site: <www.biodieselbr.com/destaques>, CEPEA 2006.

BARRROS, R. W.; COBAS, V. R. M. ; ARADAS, M. E. C. ; LORA, E. E. S. ;. *Uso de Biomassa como Combustível para Acionamento de Motores Stirling.* In: Campinas. Agrener 2004.

BASSAM, N. EL. *Energy Plant Species.* Ed. James & James Ltd, 1998, UK.

BONAZZI, G. *Manuale per l'utilizzazione agronomica degli effluenti zootecnici.* Reggio Emilia: Centro de Ricerche Produzioni Animali – CRPA, 200 320p. Edizioni L'Informatore Agrario.

Cadernos NAE / Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República.

Nº. 2, Biocombustíveis, Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica, 2005.

CEPEA, Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada & FEALQ, Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”; *Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos “aterros sanitários” nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil* MMA, Ministério do Meio Ambiente, 2004;

- CHAMBERS, A. K.; POTTER, I.;** *Gas Utilization from Sewage Waste, Carbon and Energy Management* Alberta Research Council Edmonton, publicada em: Caderno Técnico AIDIS – Associação Interamericana de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível no site: <http://www.aidis.org.br/port/htm/pu_cadtecn_pub.htm>, acessado em janeiro de 2007.
- CIFERNO, J. P.; MARANO, J. J.** “*Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production.* Departamento de Energia dos Estados Unidos e National Energy Technology Laboratory. Junho 2002;
- COELHO, S. T.; PALETTA, C. E. M.; FREITAS, M. A. V., ED.** *Medidas Mitigatórias para a Redução de Emissões de Gases de Efeito Estufa na Geração Termelétrica.* Brasília, Dupligráfica, 2000.
- COPERSUCAR - PROJETO BRA/96/G3** Impactos ambientais do uso em larga escala de sistemas BIG-GT na indústria da cana-de-açúcar. In: Projeto BRA/96/G31: Geração de Energia por biomassa, bagaço da cana-de-açúcar e resíduos. STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v.16, n.5, p.36-39, maio/jun. 1998.
- EPA; U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY;** *Turning a liability into an asset: a landfill gas-to-energy project development handbook.*, 1996.
- FEAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE,** Orientações técnicas para a operação de aterros sanitários”, Fundação Estadual do meio ambiente, FEAM, 2005;
- FILHO, N.R.A.;** *Biodiesel: A Oportunidade para Goiás Praticar o Desenvolvimento Sustentado.* REVISTA UFG publicação Semestral da Universidade Federal de Goiás, Ano VIII, n.1, 2006.
- FRANCO, F.N.** Alguns parâmetros de desempenho operacional de um sistema de recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) a granel. 2003. 113 p. Tese (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- GIACAGLIA, G.E.O, SILVA DIAS, S.F.D.** Parâmetros Técnicos Relativos à Tecnologia de Geração de Biogás em Biodigestores. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Mecânica. São Paulo, 1993.

GRUPO DE TRABALHO INTERMINISTERIAL - Biodiesel - Relatório Final - Anexo III, Brasília, 2003.

Haq, Z. *Biomass for Electricity Generation*. Acesso em: <[http://www.eia.doe.gov./](http://www.eia.doe.gov/)>

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Guidelines for National Greenhouse Inventories: Reference Manual (Vol.3)*, 1996. Disponível no site: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6>>. Acesso em 08 de mar. 1999.

KINTO, O. T.; GRIMONI, J. A. B.; GALVÃO, L. C. R.; UDAETA, M. E. M.; *Energia da Gaseificação de Biomassa um Recurso não Convencional para o Desenvolvimento Limpo*, V CLAGTEE, São Paulo, Brasil, 2003;

LENSU, T.; ALAKANGAS, E., *Small – Scale Electricity Generation from Renewable Energy Sources*. OPET Report 13, VTT Process, 2004;

LOPEZ, P.A. Recolección de bardojo como fuente energética en el Central Romana. In: **GRUPO DE PAÍSES LATINOAMERICANOS Y DEL CARIBE EXPORTADORES DE AZÚCAR. Uso alternativo de la caña de azúcar para energia y alimento**. Ciudad Del México, 1987. p.57-62. (Colección GEPLACEA).

LORA, E. E. S.; NASCIMENTO, M. A. R.; *Geração Termelétrica: Planejamento, Projeto e Operação*; Rio de Janeiro, Interciência, 2004;

LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V.; ARADAS, M. E. C.; *Geração Elétrica em Pequena Escala a Partir da Gaseificação de Biomassa*, AGRENER– 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, 2004;

LORA, E.E.S.; CORTEZ, L.A..U.; *Tecnologias de Conversão Energética da Biomassa*, Universidade do Amazonas/EFEI, Manaus, Série Sistemas Energéticos II, 540p., 1997.

LOVATELLI, C.; *Agroenergia - Uma opção estratégica para o Brasil*, artigo publicado na Revista da Política Agrícola da Embrapa, no 4, 2005.

LUCAS JR., J. Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios. 1994. 113p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

- MICHELAZZO, M.B.;** Dissertação de Mestrado – Análise de Sensibilidade de Seis Sistemas de Recolhimento do Palhiço de Cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*), Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas 2005.
- NOGUEIRA, L. A.; LORA. E. E. S.;** “Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações”, editora Interciência, 2ª edição, Rio de Janeiro, 2003.
- OLIVEIRA, P. A. V. de.** Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P.A.V. de. Tecnologia para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004a. Cap. 4, p.43-55.
- OLIVEIRA, P. A. V. de.** (Ed.). Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993a. 188p. (EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 27).
- OVEREND, R.;** “Biomass conversion technologies”, na conf. Sustentabilidade na geração e uso de energia no Brasil: os próximos vinte anos”, Acad. Bras. de Ciências / UNICAMP, Fev. 2002
- OVEREND, R. P.;** *Status of Biomass Gasifier Village Systems*, National Renewable Energy Laboratory, Village Power Conference, Washington D.C., outubro de 1998;
- PASCHOAL, J.A.R.;** Biodiesel Fonte de Energia Alternativa. Disponível no site: <www.seplan.go.gov.br/sepin>, 2004
- PEREIRA, R.G.; CINELLI, L.R.; ROMEIRO, G.A.; VIEIRA G.E.G.; COSTA, C.C.;** Tecnologia de Conversão a Baixa Temperatura Aplicada ao Resíduo Industrial e Caracterização do Óleo Obtido.
- RASTLER, D.;** *Status, Trends and Market Forecast for Stationary Fuel Cell Power Systems*, Ohio Fuel Cell Symposium, maio de 2005;
- RIPOLI, T.C.C.; MOLINA JR, W.F.; NOGUEIRA, M.C.S.; MATOS, J.R.** Equivalente energético do palhiço da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., 1990, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1990. p.249-252.

- RIPOLI, T.C.C.; DE LEON, M.J.; MOLINA JR, W.F.;RIPOLI, M.L.C.** Field testing of two green chopped sugar cane harvesters in Brazil. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2001, Sacramento. Paper... Sacramento: ASAE, 2001, 8p.
- RIPOLI, T.C.C; RIPOLI, M.L.C.** Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: T.C.C.Ripoli, 2004. 302 p.
- RIPOLI, M.L.C.;** Ensaio de dois Sistemas de Obtenção de Biomassa de Cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*) para fins Energéticos. Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP – Campus de Botucatu. Botucatu, 2004.
- ROJAS, S.; AROCA, S.;** Aprovechamiento de resíduos agrícolas por combustión. In: Ingeniería Química, Maio (referido no Plano Energético da Região do Algarve). 1992.
- ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H.;** *Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira*, Campinas, Ed. Unicamp, 2005;
- SOARES, GUILHERME F.W.** *Operação de um grupo gerador diesel utilizando óleo vegetal bruto como combustível*, CEPTEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, artigo apresentado no Agrener 2000.
- SORDI, A., SILVA, E.P., LOBKOV, D. D., NETO, A. J.M., LOPES, D. G.,** Gaseificação de Biomassa e célula combustível: Sistema com Célula Tipo PEMFC. 6º Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural – Agrener - Junho de 2006. Campinas - SP.
- 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.
- TEIXEIRA, S. M.;** Programa Goiano de Biodiesel: Estratégia para a edificação do programa estadual de Bioenergia, Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia de Goiás, 2006.
- TABOSA, J.N.** et al. Programa de Melhoramento de Sorgo e Milheto em Pernambuco, 1993.
- TORRES, E.A.;** Ensaio de Motores Estacionários do Ciclo Diesel Utilizando Óleo Diesel e Biodiesel (B100), Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica/DEQ/DEM/Laboratório de Energia e Gás, 2006

URQUIAGA, S.; RESENDE, A.S.; ALVES, B.J.R.; OLIVEIRA, O.C.; BODDEY, R.M.

Queima de cana. Revista Agrobiologia, Ribeirão Preto. n.5, p.2, abr.1997.

VIANNA, F.C.; Análise de ecoeficiência: avaliação do desempenho econômico-ambiental do biodiesel e petrodiesel, Dissertação de mestrado apresentada na Escola Politécnica (EP-USP) em julho de 2007.

VIEIRA, GLAUCIA E. GAMA, ROMEIRO, GILBERTO A., DAMASCENO, RAIMUNDO N., PEDROSO, ALBARI GELSON, BAYER, E., KUTUBUDDIN, M., “A Tecnologia de Conversão a Baixa Temperatura - LTC e o Reaproveitamento do Lodo Residual da Indústria Petroflex, IBP 15600, 2º. Congresso da Indústria Química do Mercosul e 7º. Congresso Brasileiro de Petroquímica, Rio de Janeiro, RJ, 200

WEREKO-BROBBY, C. Y., HAGEN, E.B. Biomass Conversion and Technology. New York, John Wiley & Sons, 2000.

<http://www.ambientebrasil.com.br> – Ambiente Brasil S/S Ltda, acessado em Março de 2007.

http://www.agenciarural.go.gov.br/site/site/site/index.php?pagina=contexto_estado, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.anp.gov.br>, acessado em fevereiro de 2007.

<http://www.aneel.gov.br/>, acessado no mês de janeiro de 2007

<http://www.arroz.agr.br/site/arrozefoco/index.php>, acessado em janeiro de 2007.

<http://www.ben.epe.gov.br/ben2006/default.asp>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.biodieseline.com.br> , acessado em janeiro de 2007.

<http://www.biodiesel.gov.br>, acessado em janeiro de 2007.

<http://www.biodiesel.org.br>, acessado em janeiro de 2007.

<http://www.celg.com.br/Celg.jsp>, acessado no mês de janeiro de 2007.

http://www.cerpch.unifei.edu.br/fontes_renovaveis/hidraulica.htm, acessado no mês de janeiro de 2007

http://www.cndpch.com.br/zpublisher/paginas/raio-x_usinas.asp, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.cnpa.embrapa.br/>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.cnpaf.embrapa.br/>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.cnpms.embrapa.br/>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.cnpso.embrapa.br/>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.cnpt.embrapa.br/>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.conab.gov.br>, acessado no mês de janeiro de 2007

<http://www.cresesb.cepel.br/abertura.htm>, acessado no mês janeiro de 2007.

<http://www.dnpm.gov.br> – Departamento Nacional de Produção Mineral, acessado em Março de 2007.

<http://www.energy.ca.gov> – Califórnia Energy Comission (CEC), acessado em Março de 2007.

<http://www.eolica.com.br/energia.html>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.epa.gov/lmop/index.htm>, acessado no mês de janeiro de 2007;

<http://www.fao.org/>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.geo-energy.org> – Geothermal Energy Association, acessado em Março de 2007.

<http://www.geothermal.marin.org> – Geothermal Education Office, acessado em Março de 2007.

<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=go>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.iea.sp.gov.br/out/index.php>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.mme.gov.br/>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.nexterra.ca/technology/index.cfm>, acessado no mês de janeiro de 2007;

<http://www.oregon.gov/ENERGY/RENEW/Biomass/bioenergy.shtml#Gasification>, acessado no mês de janeiro de 2007;

<http://www.portalunica.com.br/portalunica/>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.seplan.go.gov.br/>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.sieg.go.gov.br/>, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.unb.br/iq/lmc> , acessado em fevereiro de 2007

<http://www.usda.gov>, Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA, acessado no mês de janeiro de 2007.

<http://www.volund.dk/>, acessado no mês de janeiro de 2007;

Artigos:

J. Terrados, G.Almonacid, L Hhontoria – “Regional Energy Planning through SWOT analysis and strategic planning tools. Impact on renewables development”

M. Beccali, M. Cellura, M Mistretta – “Decision-making in energy planning. Application of the electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology”

T.V. Ramachandra, N.V. Joshi, D.K.Subramanian – “Present and prospective role of bioenergy in regional energy system”

T.V. Rachamandra, B. V.Shruthi – “Spatial Mapping of renewable energy potential”

SURESH P. Babu, Task Leader - Work Shop No. 1: “Perspectives on Biomass Gasification”
–Task 33: Thermal Gasification of Biomass - Maio 2006