

PAULO CESAR MARQUES DE CARVALHO

PLANEJAMENTO ENERGETICO MUNICIPAL: O CASO DE CAMPINA GRANDE

Dissertação apresentada à Coordenação dos cursos de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, em cumprimento das exigências para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
PROCESSAMENTO DA ENERGIA

ORIENTADOR:
ANTONIO PRALON FERREIRA LEITE

CAMPINA GRANDE - PARAIBA
FEVEREIRO DE 1992

DID
621.5M (019)
C334P

FE

C334P

DEDICATORIA

A todos que dedicam seus conhecimentos para o fim de todas as
formas de violência contra a vida; em especial a

Luciana

Pedro Victor

Luiz Henrique



C331p Carvalho, Paulo Cesar Marques de
Planejamento energetico municipal : o caso de Campina Grande / Paulo Cesar Marques de Carvalho. - Campina Grande, 1992.
103 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Eletrica) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Planejamento Energetico - 2. Eletricidade 3. Dissertacao I. Leite, Antonio Pralon Ferreira, Ph.D II. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) III. Titulo

CDU 621.311(043)

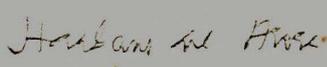
PLANEJAMENTO ENERGÉTICO MUNICIPAL
O CASO DE CAMPINA GRANDE

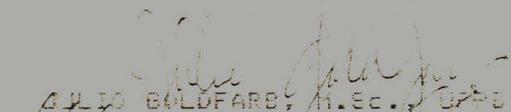
PAULO CESAR MARQUES DE CARVALHO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 20/02/81


ANTONIO PRALON FERREIRA LEITE, Ph.D., UFPE
Orientador

TELMO SILVA DE ARAUJO, Dr. Ing.
Componente da Banca


HARBAS LAL ARORA, Ph.D., UFC
Componente da Banca


JULIO GOLDFARR, M.Sc., UFPE
Componente da Banca


MANOEL ALMEIDA GOLLER, Ph.D., UFPE
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE, 1981
Fevereiro

AGRADECIMENTOS

Prof. Antinous Carvalho
Prof. Antonio Pralon
Prof. Harbans Arora
Prof. Juan Ceballos
Prof. Júlio Goldfarb
Prof. Manuel Goller
Prof. Sandoval Farias
Prof. Telmo Araújo
Dr. Carlos Cabral
Dr. Edson Diniz
Dr. Kliphas Almeida
Dr. Mansueto Bezerra
Dra. Maria das Graças Cruz
Dr. Roberto Coelho
Dr. Severiano Junior
Dr. William Braz
Colegas do Mestrado e Doutorado

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

João Coelho de Carvalho
Valdomira Marques de Carvalho
Magilce Maria Nogueira Diniz
João Marques de Carvalho
Laura Hecker de Carvalho
Regina Coeli Marques de Carvalho
Maria de Fátima Marques de Carvalho

SUMÁRIO

Introdução Geral	01
I. Energia e Sociedade	02
I.1 Introdução	02
I.2 Evolução dos Usos Energéticos	02
I.3 A Questão Energética no Brasil	04
I.4 Conclusão	08
II. Energia e Desenvolvimento	10
II.1 Introdução	10
II.2 Planejamento Energético e (Sub)Desenvolvimento	10
II.3 Planejamento Energético e Pressupostos para o Desenvolvimento	12
II.4 Planejamento Energético Municipal	13
II.5 A Experiência dos Municípios do Rio Grande do Sul	15
II.6 Conclusão	17
III. Balanço Energético do Município de Campina Grande (1990)	18
III.1 Introdução	18
III.2 Energia Elétrica	19
III.3 Derivados de Petróleo e Alcool	30
III.4 Biomassa	32
III.5 Balanço Energético	34
III.6 Conclusão	37
IV. Alternativas Energéticas para o Município de Campina Grande	38
IV.1 Introdução	38
IV.2 Gás Natural	38
IV.2.1 Conceituação	39
IV.2.2 Produção, Consumo e Reservas de Gás Natural	40
IV.2.3 Vantagens do Uso do Gás Natural	44
IV.2.4 Obstáculos para Uso do Gás Natural	49
IV.2.5 Potencial de Utilização de Gás Natural no Município de Campina Grande	50
IV.3 Biomassa	53

IV.3.1	Conceituação	53
IV.3.2	Sistemas de Conversão da Energia da Biomassa	53
IV.3.3	Biomassa no Mundo	57
IV.3.4	Biomassa no Brasil	59
IV.3.5	Potencial para Conversão da Energia da Biomassa no Município de Campina Grande	59
IV.4	Energia Eólica	62
IV.4.1	Conceituação	62
IV.4.2	Sistemas de Conversão de Energia Eólica (SCEE)	63
IV.4.3	Energia Eólica no Mundo	67
IV.4.4	Energia Eólica no Brasil	69
IV.4.5	Potencial para Instalação de SCEE no Município de Campina Grande	70
IV.5	Energia Solar	77
IV.5.1	Fundamentos	77
IV.5.2	Conversão da Energia Solar	80
IV.5.3	Energia Solar no Mundo	86
IV.5.4	Energia Solar no Brasil	87
IV.5.5	Potencial para Utilização de Energia Solar no Município de Campina Grande	87
IV.6	Conclusão	96
V.	Conclusão Geral	98
	Bibliografia	100

ÍNDICE DE FIGURAS, TABELAS, GRÁFICOS E MAPAS

FIGURA IV.1 - Biodigestor modelo indiano	58
FIGURA IV.2 - Biodigestor modelo chinês	58
FIGURA IV.3 - Cálculo da saída de energia de um sistema eólico através da distribuição de frequência de velocidade de um regime de vento	65
FIGURA IV.4 - escoamento de ar através da seção transversal de um tubo de corrente	65
FIGURA IV.5 - Tipos de turbinas e licas e respectivos desempenhos	
FIGURA IV.6 - Valores de radiação solar total no Mundo - médias diárias em janeiro	81
FIGURA IV.7 - Valores de radiação solar total no Mundo - médias diárias em julho	81
TABELA I.1 - Estrutura do consumo de energia no Brasil (%) (1941 - 1989)	07
TABELA III.1 - Consumo mensal de energia elétrica do setor residencial de Campina Grande (1985 - 1990)	21
TABELA III.2 - Consumo mensal de energia elétrica do setor industrial de Campina Grande (1985 - 1990)	22
TABELA III.3 - Consumo mensal de energia elétrica do setor comercial de Campina Grande (1985 - 1990)	24
TABELA III.4 - Consumo mensal de energia elétrica do setor público de Campina Grande (1985 - 1990)	25
TABELA III.5 - Consumo mensal de energia elétrica do setor rural de Campina Grande (1985 - 1990)	27
TABELA III.6 - Consumo de gás liquefeito de petróleo em Campina Grande (1987 - 1990)	31
TABELA III.7 - Consumo energético do município de Campina Grande (1990)	35
TABELA IV.1 - Tipos de gás natural no Mundo: composição % molar (volumétrica)	40
TABELA IV.2 - Produção e consumo de gás natural no Brasil	41
TABELA IV.3 - Reservas brasileiras de gás natural	41

TABELA IV.4 - Características físico-químicas do gás natural do Rio Grande do Norte	42
TABELA IV.5 - Redução na emissão de poluentes na região metropolitana de São Paulo com o uso de gás natural	46
TABELA IV.6 - Nível de emissões dos motores a gás natural e o limite estabelecido pelo PROCONVE para motores diesel	48
TABELA IV.7 - Desempenho dos ônibus movidos a gás natural	49
TABELA IV.8 - Consumo energético mensal de caldeiras e fornos do setor industrial de Campina Grande	51
TABELA IV.9 - Consumo potencial mensal de gás natural em substituição a combustíveis utilizados no município de Campina Grande	51
TABELA IV.10 - Produção de biogás a partir de esterco animal .	55
TABELA IV.11 - Produção de biogás a partir de resíduos agrícolas e florestais	56
TABELA IV.12 - Equivalência energética de 1 m ³ de biogás	56
TABELA IV.13 - Consumo médio de biogás	56
TABELA IV.14 - Produção agrícola - município de Campina Grande (1988)	60
TABELA IV.15 - Produção pecuária - município de Campina Grande (1988)	61
TABELA IV.16 - Potencial de geração de biogás - município de Campina Grande	61
TABELA IV.17 - Equivalência energética da produção diária de biogás - município de Campina Grande	61
TABELA IV.18 - Valores de potência eólica - município de Campina Grande	71
TABELA IV.19 - Valores de velocidade do vento - município de Campina Grande	75
TABELA IV.20 - Probabilidade de calmaria para cinco cidades do estado da Paraíba: São Gonçalo, Patos, Monteiro, Campina Grande e João Pessoa	78
TABELA IV.21 - Relação entre a área de um coletor plano e a temperatura de utilização (T ₀) de 1 ton de água inicialmente a 25° C	84
TABELA IV.22 - Valores de radiação global diária - município de Campina Grande	88

TABELA IV.23 - Valores de radiação difusa - município de Campina Grande	90
TABELA IV.24 - Participação da componente difusa em relação à radiação global (%) - município de Campina Grande	89
TABELA IV.25 - Valores de insolação efetiva diária - município de Campina Grande	93
TABELA IV.26 - Valores de insolação difusa diária - município de Campina Grande	94
GRÁFICO III.1 - Consumo mensal de energia elétrica do setor residencial de Campina Grande (1985 - 1990)	21
GRÁFICO III.2 - Consumo mensal de energia elétrica do setor industrial de Campina Grande (1985 - 1990)	22
GRÁFICO III.3 - Consumo mensal de energia elétrica do setor comercial de Campina Grande (1985 - 1990)	24
GRÁFICO III.4 - Consumo mensal de energia elétrica do setor público de Campina Grande (1985 - 1990)	25
GRÁFICO III.5 - Consumo mensal de energia elétrica do setor rural de Campina Grande (1985 - 1990)	27
GRÁFICO III.6 - Consumo mensal de energia elétrica dos diversos setores de Campina Grande (1985 - 1990)	28
GRÁFICO III.7 - Participação no consumo total de energia elétrica dos diversos setores de Campina Grande em 1985	29
GRÁFICO III.8 - Participação no consumo total de energia elétrica dos diversos setores de Campina Grande em 1990	29
GRÁFICO III.9 - Consumo de gás liquefeito de petróleo em Campina Grande (1987 - 1990)	31
GRÁFICO III.10 - Participação no consumo total de energia de diversas fontes em Campina Grande (1990)	36
MAPA IV.1 - Gasoduto proposto para Campina Grande	52
MAPA IV.2 - Média anual dos valores de potência eólica para a região Nordeste do Brasil	74
MAPA IV.3 - Isolinhas de velocidade média para a região Nordeste do Brasil	76
MAPA IV.4 - Probabilidade de calmaria anual para a região Nordeste do Brasil	79

MAPA IV.5 - Radiação solar global média para a região Nordeste do	
Brasil	91
MAPA IV.6 - Insolação média diária para a região Nordeste do	
Brasil	95

RESUMO

Este trabalho apresenta uma contribuição para o planejamento energético do município de Campina Grande. A proposta de um planejamento a nível municipal se insere numa estratégia mais ampla que, juntamente com ações inovadoras em outros campos, busca o caminho de um desenvolvimento autocentrado.

O primeiro passo para o planejamento energético de Campina Grande é o levantamento do seu balanço energético. Esta matriz é constituída pela eletricidade, derivados de petróleo, etanol, lenha e carvão vegetal. Um dos aspectos apresentados que desperta cuidados é a significativa participação da lenha e do carvão vegetal, cuja utilização intensiva tem acelerado a desertificação de vastas áreas, especialmente no Nordeste.

São apresentadas alternativas energéticas para o município, visando contribuir para a melhoria da qualidade de vida da população campinense. Busca-se uma integração entre sistemas centralizados e descentralizados de energia.

ABSTRACT

This work shows a contribution for the municipality energy planning of Campina Grande. The proposal of a municipality energy planning is a part of a wider strategy looking for the way of a autocentralized development, besides new actions in other fields.

The first step for the energy planning of Campina Grande is the raising of its energy balance. This matrix is composed by electricity, petroleum derivatives, ethanol, firewood and charcoal. One worrying aspect is related with the significant participation of firewood and charcoal, whose intensive utilization has led to large-scale desertification, specially in the Northeast of Brazil.

Energy alternatives for the municipality are introduced, aiming to contribute for a better life quality of its population. An integration of centralized energy systems with decentralized ones is proposed.

Perguntas de um Operário que Lê

Quem construiu a Tebas das sete portas?
Nos livros constam os nomes dos reis.
Os reis arrastaram os blocos de pedra?
E a Babilônia tantas vezes destruída
Quem a ergueu outras tantas?
Em que casas de Lima radiante de ouro
Moravam os construtores?
Para onde foram os pedreiros
Na noite em que ficou pronta a Muralha da China?
A grande Roma está cheia de arcos de triunfo.
Quem os levantou?
Sobre quem triunfaram os césaes?
A decantada Bizâncio só tinha palácios
Para seus habitantes?
Mesmo na legendária Atlântida,
Na noite em que o mar a engoliu,
Os que se afogavam gritavam pelos seus escravos.
O jovem Alexandre conquistou a Índia.
Ele sozinho?
César bateu os gauleses.
Não tinha pelo menos um cozinheiro consigo?
Felipe de Espanha chorou quando sua Armada naufragou.
Ninguém mais chorou?
Frederico II venceu a Guerra dos Sete Anos.
Quem venceu, além dele?

Uma vitória em cada página.
Quem cozinhou os banquetes da vitória?
Um grande homem a cada dez anos.
Quem pagava suas despesas?

Tantos relatos.
Tantas perguntas.

Bertolt Brecht

INTRODUÇÃO GERAL

O presente trabalho busca contribuir na elaboração de um planejamento energético para o município de Campina Grande.

No capítulo I analisa-se a relação entre a utilização da energia, em suas diversas formas, e o desenvolvimento da sociedade humana. Busca-se com isto uma melhor compreensão da influência dos setores econômico, social e tecnológico sobre o setor energético.

O capítulo II aborda a importância do planejamento energético como um elemento indispensável para uma política de desenvolvimento. Dentro deste contexto, é aprofundada a análise do papel a ser exercido por um planejamento energético a nível municipal.

No capítulo III é realizado o balanço energético de Campina Grande em 1990. O levantamento desta matriz constitui o primeiro passo para a elaboração do planejamento do setor de energia do município.

O capítulo IV propõe alternativas energéticas para o município de Campina Grande. As alternativas se dão tanto no campo dos sistemas centralizados de energia (utilização do gás natural gerado no estado do Rio Grande do Norte) quanto no campo dos sistemas descentralizados (projetos de pequeno e médio porte envolvendo o potencial da biomassa, eólico e solar).

CAPÍTULO I

ENERGIA E SOCIEDADE

I.1 - INTRODUÇÃO

No presente capítulo é feito um relato sucinto da evolução dos usos energéticos pela humanidade, desde o domínio do fogo até a atual conjuntura. Busca-se traçar uma ligação entre esta evolução e os processos sociais, econômicos e técnicos ocorridos ao longo da história.

Dentro deste contexto, aborda-se em detalhe o processo desenvolvido no Brasil. Para esta avaliação, a questão energética é considerada desde o século XVI até os nossos dias, onde se procura explicitar os desafios do presente.

I.2 - EVOLUÇÃO DOS USOS ENERGÉTICOS

O homem primitivo consumia apenas a energia armazenada nos alimentos. A primeira grande revolução energética, ocorrida por volta de 600.000 a.C., foi o domínio do fogo. Com ele o homem passou a assar os alimentos, economizando energia de seu organismo para outras atividades. A lenha tornou-se o principal combustível, sendo retirada das matas com o uso dos primeiros machados de pedra. O consumo energético por pessoa nestes tempos primitivos é estimado em dois milhões de calorias por dia (2 Mcal/dia).

A Grécia clássica incorporou a energia eólica (navegação a vela) e hidráulica (moinhos d'água) a sua matriz energética; no entanto, a abundância de escravos, fruto das frequentes guerras realizadas, desestimulou o progresso e a difusão destas novas tecnologias. O império Romano não trouxe grandes alterações à esta conjuntura, visto que também baseava sua estrutura de poder no trabalho escravo. O consumo energético per capita nesta época somava cerca de 16 Mcal/dia.

As novas relações sociais surgidas no feudalismo, com o fim da escravidão, evidenciaram a necessidade de se desenvolverem técnicas energéticas com rendimentos mais elevados. Houve o melhoramento e a maior difusão de rodas d'água, moinhos de vento e de sistemas baseados na tração animal. A lenha continuou sendo o principal combustível para produção de calor. "O deslocamento da força humana pelas energias naturais foi um longo processo que teve início na Idade Média e culminou na Revolução Industrial" (Oliveira, 1987). O consumo humano de energia era em torno de 26 Mcal/dia.

O desenvolvimento das manufaturas no século XVI lançou as bases do capitalismo comercial. Esta revolução na economia necessitou de quantidades de energia cada vez maiores para sua sustentação, que não podia mais ser baseada nas fontes energéticas que serviram ao modelo feudal. A Inglaterra iniciou este processo de substituição, deixando de produzir carvão vegetal das poucas florestas que ainda restavam e passando a explorar as grandes reservas de carvão mineral existentes em seu subsolo. "O carvão mineral teve papel central na Revolução Industrial. Permitiu a produção maciça de ferro e libertou a sociedade industrial das variações do fluxo das águas e do vento, assim como do ciclo natural de reprodução dos cavalos e das florestas" (Oliveira, 1987).

A difusão acelerada da máquina a vapor garantiu a hegemonia do modo de produção capitalista por todo o Mundo. No final do século XIX, o consumo per capita de todas as formas de energia é estimado em 77 Mcal/dia.

A ampla utilização da máquina a vapor pelo Mundo fez com que ficassem evidenciadas as limitações técnicas desta conquista da Revolução Industrial. Os maiores empecilhos estavam relacionados ao seu grande volume, alto custo de instalação, baixo rendimento e manutenção difícil. Dois acontecimentos, ainda no século XIX, ofereceram novas perspectivas à trajetória energética da humanidade: em 1859, a perfuração do primeiro poço de petróleo nos Estados Unidos da América e o posterior desenvolvimento, na Alemanha, dos motores a combustão interna, Otto e Diesel, que utilizam como combustível os derivados de petróleo.

Outro fato marcante foi a utilização em larga escala da energia elétrica, que inicialmente era gerada em sua quase totalidade através de centrais térmicas. Graças a ela, tornou-se possível a geração de quantidades elevadas de energia, seu transporte a longas distâncias, sua distribuição e por fim sua conversão em força motriz de uma forma inovadora.

Os derivados de petróleo e a energia elétrica têm influenciado de maneira significativa a estrutura socioeconômica da sociedade do século XX. "Do início do século até a crise de 1973, o consumo de petróleo cresceu a uma taxa média anual de 7%. Em 1968, os hidrocarbonetos (petróleo e gás natural) já representavam mais de 61,1% do consumo energético mundial" (Oliveira, 1987). O consumo per capita de energia é estimado em 230 Mcal/dia.

No início da década de 1970, a súbita elevação do preço do barril de petróleo no mercado internacional colocou em evidência as debilidades do sistema energético até então adotado (Contreras, 1988). A economia dos países subdesenvolvidos importadores de petróleo entrou em crise e os países industrializados colocaram as esperanças em um novo combustível: a energia nuclear. Com esta visão, grandes empresas energéticas iniciaram a implantação de centrais nucleares por todo o Mundo.

O sonho da energia nuclear se transformou no pesadelo nuclear com os acidentes ocorridos nas usinas de Three Mile Island (EUA) e Chernobyl (URSS). Paralelamente, vem crescendo em todo o Mundo uma consciência ambientalista a favor de fontes de energia não poluentes.

I.3 - A QUESTÃO ENERGÉTICA NO BRASIL

Os povos que habitavam o Brasil quando da chegada das primeiras expedições portuguesas possuíam o domínio do fogo e faziam uso da lenha como combustível, visando preparação de alimentos, aquecimento, iluminação e, em algumas culturas mais avançadas, para cozimento de objetos feitos de argila. Por outro lado, a sociedade portuguesa na época apresentava um grau de desenvolvimento bastante superior. Faziam uso da lenha, utilizavam a força de cavalos e bois para transporte de cargas e

individual, conheciam o potencial de óleos combustíveis animais (baleia) para iluminação. Todavia, foi no aprimoramento do uso da energia eólica, através da construção de caravelas, que Portugal se firmou no século XVI como uma das maiores potências do Mundo.

Visando garantir a posse do território brasileiro e instalar uma infraestrutura que garantisse o processo de acumulação de capital, foi implantada pelos portugueses a agroindústria da cana de açúcar. A instalação dos primeiros engenhos representou um enorme salto na evolução energética brasileira (Barbalho, 1987). Ao lado do aumento significativo do consumo de lenha, foi difundida a utilização de animais (bois, cavalos e muires) e de uma nova fonte energética, a hidráulica, através das rodas d'água. No entanto, todo este processo produtivo tinha como fonte primária de energia, antes de mais nada, a energia muscular humana através da escravidão de povos africanos. A entrada de escravos no Brasil, do século XVI ao século XVIII, é estimada em 2.000.000 de africanos (Alencar, 1985).

Outras fontes de energia e combustíveis foram utilizados nestes primeiros tempos. A energia dos ventos era empregada na navegação marítima. Para resolver o problema de iluminação, foi difundido o emprego de óleos de origem animal (peixe-boi e baleia). A energia solar se fez presente na secagem a céu aberto de grãos e produtos de extração vegetal e na preparação de couros e carnes. Esta conjuntura energética permaneceu sem grandes alterações durante aproximadamente três séculos (séculos XVI a XVIII). O caráter do Estado português se empenhou neste sentido; prova maior disto foi o decreto de 1785 que ordenava a proibição de fábricas, manufaturas e teares no território brasileiro.

Em meados do século XIX, a entrada em cena da locomotiva a vapor e da iluminação pública com o uso do gás de carvão levaram à introdução do carvão mineral na matriz energética brasileira. Vale salientar que todo o carvão consumido era importado da Inglaterra, pois nada se explorava do potencial brasileiro. Outra novidade deste período foi a utilização cada vez maior nos engenhos do bagaço de cana, substituindo a lenha que começava a escassear devido à devastação das matas.

Outro acontecimento importante foi a chegada, na década de

1870, da energia elétrica, que inicialmente ficou mais restrita ao setor de iluminação em substituição ao gás; como fontes primárias para geração de eletricidade foram utilizadas a energia hidráulica e o carvão mineral.

Com o desenvolvimento dos motores Otto e Diesel no final do século na Alemanha, ocorreu uma nova revolução nos transportes no Brasil com a importação dos primeiros veículos automotores.

Em 1941, a matriz energética brasileira era marcada pelo domínio dos combustíveis de origem vegetal (biomassa) representados pela lenha, carvão vegetal, bagaço de cana e etanol (cerca de 77% do consumo total de energia). Em segundo lugar, vinham os combustíveis de origem fóssil, que são os derivados de petróleo e o carvão mineral (cerca de 16% do total). Por último, a energia elétrica de origem hídrica com uma participação em torno de 7%.

As primeiras perfurações de poços de petróleo ocorreram na Bahia na década de 1930. Apesar do pequeno potencial revelado, o país cedeu às pressões internacionais e passou a consumir quantidades cada vez maiores de derivados de petróleo. Esta tendência foi consolidada na década de 1950 com a introdução no Brasil da indústria automobilística.

Outra alteração significativa na matriz energética brasileira tem sido a participação crescente da energia elétrica de origem hídrica, gerada em usinas de grande porte a partir da década de 1950 (Branco, 1975).

"Sem passar pela civilização do carvão, fruto da Revolução Industrial do século XVIII, o Brasil precipitou-se, já na segunda metade do século XX, na civilização do petróleo e da eletricidade, cujo berço, por sua vez, é a Segunda Revolução Industrial ocorrida nos EUA e Alemanha em fins do século XIX. Respondendo às exigências de uma industrialização retardatária, efetivada sob a égide de grandes empresas multinacionais e desprovida de autonomia tecnológica, o setor energético haveria igualmente de percorrer um caminho próprio..." (Calabi et alii, 1983).

A súbita elevação do preço do barril do petróleo em 1973 colocou em crise o modelo energético brasileiro. Para enfrentar

esta conjuntura, foi lançado o PROALCOOL, visando a produção de álcool da cana de açúcar para substituição da gasolina.

A estrutura do consumo de energia no Brasil, no período de 1941 a 1989, é apresentada na tabela I.1:

Tabela I.1 - Estrutura do Consumo de Energia no Brasil (%)
(1941 - 1989)

	combustíveis fósseis	biomassa	energia hidrelétrica
1941	16,2	76,8	7,0
1946	20,9	71,2	7,9
1952	34,1	54,7	11,2
1957	39,9	45,3	14,8
1962	42,7	43,2	14,1
1967	38,0	45,5	16,5
1973	47,1	31,0	21,9
1979	45,9	28,2	25,2
1984	39,6	30,0	29,5
1989	39,3	26,7	33,0

FONTE: Calabi et alli, 1983
MINFRA, 1990

A atual realidade energética do Brasil se caracteriza por uma série de desafios:

a) o Programa Nuclear, iniciado na década de 1980 com a usina Angra I, encontra-se paralisado em função de dificuldades técnicas e financeiras. Somado à isto, pressões ambientalistas cada vez mais fortes por parte da sociedade condenam este tipo de energia;

b) a energia hidráulica (33% do consumo total de energia em 1989) se encontra com o potencial das grandes bacias hidrográficas das regiões Nordeste, Sudeste e Sul quase que totalmente explorado. Para superar esta limitação, segundo o "PLANO 2010" da ELETROBRAS, está prevista a construção de grandes hidrelétricas na região Amazônica. A concretização deste plano se torna difícil, na medida em que os organismos internacionais de financiamento não destinam verbas para obras que tragam danos ambientais. Os rios da Amazônia são de planície, e a construção

de barragens de grande porte na região traz inevitavelmente a inundação de imensas áreas. O exemplo mais concreto deste fato foi a tragédia ecológica ocorrida na hidrelétrica de Balbina (Fearnside, 1990);

c) apesar da participação da lenha no consumo energético ter diminuída de 32,6% em 1974 para 17,2% em 1989, a mesma ainda ocupa papel de destaque no país, principalmente no Nordeste. Apesar disto, não há uma política de reflorestamento em vigor e toda a lenha consumida é retirada de matas nativas. Esta conjuntura traz como consequência a aceleração de processos erosivos que levam à desertificação de grandes áreas, tornando-as improdutivas para a agricultura;

d) a produção de álcool da cana de açúcar, refletindo o quadro de concentração da terra no país, se baseia em grandes destilarias localizadas em latifúndios. Este quadro incrementa o processo do êxodo rural, além de reduzir as áreas agrícolas para produção de alimentos;

e) apesar da PETROBRAS estar prevendo para esta década a auto-suficiência em petróleo, grande parte das reservas brasileiras se localiza abaixo do mar, em profundidades que chegam a 1.500 metros. Para a exploração deste potencial, são necessários grandes investimentos financeiros (Breitinger, 1991).

I.4 - CONCLUSÃO

Neste capítulo foi apresentada, de forma sucinta, a evolução dos usos energéticos pela humanidade. Buscou-se um maior aprofundamento no processo desenvolvido no Brasil.

A principal conclusão é que as diferentes formas de utilização da energia pelo homem sempre tiveram uma estreita relação com o nível de desenvolvimento econômico, social e tecnológico da humanidade. Apesar do consumo médio per capita de energia no presente ser estimado em 230 Mcal/dia, existe uma grande diferença entre os valores encontrados nos países ricos e os verificados no chamado Terceiro Mundo.

Outro aspecto importante se refere ao tipo de fonte de energia utilizada. Desde sua origem até o século XVIII, a

humanidade utilizou fontes renováveis de energia, baseadas na lenha, vento e água. A partir da Revolução Industrial até os nossos dias, a matriz energética mundial tem sido hegemônica pelas fontes não renováveis de energia (carvão mineral, petróleo, gás natural e combustíveis nucleares).

Na atual conjuntura, a inundação de grandes áreas por hidrelétricas, a contaminação radioativa e a poluição atmosférica tem feito crescer as pressões da sociedade em busca de fontes energéticas que reduzam ao mínimo os danos ao meio ambiente. Entre estas, a difusão e o aperfeiçoamento do uso da energia solar, eólica, da biomassa e do hidrogênio tem sido alvo de pesquisa da comunidade científica mundial.

No caso brasileiro, a atual matriz energética é hegemônica por sistemas centralizados, representados por projetos de grande porte e de altos custos de instalação e operação (grandes usinas hidrelétricas, derivados de petróleo, produção de álcool em grandes destilarias). Com isto, foi secundarizada a importância dos sistemas descentralizados de energia, através de projetos de pequeno e médio porte com centrais hidrelétricas, biomassa, energia solar e eólica. Fica constatado, portanto, a necessidade do desenvolvimento de metodologias de planejamento energético que busquem a integração dos sistemas centralizados de energia aos descentralizados. Esta pesquisa deve desenvolver os aspectos positivos que ambos os sistemas apresentam, ao mesmo tempo que procure reduzir suas características danosas.

CAPÍTULO II

ENERGIA E DESENVOLVIMENTO

II.1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo é analisada a necessidade e a importância do planejamento energético. Partindo desta visão, são descritas as relações entre o setor energético e as características do subdesenvolvimento que afeta no presente parcelas significativas da humanidade.

São apresentadas estratégias de ação como pressupostos básicos para o desenvolvimento. Entre estas, merecem destaque os estudos de caso. No contexto destes estudos, é analisado o planejamento energético municipal.

A experiência pioneira no Brasil de planejamento energético municipal, realizada no estado do Rio Grande do Sul, é relatada em seus aspectos mais significativos.

II.2 - PLANEJAMENTO ENERGÉTICO E (SUB)DESENVOLVIMENTO

O Planejamento Energético se justifica na medida em que a energia é ingrediente fundamental para todas as atividades humanas e para sua própria sobrevivência. A energia é, portanto, um meio para se satisfazerem necessidades, nunca um fim.

O tratamento dispensado à questão energética na maioria dos países subdesenvolvidos, e em particular no Brasil, possui a característica de, na maior parte dos casos, ter sido uma mera transposição mecânica de processos desenvolvidos nos países desenvolvidos. Foram postos em segundo plano (ou mesmo esquecidos) os traços específicos de nossa realidade, determinados por fatores geográficos, históricos, culturais, etc...

O ponto de partida foi a premissa errônea de que se determinadas etapas levaram alguns países ao desenvolvimento, a

implementação destas mesmas etapas no restante dos países do Mundo os levaria também ao desenvolvimento. A história mostrou que a obediência a este falso pressuposto, na realidade, apenas aprofundou o estado de miséria de considerável parcela da humanidade.

Quais são as características deste subdesenvolvimento e quais as ligações com o setor energético? Os traços gerais são (Energia e Desenvolvimento, 1986):

a) Dependência

"No interior do sistema econômico mundial, o subdesenvolvimento de uns está ligado ao desenvolvimento de outros por um processo histórico, que conduz hoje a um conjunto de relações econômicas, comerciais, políticas, financeiras e culturais. O contrário da dependência não é a autonomia, mas a recuperação progressiva, pelos países, das possibilidades de tomar decisões autônomas, as quais se encontram hoje, em número relevante, no exterior".

b) Desarticulação interna

"... entre os diversos setores (agricultura, indústria, energia) e, dentro de cada um deles, entre as diversas unidades que têm modos de produção, tecnologias e, em consequência, produtividades diferentes. Frequentemente, a desarticulação não se reduz com o crescimento, ao contrário, ela se aprofunda".

c) Desigualdades entre grupos sociais e regiões geográficas

Na maior parte dos países subdesenvolvidos existem regiões que sofrem as consequências de uma dupla dependência: externa e de outras regiões mais desenvolvidas dentro do próprio país. Somado a isto, enquanto uma parcela diminuta da população possui níveis elevados de consumo energético, a grande maioria apresenta baixas taxas e o uso de combustíveis tradicionais com rendimento insatisfatório.

d) Má administração dos ecossistemas

"... ameaça os recursos naturais (água, florestas, solos), chegando mesmo a pôr em perigo as possibilidades de sobrevivência das populações. ... a tensão advinda de requerimentos crescentes, tanto urbanos quanto rurais, conduziu a uma verdadeira 'crise da lenha', crise que muitos observadores julgam muito mais grave

para os países afetados que a crise do petróleo".

Uma das primeiras dificuldades encontradas pelo planejador nesta área, portanto, é a definição de instrumentos de conhecimento e de ação voltados para a sua realidade (seja a nível local, regional ou nacional). Esta definição certamente não é tarefa simples. A complexidade dos problemas energéticos é função da importância que a energia tem na vida dos homens.

Ao observarmos a trajetória de alguns países que alcançaram a posição de desenvolvidos no mundo de hoje, veremos que, entre outros fatores, isto se deveu em grande parte à construção de um modelo que buscava aproveitar ao máximo os recursos energéticos próprios que cada um destes países possuía. Exemplos disto são a Inglaterra e os Estados Unidos. Enquanto o primeiro iniciou a chamada Revolução Industrial à base de suas jazidas de carvão mineral, o segundo construiu seu crescimento sustentado pelas suas reservas de petróleo.

Fica constatado, portanto, a importância do levantamento e utilização do potencial energético intrínseco a cada país. Esta perspectiva se amplia quando tratamos com a realidade dos países subdesenvolvidos, pois nestes países os sistemas energéticos que venham a ser adotados terão influência decisiva sobre o caminho que possibilite o desenvolvimento.

Este procedimento conduz, entre outras consequências, à derrubada de conceitos como a divisão do mundo em "países ricos" e "países pobres". Na realidade, o que existe são países que, entre outros fatores, souberam aproveitar seus próprios recursos e de outro lado países que, entre outras características, basearam seu modelo de (sub)desenvolvimento em combustíveis importados, deixando à margem grandes potenciais internos. Isto ficou evidente na década de 1970 com a chamada crise do petróleo, quando o quadro de dependência externa deste energético levou a economia de diversos países ao colapso.

II.3 - PLANEJAMENTO ENERGÉTICO E PRESSUPOSTOS PARA O DESENVOLVIMENTO

Dentro do quadro preocupante apresentado, torna-se imediata

a discussão de um planejamento energético que contribua, juntamente com as alterações em outros setores (econômico, social e político), para o desenvolvimento de regiões do Planeta que hoje abrigam a maior parcela da humanidade.

Alguns passos isolados foram dados em alguns destes países. A valorização de recursos próprios foi verificada na China (carvão e biomassa), Índia (carvão e biomassa) e Brasil (hidreletricidade e biomassa). Algumas estratégias fundamentais ainda carecem de implementação ou de aperfeiçoamento:

- a) criar as condições para um desenvolvimento autocentrado, endógeno, autodeterminado;
- b) estudar a questão energética como parte integrante dos subsistemas econômico e social;
- c) integrar os setores rural-urbano, agricultura-indústria, tradicional-moderno e outros que necessitem de um trabalho mais harmonizado;
- d) superar os limites impostos pelo uso de tecnologias predominantes, na maior parte dos casos, devido às pressões de grandes grupos econômicos e otimizar fontes de energia tradicionais e/ou utilizar novas fontes;
- e) explicitar as relações existentes entre as diversas fontes de energia, estabelecendo possibilidades de substituição e de transformação das mesmas;
- f) promover os estudos de caso, e com isso:
 - destacar certas relações entre os aspectos energéticos, econômicos, sociais e culturais que ficam em plano secundário quando da realização das análises macroeconômicas;
 - avaliar melhor a importância dos subsistemas centralizados e descentralizados de energia.

II.4 - PLANEJAMENTO ENERGÉTICO MUNICIPAL

Dentro da ótica dos estudos de caso é que encontraremos a importância e necessidade do planejamento energético municipal. Um planejamento que tenha como objetivo traçar um balanço energético do município e ao mesmo tempo elaborar uma política de valorização de recursos energéticos próprios, muitas vezes

desprezados ou mesmo ignorados por suas comunidades. Estes recursos energéticos seriam a base da construção de uma infraestrutura a nível municipal, gerando empregos e melhores condições de vida, permitindo ao homem se fixar em sua própria comunidade. Um dos maiores problemas da atual conjuntura brasileira, que é o êxodo rural, poderia desta forma ser minimizado. Esta questão tem mostrado sua face em especial nas grandes cidades do nosso País, onde milhares de pessoas vivem em favelas sem as mínimas condições de habitação, contribuindo de forma decisiva para a escalada da violência urbana. Se torna urgente, portanto, concretizar ações que busquem reduzir os malefícios de um quadro de dupla dependência (interna e externa) a que estão submetidos a quase totalidade dos municípios brasileiros, procurando um desenvolvimento autocentrado. O planejamento energético constitui apenas um dos elementos a serem considerados, devendo estas ações inovadoras serem realizadas também nos campos político, econômico, social, ecológico, etc... A integração de todas estas ações deve ter como objetivo final o ser humano, que através de sua conscientização poderá traçar novos caminhos para a humanidade.

A necessidade do planejamento energético a nível municipal se torna evidente quando tratamos com a realidade de um país como o Brasil. Chamado acertadamente por muitos como "país continental", o Brasil possui vários "países" em seu interior, que se diferenciam em suas características geográficas, históricas, culturais e sociais, além do grau de desenvolvimento econômico. Dentro destes "países" (estados), a diferenciação se configura na realidade das microregiões (municípios) existentes.

O conhecimento do quadro energético destas múltiplas microregiões é, portanto, de extrema importância, seja a nível nacional (fornecendo dados não revelados nos balanços clássicos, em especial no que se refere aos usos energéticos da biomassa), seja a nível local. "... os estudos de caso podem ser diretamente utilizados para esclarecer as decisões concernentes aos pequenos projetos locais e para estimular e elucidar a ação das comunidades locais em favor de seu próprio desenvolvimento" (Energia e Desenvolvimento, 1986). Fica assim proposta uma nova

visão da matriz energética brasileira, formada por elementos diversos que exigem instrumentos de análise específicos para cada situação em particular ("pensar globalmente para agir localmente").

II.5 - A EXPERIÊNCIA DOS MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL

Dentro desta nova visão de planejamento energético a nível municipal, o pioneirismo no Brasil (e até agora a única experiência divulgada) cabe ao Rio Grande do Sul. Os fatores que motivaram este tipo de empreendimento se fundamentam basicamente nos campos político e econômico. No campo político, dada a maior responsabilidade que hoje cabe aos municípios em consequência da descentralização garantida pela nova Constituição Federal. No campo econômico, devido a necessidade de alternativas energéticas de médio e baixo custo com tempo de retorno do investimento menor e localizadas a nível da própria comunidade a ser beneficiada. Em outras palavras, se busca o desenvolvimento autocentrado.

O início deste processo se deu no ano de 1987, quando foi proposta a criação das Comissões Municipais de Energia e Proteção Ambiental (Bristoti e Adams, 1990). A principal função destas Comissões tem sido articular os sistemas econômico, social, ecológico e energético do município, visando o desenvolvimento harmônico e a descentralização, a energização e a industrialização de vilas, distritos e do meio rural em geral, preservando os ecossistemas e evitando o êxodo rural.

A necessidade de implantação destas Comissões foi verificada quando da realização do seminário "RGS - Energia para o ano 2000" que foi reproduzido nos principais municípios do Estado entre outubro de 1987 e junho de 1988. O seminário abordou os aspectos técnicos e econômicos das principais fontes energéticas e suas implicações nos setores urbano e rural, assim como os seus efeitos sobre o meio ambiente.

Devido ao grande número de municípios interessados no planejamento energético como parte do planejamento municipal, foi proposto um programa de treinamento que numa primeira fase se materializou através de um "curso de especialização em

planejamento energético a nível municipal, visando ao mesmo tempo desenvolver um programa de treinamento de técnicos a nível de pós-graduação e realizar de forma prática e assistida um planejamento nos municípios envolvidos no programa" (Bristoti e Adams, 1990).

Um dos pontos deste programa lidou com a construção de cenários. Uma das perspectivas trabalhou com um crescimento econômico de 5% ao ano, apontando para a importância da energia alternativa no consumo global no ano 2000 para o Estado do Rio Grande do Sul. Pretende-se alcançar as seguintes metas:

- energia elétrica: de uma potência instalada no Estado de 1600 MW (importando em torno de 50%), pretende-se chegar a uma potência instalada de 4000 MW no ano 2000 (importando cerca de 45%);
- derivados de petróleo: redução significativa do consumo baseada em um aumento considerável da produção local de álcool, através de pequenas destilarias (Bristoti e Adams, 1987);
- lenha: embora mantendo o mesmo percentual, sua produção deverá aumentar aproximadamente 2,5 vezes; isto exigirá ações concretas visando o reflorestamento, pois na atual conjuntura no Estado são utilizados 100 mil ha/ano de florestas e há a reposição de apenas 50 mil ha/ano. Nos municípios do interior, dependendo de sua localização, chega-se a ter uma participação da lenha no consumo total de energia variando entre 40 e 60% (Bristoti e Silveira, 1990);
- carvão fóssil: o aumento de sua participação se deverá à importante contribuição que receberá do carvão vapor, subproduto do carvão metalúrgico;
- outras fontes: incremento na utilização de alternativas energéticas tais como pequenas centrais hidrelétricas, energia eólica, energia solar direta, além da conservação e do uso de gás natural proveniente da Argentina;

Visando assegurar a continuidade de todo este trabalho, um passo significativo foi dado através da assinatura de protocolos integrando os principais grupos de instituições:

- a) protocolo firmado entre o Governo do Estado do Rio Grande do Sul e os Municípios, segundo o qual o Governo do Estado destinará

recursos provenientes do tesouro estadual, de forma paritária com os investimentos efetivados pelo setor público municipal em projetos envolvendo fontes alternativas de energia. Uma comissão será responsável por avaliar e promover a alocação dos recursos.

b) protocolo entre as Associações de Municípios regionais, as Instituições de Ensino Superior do interior do Estado e a iniciativa privada, com o objetivo de desenvolver fontes alternativas de energia, suas transformações e usos, conjugado à respectiva proteção ambiental;

c) protocolo entre o Governo do Estado, através de suas diversas secretarias ligadas direta ou indiretamente com a questão energética, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul e todas as IES do Estado que desejarem participar, visando a criação de uma Rede Estadual de Pesquisa e Extensão em Energia e Proteção Ambiental.

Outro passo importante foi dado através da ação conjunta da CENERGS com o Núcleo de Energia da UFRGS, no que diz respeito à elaboração de leis orgânicas municipais no setor energético e seus desdobramentos em especial no campo ecológico.

II.6 - CONCLUSÃO

A concepção errônea da existência de um modelo único de desenvolvimento para todos os países tem condenado parcelas significativas da humanidade à miséria. Um dos desafios do presente constitui, portanto, a definição de instrumentos de conhecimento e de ação que busquem a valorização dos recursos energéticos próprios dos países subdesenvolvidos. Seguindo este raciocínio, conclui-se que a crise energética existe porque há uma crise no paradigma de (sub)desenvolvimento adotado, e não o contrário.

A implementação de um planejamento energético a nível municipal pode contribuir na construção de um modelo de desenvolvimento autodeterminado.

CAPÍTULO III

BALANÇO ENERGÉTICO DO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE (1990)

III.1 - INTRODUÇÃO

No presente capítulo é realizado o balanço energético do município de Campina Grande para o ano de 1990. O conhecimento desta matriz constitui o primeiro passo para a efetivação do planejamento energético municipal.

São abordadas as seguintes fontes de energia: energia elétrica, derivados de petróleo, etanol, lenha e carvão vegetal.

Os valores de massa específica e poder calorífico para as diversas fontes foram obtidas do Balanço Energético Nacional (1990). Para a massa específica:

gás liquefeito de petróleo	554 kg/m ³
óleo diesel	852 "
óleo combustível	997 "
álcool etílico hidratado	809 "
gasolina automotiva	744 "
lenha comercial	390 "
carvão vegetal	250 "

Os valores do poder calorífico são:

eletricidade	3.132 kcal/kWh
gás liquefeito de petróleo	11.730 kcal/kg
óleo diesel	10.810 "
óleo combustível	10.090 "
álcool etílico hidratado	6.650 "
gasolina automotiva	11.200 "
lenha comercial	3.300 "
carvão vegetal	6.800 "

O valor de 1 tonelada equivalente de petróleo é igual a 10.800 Mcal. Os valores do poder calorífico acima citados representam o potencial energético máximo contido em cada combustível. Em uma situação prática, deve-se levar em consideração os rendimentos inerentes à tecnologia de

transformação empregada.

III.2 - ENERGIA ELÉTRICA

O primeiro componente a ser analisado da matriz energética do município de Campina Grande é a energia elétrica. Numa perspectiva histórica a energia elétrica em Campina Grande teve a seguinte evolução:

1920 - chegada da energia elétrica ao Município, com a iluminação pública das principais ruas gerada por meio de motores a diesel;

1940 - a administração pública municipal assume o controle da prestação do serviço, constituindo o SEM - Serviços Elétricos Municipais;

1956 - Campina Grande passa a receber energia da Companhia Hidroelétrica do São Francisco - CHESF;

1966 - Criação da Companhia de Eletricidade da Borborema - CELB, empresa de economia mista municipal.

Além do município de Campina Grande, a CELB atende também os municípios de Massaranduba, Queimadas, Lagoa Seca e Fagundes. Tomando como referência o ano de 1990, Campina Grande representa em média 94% do consumo da energia elétrica distribuída pela CELB. A capacidade instalada de transformação 13.800/380/220 para Campina Grande é de 80.000 KVA estando dividida em três subestações:

Campina Grande 01	35.000 KVA
Campina Grande 02	25.000 KVA
Bela Vista	20.000 KVA

Considerando o período de 1985 - 1990, o Município de Campina Grande apresentou o seguinte histórico em seu consumo de energia elétrica, com um crescimento médio neste período de 23%:

1985	148.017 MWh
1986	158.327 "
1987	142.104 "
1988	155.756 "
1989	169.370 "
1990	181.713 "

Visando facilitar esta análise, o consumo de energia elétrica foi dividido em setores com base na sua destinação final. Com o objetivo de se ter uma avaliação de tendências de comportamento

ao longo destes diversos setores, o período temporal estendeu-se de 1985 a 1990 com os valores de consumo fornecidos mês a mês (Companhia de Eletricidade da Borborema, 1991).

a) setor residencial

Os valores do consumo mensal de energia elétrica para o setor residencial no período 1985-1990 são fornecidos no gráfico III.1 e na tabela III.1.

De um modo geral, a curva de consumo apresenta uma característica ascendente, com uma queda temporária registrada no ano de 1987, sendo depois retomado o crescimento. A taxa média de crescimento no período é de 53%, sendo portanto bastante superior ao crescimento médio do consumo total de energia elétrica do Município que é de 23%. Esta evolução se deve a fatores diversos, além do simples crescimento natural da população. Campina Grande se constitui um dos mais importantes centros urbanos da Região Nordeste, com atividades de destaque no campo educacional/científico, industrial e comercial. Esta influência ultrapassa as fronteiras do estado da Paraíba. Dentro desta conjuntura, a cidade atrai anualmente milhares de pessoas que buscam emprego e melhores condições de vida. Sem condições de responder a este processo de "inchamento", a cidade se vê pontilhada de favelas e com aumento da violência urbana e de um setor da economia chamado economia informal, composto por biscateiros, camelôs e vendedores ambulantes. Agravando ainda mais este quadro, dados relativos à estrutura fundiária revelam um processo de concentração da terra tanto a nível municipal quanto a nível estadual (IBGE, 1985). No município de Campina Grande, 3.602 estabelecimentos rurais (85,14% do total) possuem uma área média de 2 ha e representam ao todo 8,65% da área total. Por outro lado, 14 propriedades (0,33% do total) possuem área superior a 1.000 ha e somam no total 24.737 ha (29,74% de toda a área).

b) setor industrial

A evolução do consumo deste setor é mostrada através do gráfico III.2 e da tabela III.2. Esta evolução pode ser dividida em três momentos: um primeiro momento ascendente que vai até 1986, uma segunda etapa caracterizada por uma queda no consumo

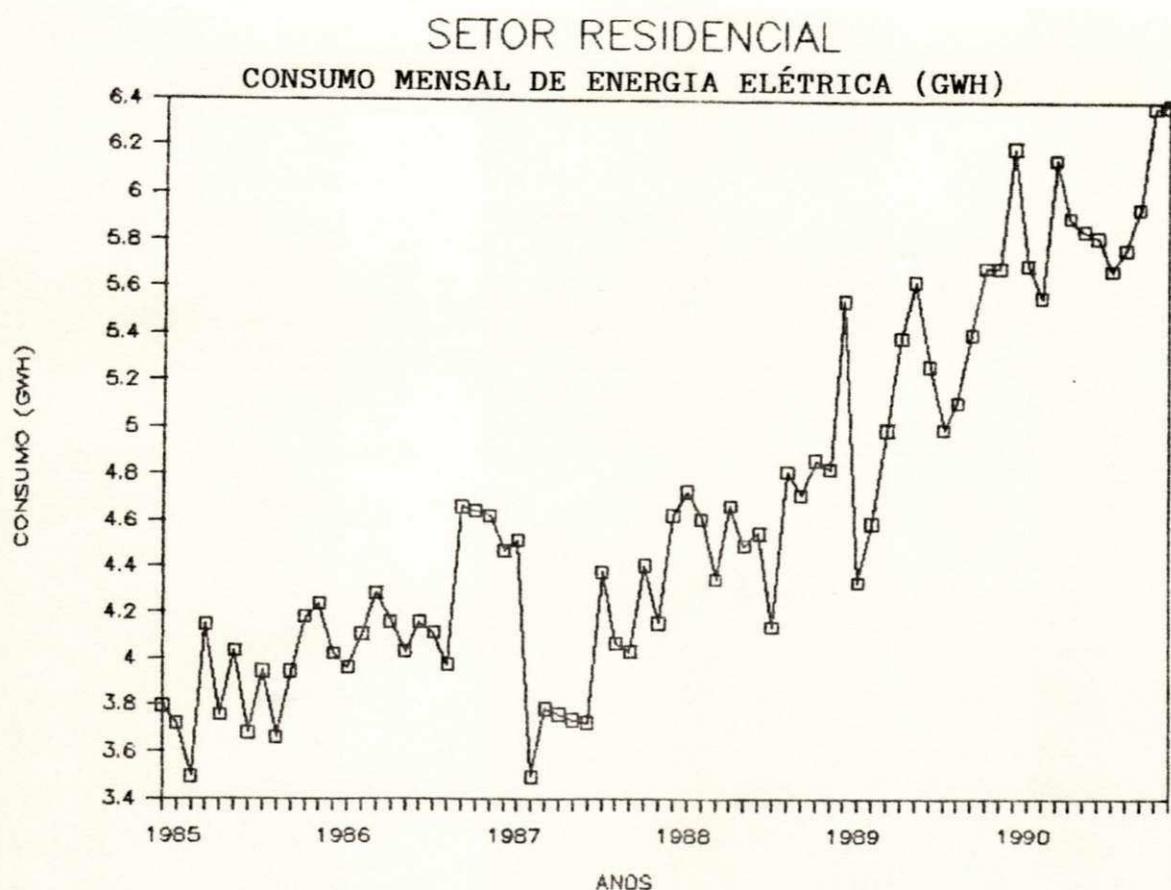


GRÁFICO III.1

Tabela III.1 - Consumo de Energia Elétrica (MWh) - Setor Residencial
Município de Campina Grande

	1985	1986	1987	1988	1989	1990
JAN	3796	4022	4468	4624	5546	6198
FEV	3718	3962	4512	4724	4332	5700
MAR	3498	4105	3496	4607	4588	5561
ABR	4147	4284	3784	4344	4990	6150
MAI	3758	4158	3759	4660	5388	5902
JUN	4034	4028	3737	4490	5629	5847
JUL	3679	4157	3726	4542	5269	5820
AGO	3945	4109	4378	4137	4994	5679
SET	3663	3971	4065	4812	5114	5769
OUT	3943	4659	4028	4709	5408	5944
NOV	4178	4639	4402	4864	5691	6374
DEZ	4236	4619	4152	4825	5689	6385
SOMA	46594	50713	48507	55336	62638	71327
MÉDIA MENSAL	3883	4226	4042	4611	5220	5944
VAR. (%)	12	15	-7	4	3	3

FONTE: CELB, 1991

SETOR INDUSTRIAL
CONSUMO MENSAL DE ENERGIA ELÉTRICA (GWH)

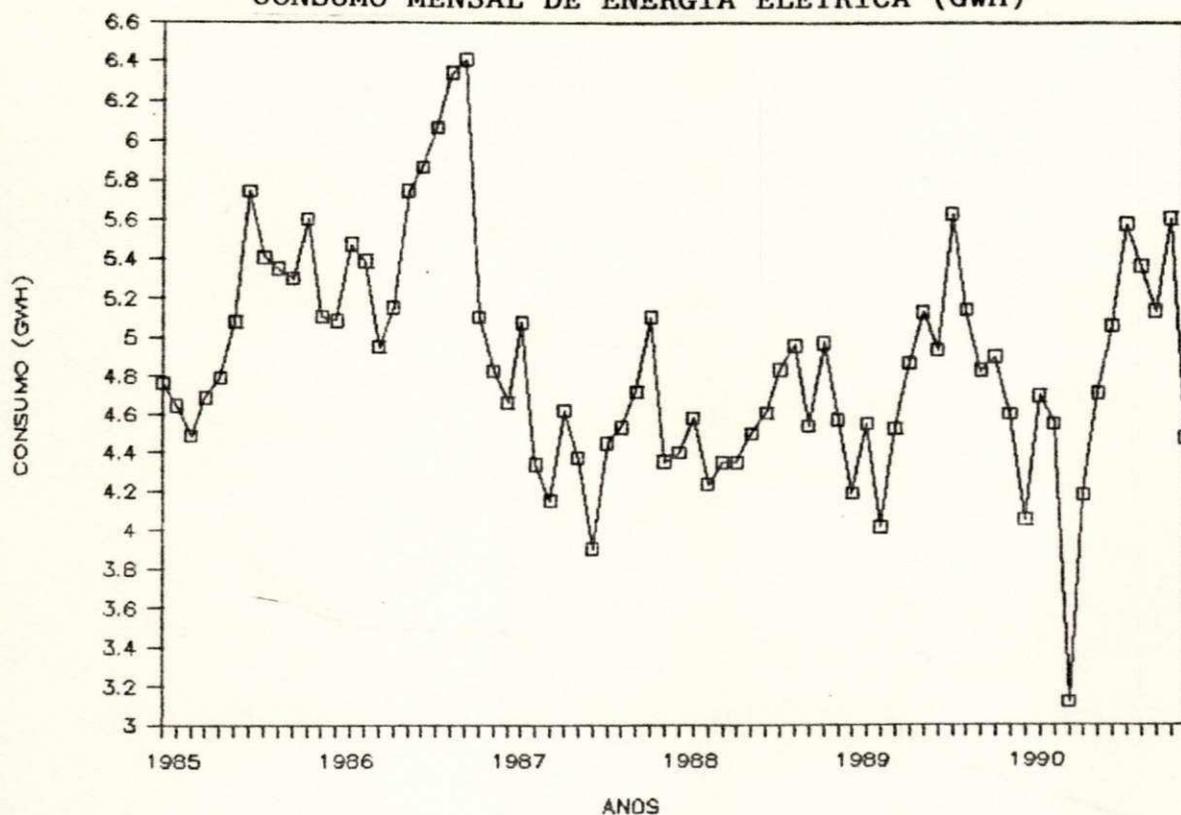


GRÁFICO III.2

Tabela III.2 - Consumo de Energia Elétrica (MWh) - Setor Industrial
Município de Campina Grande

	1985	1986	1987	1988	1989	1990
JAN	4763	5090	4670	4401	4195	4057
FEV	4646	5473	5084	4585	4555	4705
MAR	4487	5393	4345	4237	4020	4560
ABR	4689	4958	4154	4351	4532	3126
MAI	4791	5161	4624	4354	4877	4183
JUN	5081	5750	4375	4502	5137	4717
JUL	5748	5871	3907	4612	4946	5070
AGO	5406	6072	4456	4842	5633	5585
SET	5350	6344	4538	4966	5147	5370
OUT	5301	6412	4724	4546	4840	5144
NOV	5603	5114	5109	4979	4908	5613
DEZ	5108	4832	4355	4577	4609	4483
SOMA	60972	66471	54344	54952	57401	56613
MÉDIA MENSAL	5081	5539	4529	4579	4783	4718
VAR. (%)	7	-5	-7	4	10	11

FONTE: CELB, 1991

durante o ano de 1987 e um último momento marcado por uma curva levemente ascendente a partir de 1988. No período considerado o consumo industrial sofreu uma redução média de 7%. Este comportamento se justifica como um reflexo da crise econômica pela qual atravessa o País, numa conjuntura que causa o fechamento de indústrias e o desemprego de inúmeros trabalhadores. Este quadro se torna mais grave quando verificamos que a diminuição da atividade industrial do Município ocorre simultaneamente ao crescimento sempre contínuo da população, com todas as mazelas sociais inerentes ao processo. Como confirmação desta afirmação, a partir de 1988 o consumo anual do setor industrial passa a ser inferior ao consumo anual do setor residencial. Os principais tipos de indústria no Município são as de produtos alimentícios, construção civil, têxtil, produção de minerais não metálicos, couros/peles e metalúrgicas/mecânicas.

c) setor comercial

A evolução do consumo do setor comercial é mostrada no gráfico III.3 e na tabela III.3. A curva do consumo apresenta basicamente quatro etapas: um primeiro momento de crescimento que vai até o ano de 1986, um segundo momento com queda no consumo durante 1987, um novo período de crescimento em 1988 e 1989 e uma última etapa apresentando pouca variação no consumo em 1990. Ao longo de todo o período houve um crescimento médio de 38%. Este comportamento reflete a participação crescente das atividades comerciais na economia de Campina Grande. O crescimento do Município na atual conjuntura fica cada vez mais relacionado ao desenvolvimento de sua função comercial, passando o mesmo a se firmar mais ainda como centro distribuidor de bens e serviços a uma vasta área que ultrapassa as fronteiras da Paraíba. Este processo é chamado de terciarização da economia. Os principais estabelecimentos comerciais lidam com estivas e cereais, materiais de construção, peças e acessórios, eletrodomésticos, móveis, veículos, calçados e alimentos em geral (supermercados).

d) setor público

A evolução do consumo deste setor é mostrada através do gráfico III.4 e da tabela III.4. Para efeito de simplificação, foi considerada nesta categoria a soma de três consumos

SETOR COMERCIAL
CONSUMO MENSAL DE ENERGIA ELÉTRICA (GWH)

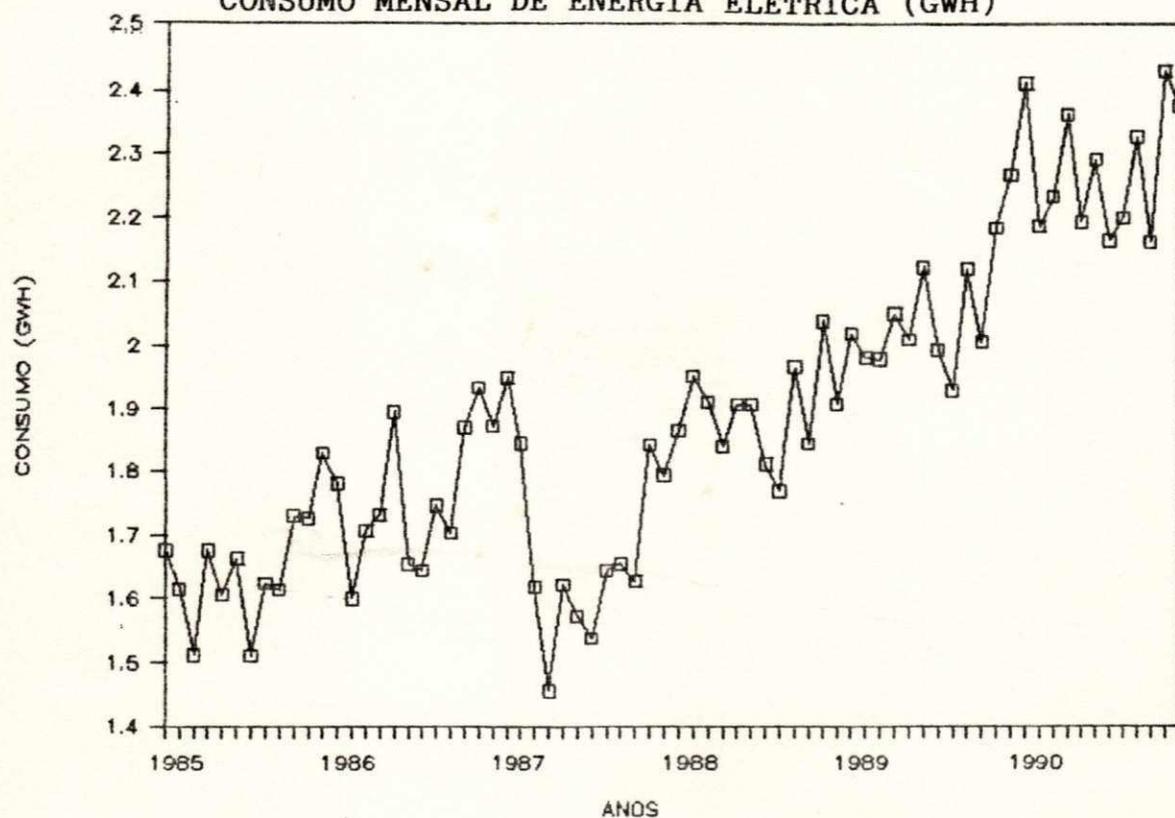


GRÁFICO III.3

Tabela III.3 - Consumo de Energia Elétrica (MWh) - Setor Comercial
Município de Campina Grande

	1985	1986	1987	1988	1989	1990
JAN	1676	1781	1950	1863	2019	2414
FEV	1615	1600	1844	1951	1982	2188
MAR	1511	1708	1618	1909	1979	2234
ABR	1676	1733	1456	1838	2051	2365
MAI	1606	1895	1622	1905	2010	2195
JUN	1662	1655	1572	1905	2123	2293
JUL	1510	1645	1537	1810	1993	2165
AGO	1624	1748	1644	1769	1929	2201
SET	1613	1704	1655	1966	2120	2329
OUT	1730	1869	1627	1843	2006	2163
NOV	1726	1934	1841	2039	2185	2432
DEZ	1828	1871	1793	1906	2268	2378
SOMA	19776	21143	20157	22705	24664	27357
MÉDIA MENSAL	1648	1762	1680	1892	2055	2280
VAR. (%)	9	5	-8	2	12	-2

FONTE: CELB, 1991

SETOR PÚBLICO
CONSUMO MENSAL DE ENERGIA ELÉTRICA (GWH)

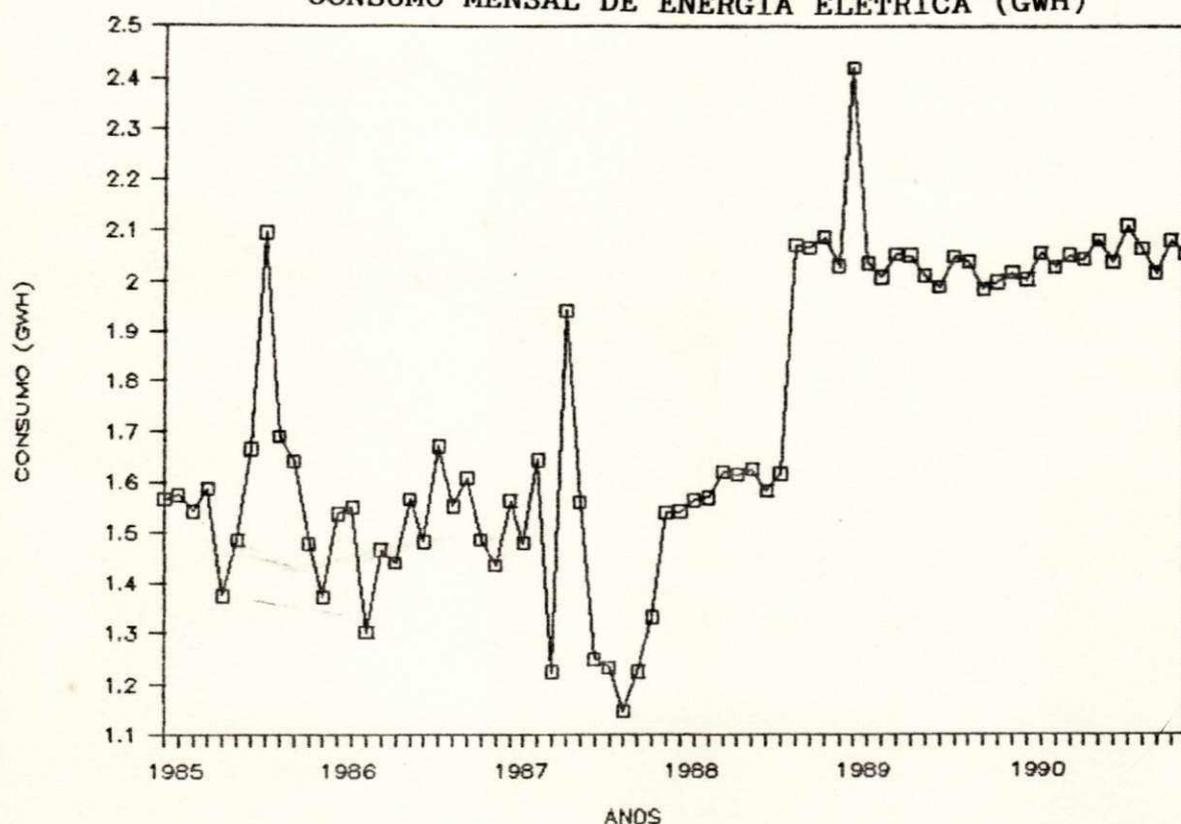


GRÁFICO III.4

Tabela III.4 - Consumo de Energia Elétrica (MWh) - Setor Público
Município de Campina Grande

	1985	1986	1987	1988	1989	1990
JAN	1566	1537	1563	1541	2418	2003
FEV	1574	1549	1480	1564	2036	2055
MAR	1543	1303	1644	1569	2010	2028
ABR	1587	1466	1224	1621	2053	2052
MAI	1376	1441	1942	1614	2052	2043
JUN	1486	1567	1562	1625	2011	2083
JUL	1666	1483	1250	1584	1989	2039
AGO	2096	1672	1234	1617	2048	2111
SET	1691	1553	1147	2070	2039	2066
OUT	1642	1608	1224	2066	1986	2017
NOV	1477	1487	1332	2086	1999	2081
DEZ	1374	1436	1540	2030	2016	2056
SOMA	19080	18102	17142	20988	24657	24635
MÉDIA MENSAL	1590	1509	1429	1749	2055	2053
VAR. (%)	-12	-7	-2	32	-17	3

FONTE: CELB, 1991

especificados na planilha de dados da CELB: consumo da iluminação pública, dos poderes públicos e das empresas de serviço público. Tomando por base o ano de 1990, a iluminação pública representou 63% do consumo deste setor, seguido do consumo dos poderes públicos (21%) e do consumo das empresas de serviço público (16%). A curva do consumo apresenta no geral pouca variação até o ano de 1986, uma queda em 1987, um salto em 1988 e novamente um período de pouca variação que vai até 1990. O salto verificado no ano de 1988 foi devido fundamentalmente ao aumento do consumo de energia para iluminação pública. Este consumo subiu de 867 MWh em agosto de 1988 para 1.290 MWh em setembro do mesmo ano. No período 1985 - 1990 o setor público teve um crescimento médio de 29%.

e) setor rural

A evolução do consumo de energia elétrica do setor rural é apresentada através do gráfico III.5 e da tabela III.5. De um modo geral, o consumo apresenta pouca variação ao longo de todo este período, ficando o crescimento médio em torno de 13%. De todos os setores considerados é o que apresenta menor consumo, o que se relaciona com o fato da população do município ser principalmente urbana. De acordo com os dados preliminares do Censo do IBGE de 1991, de uma população total de aproximadamente 326 mil habitantes, cerca de 19 mil residem na zona rural de Campina Grande o que corresponde a cerca de 6% do total.

O gráfico III.6 apresenta todas as curvas de consumo anteriores, visando oferecer uma melhor visão relativa do processo.

Os gráficos III.7 e III.8 fornecem a participação no consumo total de energia elétrica dos diferentes setores analisados anteriormente em porcentagem para os anos de 1985 e 1990.

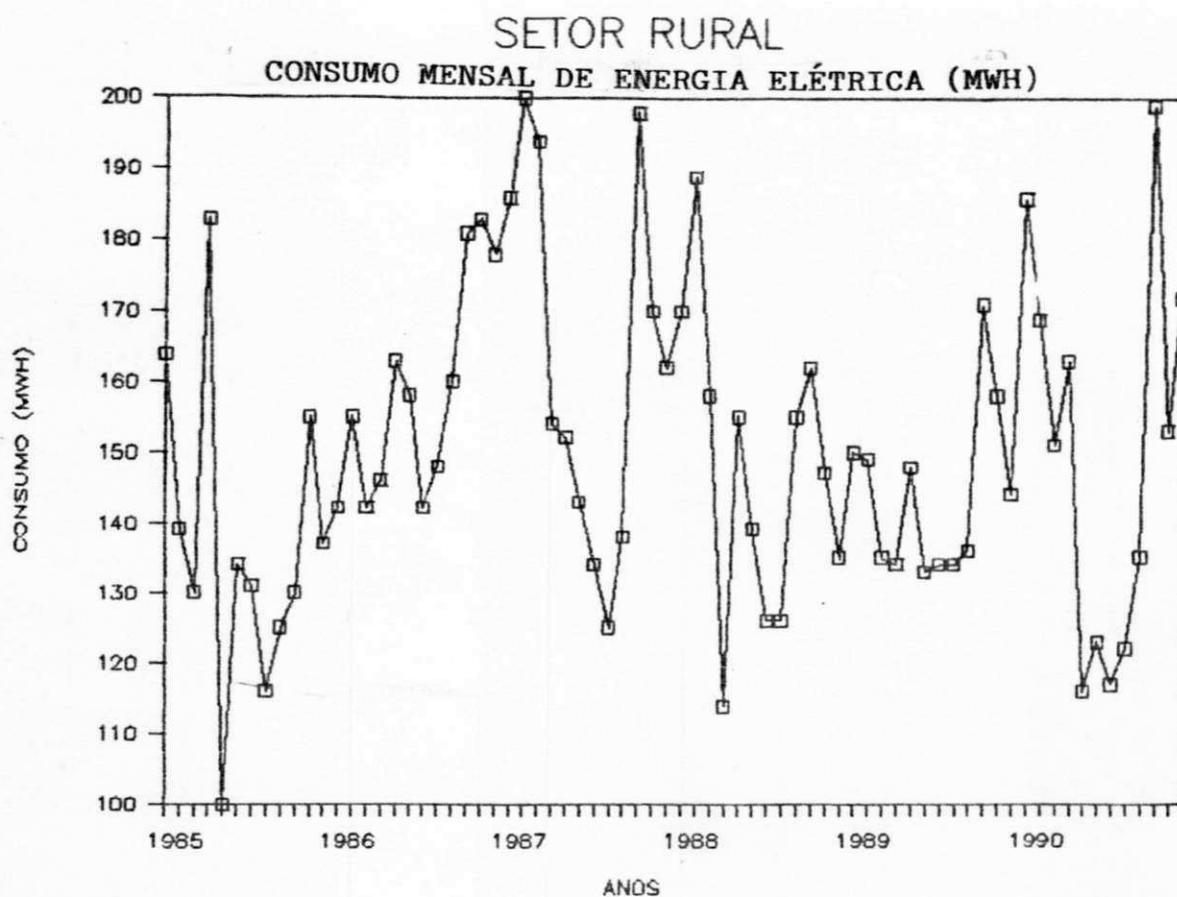


GRÁFICO III.5

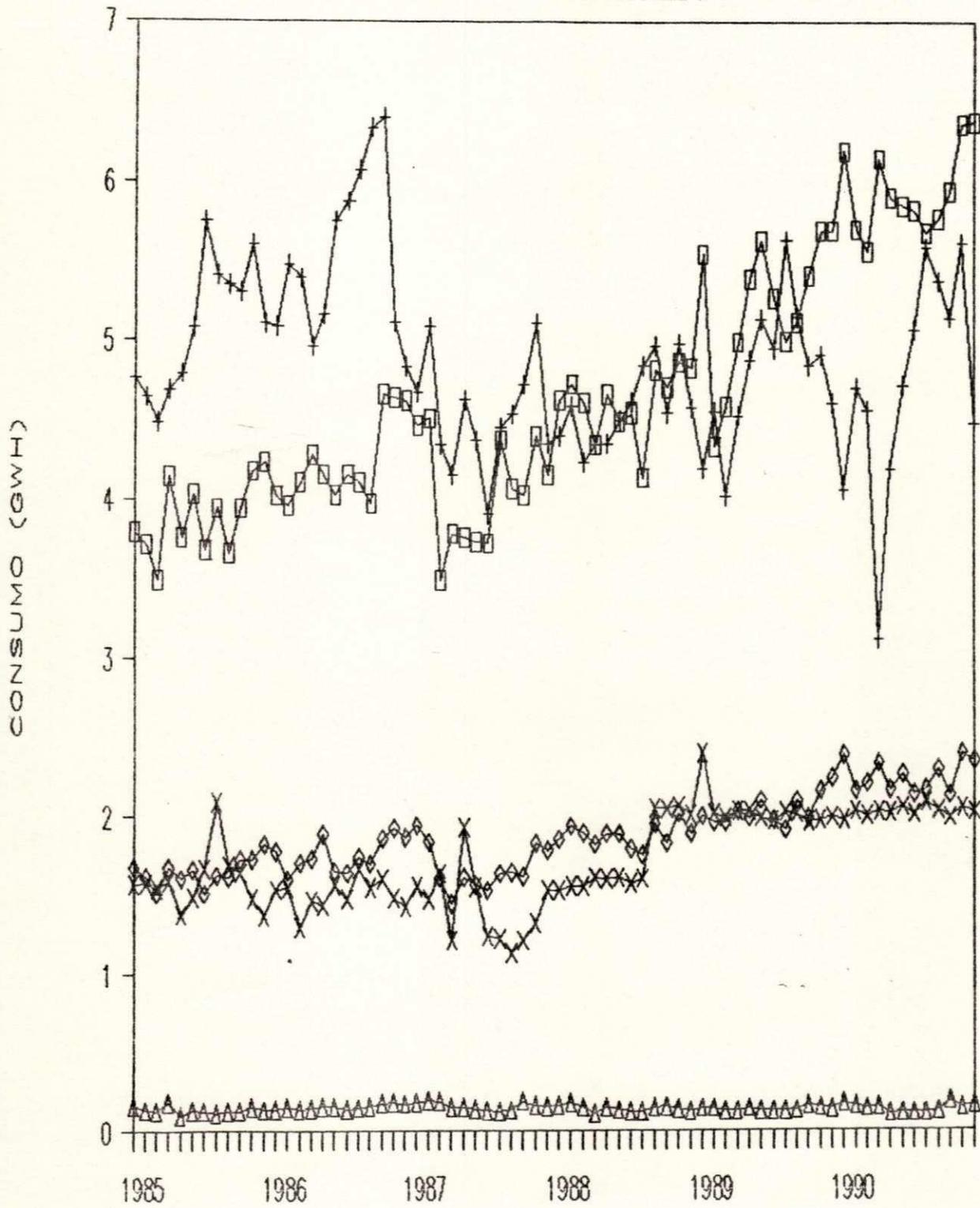
Tabela III.5 - Consumo de Energia Elétrica (MWh) - Setor Rural
Município de Campina Grande

	1985	1986	1987	1988	1989	1990
JAN	164	142	186	170	150	186
FEV	139	155	200	189	149	169
MAR	130	142	194	158	135	151
ABR	183	146	154	114	134	163
MAI	100	163	152	155	148	116
JUN	134	158	143	139	133	123
JUL	131	142	134	126	134	117
AGO	116	148	125	126	134	122
SET	125	160	138	155	136	135
OUT	130	181	198	162	171	199
NOV	155	183	170	147	158	153
DEZ	137	178	162	135	144	172
SOMA	1595	1897	1954	1776	1726	1806
MÉDIA MENSAL	133	158	163	148	144	151
VAR. (%)	-16	25	-13	-21	-4	-8

FONTE: CELB, 1991

MUNICIPIO DE CAMPINA GRANDE

CONSUMO MENSAL DE ENERGIA ELETRICA (GWH)



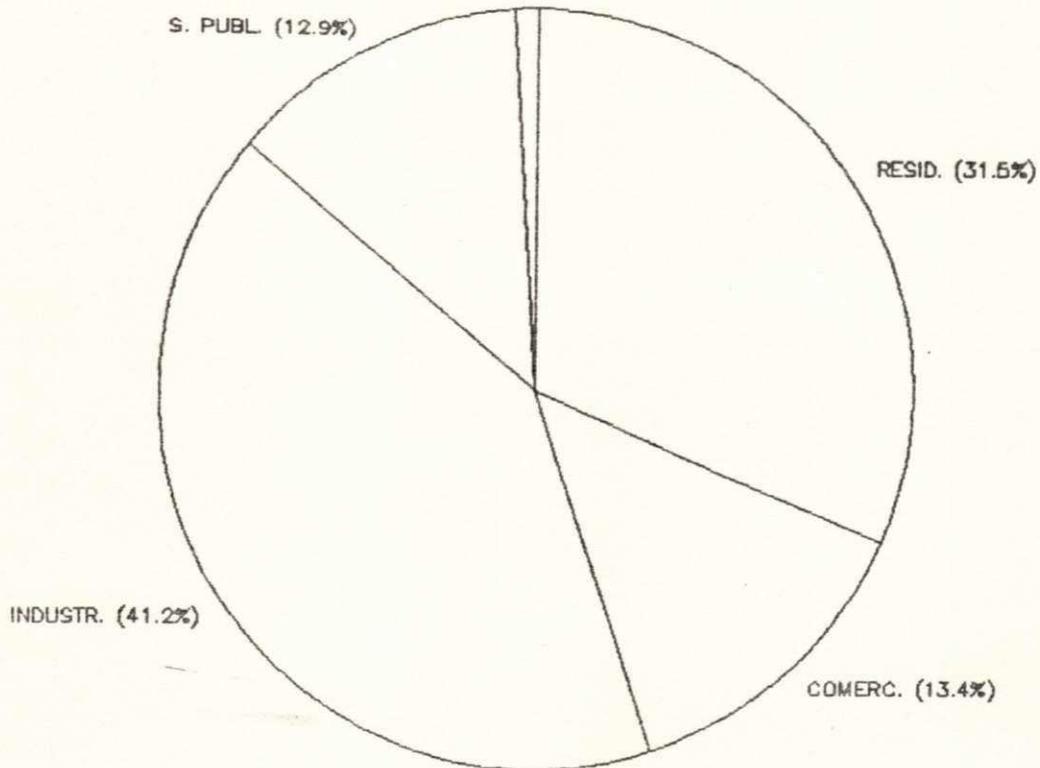
RES + IND COM RUR X PUB
 ANOS

FONTE: CELB, 1991

GRÁFICO III.6

MUNICIPIO DE CAMPINA GRANDE

CONSUMO DE ENERGIA ELETRICA (%) - 1985
RURAL (1.1%)

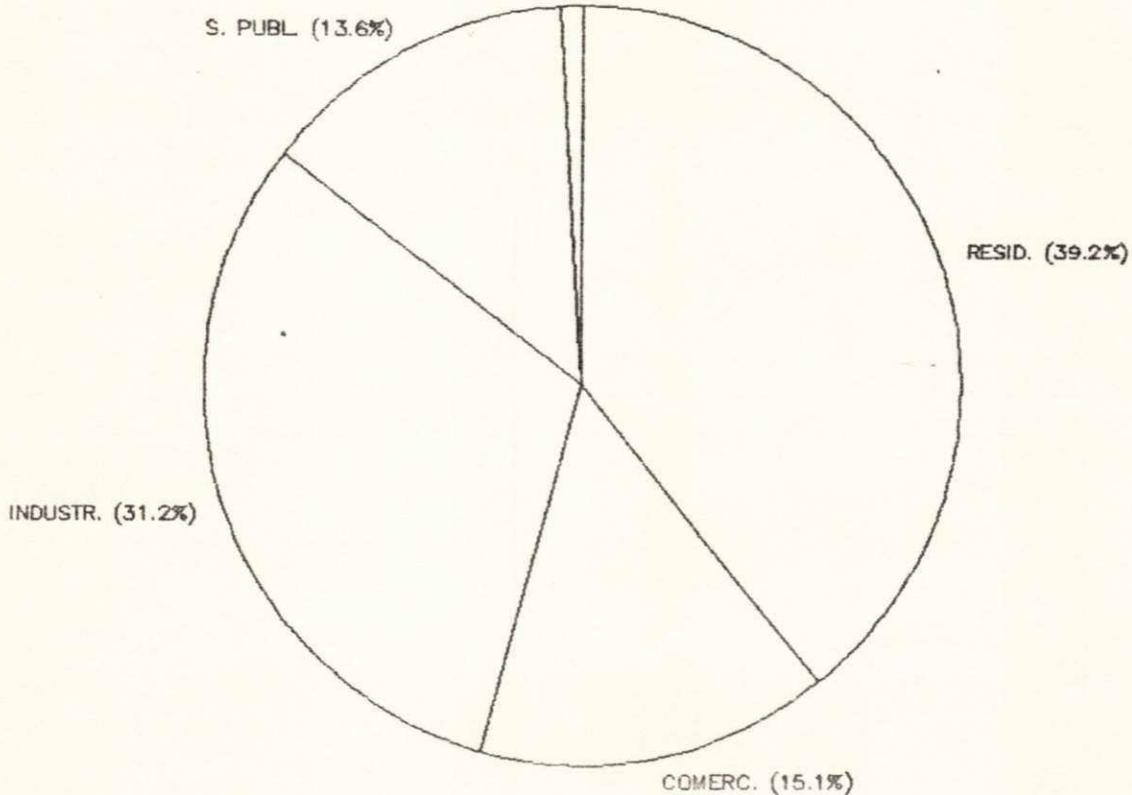


FONTE: CELB, 1991

GRÁFICO III.7

MUNICIPIO DE CAMPINA GRANDE

CONSUMO DE ENERGIA ELETRICA (%) - 1990
RURAL (1.0%)



FONTE: CELB, 1991

GRÁFICO III.8

III.3 - DERIVADOS DE PETRÓLEO E ÁLCOOL

Visando facilitar a análise do consumo de derivados de petróleo e de álcool em Campina Grande em 1990, este consumo foi dividido em setores de acordo com os tipos de derivados e o uso final a que se destinam. Estes setores são:

a) gás liquefeito de petróleo

O consumo de gás liquefeito de petróleo (GLP) em Campina Grande é fornecido na tabela III.6 para o período de 1987 a 1990 (Norte Gás Butano Distribuidora LTDA, 1991). Os butijões de dois e treze quilos destinam-se em sua quase totalidade para as residências; os butijões de 45 quilos são consumidos principalmente em hospitais e restaurantes. Tomando por base o ano de 1990, o consumo dos butijões de treze quilos representou 97,7% do consumo total em quilos. Todo o GLP consumido em Campina Grande é desembarcado no porto de Cabedelo e transportado até o Município em butijões através de caminhões. O gráfico III.9 mostra a curva de consumo de GLP no período considerado.

b) óleo diesel para transporte público

Até a data de conclusão deste trabalho, foi possível a obtenção do consumo de óleo diesel dos seguintes meses para o setor de transportes públicos em Campina Grande (Superintendência de Transportes Públicos/Prefeitura Municipal de Campina Grande, 1991):

janeiro/1991	373.906 litros
fevereiro/1991	290.631 "
março/1991	345.139 "
abril/1991	389.827 "
agosto/1991	401.530 "

Tomando estes dados como referência, chegamos a um consumo médio mensal de 360.207 litros o que equivale a um consumo médio anual de 4.322.484 litros, valor este que será adotado para o consumo de óleo diesel dos transportes públicos em 1990.

c) óleo diesel para indústrias

O consumo de óleo diesel para fins industriais no Município de Campina Grande foi estimado em 450 kg/hora (Cabral, 1991).

CONSUMO DE GLP

MUNICIPIO DE CAMPINA GRANDE (1987-1990)

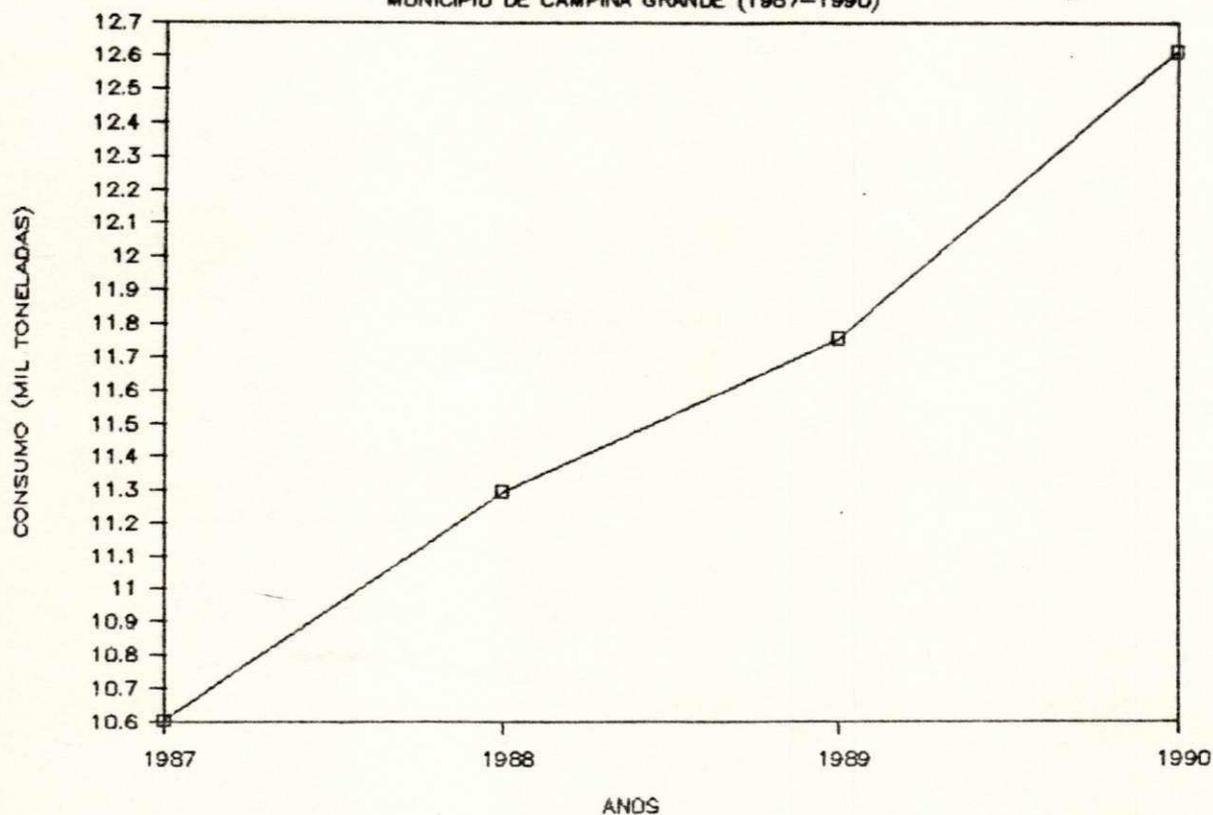


GRÁFICO III.9

Tabela III.6 - Consumo de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)
Município de Campina Grande (1987 - 1990)

ANO	VASILHAMES (UNIDADE)			TOTAL (kg)	CRESCIMENTO (%)
	02 kg	13 kg	45 kg		
1987	714	796389	5568	10605045	
1988	558	848680	5761	11293201	6,49
1989	557	882510	6186	11752114	4,06
1990	5278	948596	6093	12616489	7,36

FONTE: Norte Gas Butano LTDA, 1991

Transformando para litros e considerando o período de um ano, temos o consumo médio de óleo diesel para fins industriais no município de Campina Grande em 1990 estimado em 1.014.000 litros.

d) óleo combustível para indústrias

O consumo de óleo combustível do setor industrial foi estimado em 1.500 kg/hora (Cabral, 1991); transformando para litros e considerando o período de um ano, temos o consumo médio de óleo combustível para fins industriais no município de Campina Grande em 1990 estimado em 2.888.400 litros.

e) óleo diesel para transporte de carga

O consumo médio de óleo diesel para transporte de carga, através dos diversos postos de abastecimento situados em Campina Grande, pode ser estimado em 3 milhões de litros/mês (Coelho, 1991). Temos, portanto, para o ano de 1990 um consumo médio de 36 milhões de litros.

f) álcool para transporte privado

O consumo médio de álcool para abastecimento de veículos particulares em Campina Grande pode ser avaliado em 1.800 mil litros/mês (Coelho, 1991). Para o ano de 1990, o consumo médio de álcool pode ser estimado em 21.600 mil litros.

g) gasolina para transporte privado

O consumo médio de gasolina para abastecimento de veículos particulares em Campina Grande pode ser estimado em 1.200 mil litros/mês (Coelho, 1991). Em 1990, portanto, o consumo médio de gasolina pode ser avaliado em 14.400 mil litros.

III.4 - BIOMASSA

A principal utilização energética da biomassa a nível do município de Campina Grande é efetivada através do uso da lenha e do carvão vegetal. A lenha é consumida nos fornos industriais e de padarias. O carvão vegetal é destinado a fundições de ferro, fornos industriais, forjarias e uso doméstico por parte das populações carentes da cidade. Não foi computado neste trabalho o consumo de lenha para o setor residencial. Este consumo se dá sobretudo na zona rural do município, o que dificulta bastante o levantamento de dados devido ao grau de dispersão dos

consumidores, além de sua influência no balanço energético não ser significativo.

a) consumo industrial de lenha

Os dados referentes ao consumo industrial de lenha no Município foram pesquisados no IBAMA e no levantamento realizado pelo Dr. Carlos Cabral.

De acordo com o IBAMA, o consumo declarado de lenha pelas indústrias ao órgão em 1990 foi o seguinte (IBAMA, 1991):

INDUSTRIA	CONSUMO
-----	-----
IPELSA	10.939 m ³
BENTONITA	10.000 "
CAULISA	4.881 "
DOLOMIL	1.320 "
OUTRAS	18.840 "
-----	-----
TOTAL	45.980 m ³

O consumo total de lenha do setor industrial para o ano de 1990 pode ser, portanto, avaliado em aproximadamente 17.932 toneladas.

Ainda de acordo com informações fornecidas pelo IBAMA, existem indústrias no Município que costumam utilizar diversos materiais além da lenha para queima (pneus gastos, sobras de borracha, etc...). A lenha consumida pelas indústrias campinenses vem principalmente dos municípios de Soledade e Taperoá e as árvores mais usadas para este fim são jurema, catingueira e anjico. A maioria dos fornecedores de lenha não são legalmente registrados.

De acordo com levantamento realizado pelo Dr. Carlos Cabral, o consumo médio de lenha pelas indústrias campinenses pode ser avaliado em 8.550 Kg/hora (Cabral, 1991), correspondendo a um consumo total em 1990 de aproximadamente 18.468 toneladas.

b) consumo de lenha em padarias

Os dados referentes ao consumo de lenha das padarias de Campina Grande foram pesquisados no controle do IBAMA e na avaliação efetivada pelo Dr. Edson Diniz. De acordo com dados fornecidos pelo IBAMA, o consumo de lenha das padarias campinenses no ano de 1990 pode ser estimado em 7.409 m³, o que equivale a 2.890 toneladas (IBAMA, 1991).

De acordo com o Dr. Edson Diniz, este consumo em 1990 pode ser estimado em 9.600 toneladas, para um número aproximado de 70 padarias no município (Diniz, 1991).

Para efeito de cálculo do consumo total de lenha em Campina Grande em 1990, foram considerados os valores mais elevados de utilização da lenha em cada setor dentre os fornecidos pelas diversas fontes. Buscou-se com isto diminuir as consequências, para efeito de análise, do consumo realizado sem o devido controle legal (que todas as fontes foram unânimes em reconhecer que assume proporções significativas). Assumindo esta posição, foi considerado para o setor industrial os dados fornecidos pelo Dr. Carlos Cabral e para o setor de padarias os dados fornecidos pelo Dr. Edson Diniz. Temos assim o consumo total de lenha em Campina Grande em 1990 estimado em 28.068 toneladas.

c) consumo de carvão vegetal

O consumo total de carvão vegetal de Campina Grande em 1990 pode ser estimado em 17.280 toneladas (Braz, 1991).

III.5 - BALANÇO ENERGÉTICO

Os dados de consumo energético do município de Campina Grande em 1990 são apresentados na tabela III.7. Estes dados são apresentados em suas unidades mais difundidas, na primeira coluna, e em tonelada equivalente de petróleo (TEP), na segunda coluna, para efeito de comparação.

Com base nos valores do consumo energético em TEP é construído o gráfico III.10. Neste gráfico é apresentada a participação em porcentagem da energia elétrica, dos derivados de petróleo (diesel, gasolina e óleo combustível), GLP, álcool (etanol) e da biomassa (lenha e carvão vegetal) na matriz energética global de Campina Grande em 1990.

Tabela III.7 - Consumo Energético do Município de Campina Grande (1990)

eletricidade	181.713 MWh	52.697 TEP
GLP	12.616.489 kg	13.703 "
óleo diesel (transporte público)	4.322.484 litros	3.686 "
óleo diesel (indústria)	1.014.000 "	865 "
óleo diesel (transporte de carga)	36.000.000 "	30.700 "
Total diesel	41.336.484 "	35.251 "
óleo combustível (indústria)	2.888.400 "	2.690 "
álcool (transporte privado)	21.600.000 "	10.760 "
gasolina (transporte privado)	14.400.000 "	11.110 "
Total derivados de petróleo e álcool		73.514 "
lenha (indústria)	18.468.000 kg	5.643 "
lenha (padaria)	9.600.000 "	2.933 "
Total lenha	28.068.000 "	8.576 "
carvão vegetal	17.280.000 "	10.880 "
Total biomassa		19.456 "
TOTAL		145.667 TEP

MUNICIPIO DE CAMPINA GRANDE

CONSUMO TOTAL DE ENERGIA (%) - 1990

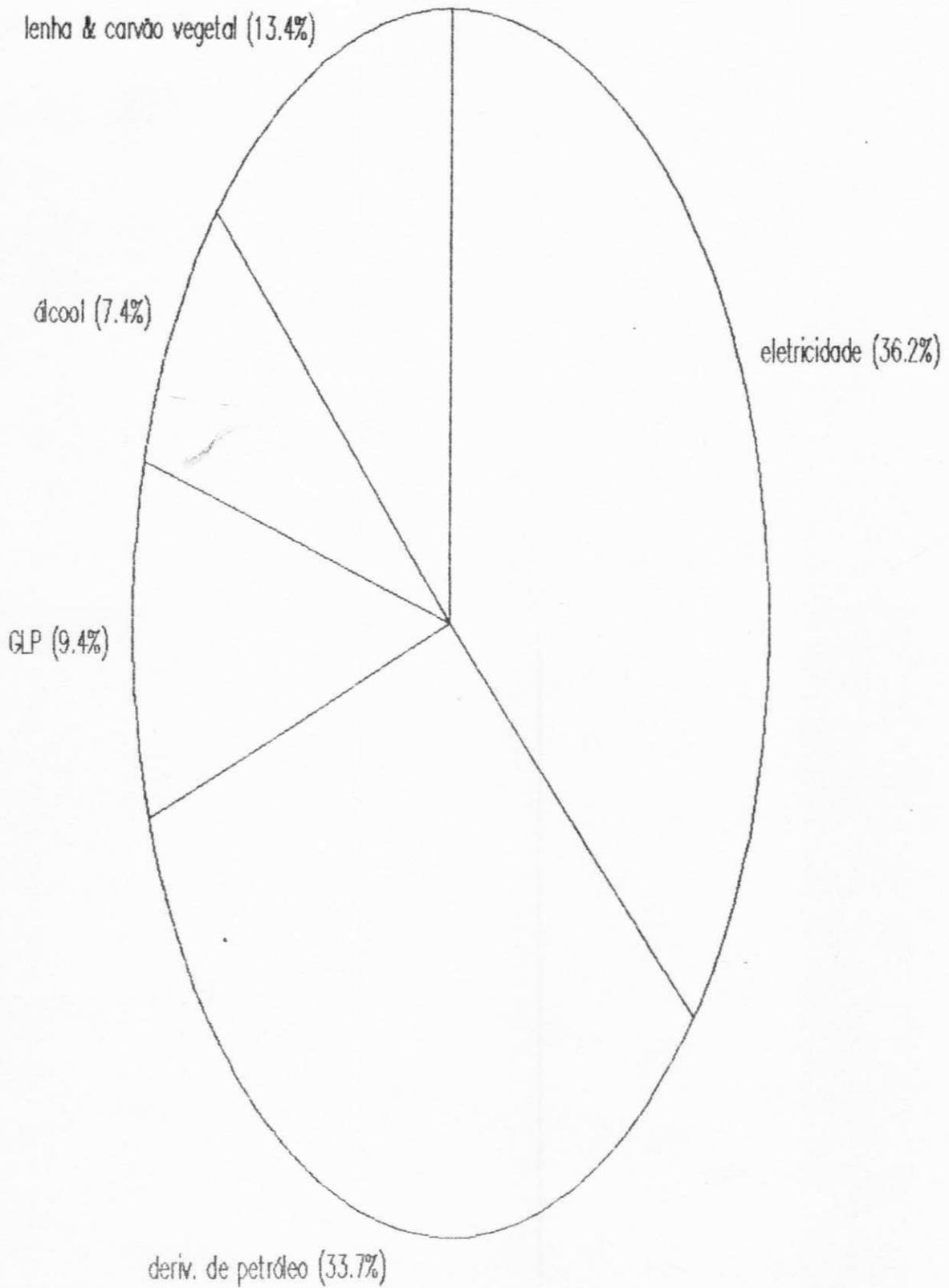


GRÁFICO III.10

III.6 - CONCLUSÃO

A análise da matriz energética de Campina Grande revela um quadro de dependência externa onde o município incrementa apenas o nível do consumo. Na atual conjuntura, o aproveitamento de recursos internos para geração de energia está aquém do seu real potencial.

Além desta característica, o levantamento da matriz energética aponta a existência de desafios que necessitam ser enfrentados pela comunidade municipal. Entre estes desafios, o consumo de lenha e de carvão vegetal merecem especial atenção. Ambos constituem insumos sem perspectivas e deve-se trabalhar para a redução dos níveis de consumo. Esta redução pode ser alcançada através da substituição por outros combustíveis e/ou através do uso de tecnologias com melhor rendimento.

Deve-se buscar também mecanismos de coleta de dados sobre o consumo de energia do município que tragam uma maior precisão às informações. Com exceção da energia elétrica e do gás liquefeito de petróleo, todos os demais dados da matriz energética de Campina Grande em 1990 foram obtidos por aproximação. O levantamento desta matriz deve ser realizado periodicamente, visando esclarecer possíveis tendências de consumo.

CAPÍTULO IV

ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS PARA O MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE

IV.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo pretende oferecer uma contribuição na busca de alternativas energéticas que objetivem, principalmente, melhorar as condições de vida da comunidade do município de Campina Grande. Esta contribuição se soma aos esforços que vêm sendo realizados pelo Núcleo de Energia da Universidade Federal da Paraíba, Prefeitura Municipal de Campina Grande e Companhia de Eletricidade da Borborema.

A primeira alternativa energética proposta consiste na utilização do gás natural gerado no estado do Rio Grande do Norte e canalizado pelo gasoduto "Nordestão". O potencial consumidor de gás natural do município de Campina Grande é avaliado, visando prioritariamente a utilização nas indústrias e na frota de transporte público.

O potencial da biomassa, através da fermentação de resíduos orgânicos, é estimado visando a produção de fertilizante e biogás. É calculada a equivalência energética com outros combustíveis para o potencial de produção de biogás do município.

O aproveitamento da energia eólica é considerado em seguida. Baseado nos valores da potência eólica, da velocidade do vento e da probabilidade de calmaria encontrados em Campina Grande, é analisada a instalação de cataventos e aerogeradores na zona rural do município.

A quarta alternativa visa a utilização da energia solar. A avaliação do potencial encontrado em Campina Grande tem como referência os valores de radiação global e de insolação efetiva diária encontrados no município.

IV.2 - GÁS NATURAL

IV.2.1 - CONCEITUAÇÃO

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves encontrado na natureza, livre ou associado ao petróleo, com predominância de metano em cerca de 80%. Quando associado ao petróleo, o GN é tratado como subproduto e seu uso principal é a reinjeção para estimular a recuperação secundária de poços de petróleo. Nos casos onde não ocorram condições favoráveis para a sua comercialização, o excedente não reinjetado é queimado.

A estrutura completa de refino do petróleo possui a seguinte composição:

gás natural	CH_4 (metano) C_2H_6 (etano)
GLP	C_3H_8 C_4H_{10}
fração gás/líquido (nafta)	C_5H_{12} C_6H_{14}
gasolinas automotivas	C_7H_{16} C_8H_{18}
gasolina de avião	C_9H_{20}
querosenes	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$ $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$
óleos combustíveis (incluindo óleo diesel)	$\text{C}_{13}\text{H}_{28}$ $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$
fração líquido/ sólido	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ $\text{C}_{19}\text{H}_{40}$
parafina	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$

A tabela IV.1 mostra a composição química de alguns tipos de gás natural encontrados no Brasil, nos Estados Unidos e na Europa.

Os hidrocarbonetos são os componentes energéticos; o anidrido carbônico (CO_2) e o nitrogênio (N_2), não sendo combustíveis, são considerados impurezas. O alto teor relativo de etano presente no gás natural brasileiro (maior poder calorífico) faz com que o mesmo seja considerado de boa qualidade em relação aos demais encontrados no Mundo.

Tabela IV.1 - Tipos de Gás Natural
Composição % Molar (Volumétrica)

Componentes	Bacia de Campos (RJ)	Lagoa Parda (ES)	Oklahoma (EUA)	Gronigen (Holanda)	Mar do Norte (Inglaterra)
CH ₄	79,50	87,54	75,40	81,2	94,7
C ₂ H ₆	10,66	6,34	6,40	2,9	3,0
C ₃ H ₈	5,99	3,13	3,60	0,4	0,5
C ₄ H ₁₀	2,08	1,41	1,60	0,1	0,2
mais pesados	0,42	0,81	0,40	0,1	0,2
N ₂	0,96	0,40	12,00	14,4	1,3
CO ₂	0,39	0,37	0,60	0,9	0,1
TOTAL	100	100	100	100	100

FONTE: PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A., 1988

IV.2.2 - PRODUÇÃO, CONSUMO E RESERVAS DE GÁS NATURAL

1) O Gás Natural no Mundo

Como ocorreu com várias outras fontes de energia, o gás natural sofreu um grande incremento em sua utilização a partir da chamada crise do petróleo na década de 1970. Os dados abaixo confirmam o fato do GN ser hoje a terceira maior fonte de energia não renovável disponível, depois do carvão e do petróleo (SUDENE/COSERN, 1989):

a) Reservas Mundiais estimadas em 01/01/86:

$$97750 \cdot 10^9 \text{ m}^3$$

b) Principais Reservas (em %):

URSS	39,0%
Irã	14,8%
EUA	5,4%
Qatar	4,5%
Argélia	3,5%

A relação reserva/produção de GN está calculada para aproximadamente 50 anos. No período 1970-1985, o consumo de GN no Mundo sofreu um incremento da ordem de 70%.

2) O Gás Natural no Brasil

A atual situação de produção e consumo de gás natural no Brasil pode ser verificada através da seguinte tabela:

Tabela IV.2 - Produção e Consumo de Gás Natural no Brasil

	1980	1985	1989	1990
Produção (10^6 m^3)	2205	5468	6091	6279
Terra	1218	2131	2177	2263
Plataforma	987	3337	3914	4016
Consumo (10^6 m^3)	1599	3882	5110	5095
Derivados Energéticos	639	2379	3380	3344
Indústria Petroquímica	427	656	685	686
Reinjeção nos Campos	533	847	1045	1065
Queimado no Local (10^6 m^3)	606	1596	995	1189

FONTE: SNE - DNC - PETROBRAS, 1991

As reservas brasileiras de GN são mostradas na tabela IV.3 (com a equivalência energética em tep):

Tabela IV.3 - Reservas Brasileiras de Gás Natural

Recursos e Reservas (10^6 m^3)	116008
Equivalência Energética (10^3 tep)	105567

FONTE: MINFRA - SNE, 1990

Apesar de sua grande participação no contexto energético mundial, o GN tem ocupado uma posição extremamente tímida na matriz energética brasileira onde o seu consumo representa aproximadamente cerca de 2% do consumo total de energia no país. Em termos relativos, no entanto, o GN no período 1975-1985 teve um aumento da ordem de 480% em sua participação no consumo final energético por fonte, o que demonstra o grande interesse que vem despertando em um número cada vez maior de usuários.

3) O Gás Natural no Estado do Rio Grande do Norte

Dentro da ótica do presente estudo, daremos maior destaque ao GN produzido no Estado do Rio Grande do Norte. Em uma retrospectiva histórica, temos no ano de 1956 as primeiras prospecções da PETROBRAS neste Estado; em 1964 foi confirmada a presença de petróleo e em 1972 a PETROBRAS instalou o primeiro poço submarino; no ano de 1986 foi iniciado o aproveitamento comercial do GN com a implantação do Gasoduto Nordeste, ligando Guamaré-RGN a Cabo-PE, sendo assim o maior gasoduto do País. Os

principais dados são:

a) número atual de poços perfurados:

2161

b) principais campos:

Mossoró, Alto do Rodrigues, Fazenda Pocinhos, Estreito, Rio Panon, Canto do Amaro (maior produtor brasileiro em terra com uma produção equivalente de 27000 barris diários de petróleo), Agulha, Ubarana, Pescada e Lorena (os três últimos são responsáveis por 82% das reservas de gás natural)

c) reservas:

7,9 bilhões de m³ (7,3% das reservas nacionais)
área marítima 84,4% das reservas
área terrestre 15,6% " "

d) produção (1987):

1866 mil m³/dia

e) características físico-químicas:

Tabela IV.4 - Características Físico-Químicas do Gás Natural do Rio Grande do Norte

Componente	Gás Rico (%)	Gás Residual (%)
CO ₂	1,63	3,49
N ₂	2,19	2,56
O ₂	-	-
C1	66,78	79,49
C2	16,18	14,24
C3	8,52	0,22
C4	3,19	-
C5	1,18	-
C6	0,28	-
C7	0,05	-
Peso Molecular	23,60	19,34
Densidade (Kg/m ³)	0,814	0,667

FONTE: PETROBRAS, 1989

A elevada participação relativa do etano faz com que o GN do RGN seja considerado de excelente qualidade (para comparação ver Tabela IV.1). As especificações do GN residual são:

Pressão máxima manométrica de entrega 4,0 kgf/cm²

Poder calorífico superior	9200 kcal/m ³
Poder calorífico inferior	8331 kcal/m ³

As condições de referência são:

Pressão	1033 kgf/cm ²
Temperatura	20° C

f) utilização:

Os dados mais recentes sobre a utilização do GN originado no RGN, referentes a janeiro de 1989, são os seguintes:

Consumo interno	94 mil m ³ /dia
Comercializado	695 " "
Injeção	639 " "
Liquefeito	166 " "
Não utilizado (perdas operacionais)	20 " "

g) destinação do GN comercializado:

O GN comercializado teve a seguinte destinação por Estado durante o mês de janeiro de 1989:

Pernambuco	20643 mil m ³
Rio Grande do Norte	604 " "
Paraíba	493 " "

Em termos de número de consumidores isto representou:

Pernambuco	33 indústrias
Rio Grande do Norte	11 " "
.....	3 empresas de ônibus
Paraíba	9 indústrias

O consumo das indústrias do Estado da Paraíba (João Pessoa) foi o seguinte (janeiro/1989):

Toalia	313 mil m ³
Arnosa	69 " "
Ciane	24 " "
Ibrave	17 " "
Intrafrut	32 " "
Pedroza	35 " "
Polyutil	1 " "
Resinor	1 " "

h) sistema de gás canalizado:

Origem:

Poços de Ubarana e Agulha (Plataforma Continental)

Capacidade instalada da Unidade de Processamento de Guamaré:

gás natural 2 milhões de m³/dia
GLP 240 t/dia
gasolina natural 180 m³/dia

Extensão do Gasoduto Nordesteão:

linha tronco 420 km
ramais de distribuição 232 km

Dimensão da tubulação:

variando de 12 a 26 polegadas

Pressão do gás processado na UPGN:

1 mil psig (70 kg/cm²)

i) perspectivas futuras de produção:

Considerando a hipótese de alocação de recursos para os projetos em estudo, temos a seguinte perspectiva de produção (SUDENE/COSERN, 1989):

1989	.....	2039	mil m ³ /dia
1990	.....	2011	" "
1991	.....	2109	" "
1992	.....	2761	" "
1993	.....	2824	" "
1994	.....	2785	" "
1995	.....	2710	" "

IV.2.3 - VANTAGENS DO USO DO GÁS NATURAL

O gás natural tem proporcionado, nos diversos países do Mundo onde é utilizado, uma economia significativa de energia, associado a novas tecnologias de combustão, recuperação de calor e automatização de processos. Do ponto de vista da produção, tem-se conseguido produtos de melhor qualidade e acabamento final. Do ponto de vista da proteção ambiental, vem atender às crescentes pressões da opinião pública que desejam a substituição das fontes energéticas poluentes, na medida em que reduz bastante a emissão de óxidos de enxofre e de nitrogênio e materiais particulados.

As principais vantagens técnicas do uso do gás natural na indústria são (Gomes e Augusto, 1990):

1) Abastecimento e Transferência Interna

a) Compra, Recepção e Descarregamento dos Combustíveis

- redução dos custos relativos ao estoque médio de combustíveis líquidos ou sólidos anteriormente mantidos (estoque limitado ao de emergência);

- faturamento realizado sobre o combustível já consumido (ao contrário dos sólidos e líquidos, faturados no ato da entrega);

- controle por medição contínua (dispensando o uso de balança);

- redução do espaço no interior das indústrias destinado à circulação e estacionamento dos meios de transporte de combustíveis;

b) Armazenamento

- armazenamento e despesas de manutenção limitados ao estoque de emergência;

c) Transferência do Combustível ao Local do Uso

- dispensa o consumo de energia para a transferência e aquecimento de linhas ou para a movimentação mecânica de combustíveis sólidos;

- eliminação de incrustações comuns ao óleo BPF nas linhas de transferência;

d) Medição de Consumo de Combustível por Setor ou Equipamento

- a medição contínua permite um controle mais preciso sobre o custo industrial e a eficiência dos equipamentos consumidores;

2) Uso e Aplicações Técnicas em Equipamentos

a) Fácil e Preciso Controle de Combustão

- resultante do fato do GN ser combustível gasoso, limpo e não corrosivo, reduzindo as falhas e a manutenção dos componentes das cadeias de controle;

b) Limpeza e Ausência de Componentes Reativos nos Produtos da Combustão

- os produtos da combustão são isentos de compostos sulfurados, de fuligem ou particulados inorgânicos e de odores; isto possibilita o uso em contato direto com o produto nos processos industriais alimentícios, da cerâmica fina e da metalurgia dos não ferrosos (com os combustíveis líquidos tais aplicações requerem uso indireto do calor, aquecimento indireto por muflas, geração de ar quente com uso de vapor, etc..., de custo bastante superior);

c) Uso em Equipamento de Atmosfera Controlada

- o GN permite a geração direta de gás de combustão oxidante, neutro ou redutor para fornos e equipamentos com atmosfera controlada (o nível de precisão do controle quantitativo e da composição do gás gerado não é alcançado pelos combustíveis líquidos);

d) Vida Útil e Manutenção dos Equipamentos

- eliminação da corrosão das partes metálicas do equipamento devida à presença de SO₂ e SO₃ no gás de combustão da maioria dos óleos combustíveis;

- eliminação do incrustamento e corrosão de tubos em caldeiras por óxidos de vanádio, contido nos óleos combustíveis, e pela fuligem da combustão incompleta dos mesmos;

e) Melhor Recuperação de Calor do Gás Efluente

- o gás efluente limpo da queima do GN permite aumentar a recuperação de calor até o limite econômico, com o gás deixando o recuperador em torno de 150°C (o gás efluente da combustão de óleos combustíveis apresenta valores da ordem de 200-220°C);

3) Preservação Ambiental

De modo geral, o uso do GN reduz bastante os níveis de elementos poluentes oriundos de processos de combustão (material particulado, monóxido de carbono, óxido de nitrogênio e óxidos de enxofre); isto pode ser verificado pela tabela IV.5 abaixo:

Tabela IV.5 - Redução na Emissão de Poluentes na Região Metropolitana de São Paulo com o uso de Gás Natural (hipótese: 2,5 milhões m³ dia)

poluentes	gás natural (kg/dia)	óleo (kg/dia)	redução (%)
material particulado	400	2083	80,8
SO ₂	88	157100	99,9
SO ₃	-	2083	100,0
CO	680	1343	49,4
hidrocarbonetos	120	262	54,2
NO _x	7000	13264	47,2

FONTE: Gomes e Augusto, 1990

O fornecimento do GN pode também ser feito através de cilindros onde o gás é armazenado à pressão de cerca de 200

atmosferas, podendo ser empregado como um combustível eficaz nos processos industriais de aquecimento e oxi-corte de peças metálicas, substituindo tanto o acetileno quanto o GLP.

Além do uso como combustível, o GN pode ser usado como matéria-prima industrial para substituir a nafta na petroquímica ou o carvão metalúrgico na redução do minério de ferro.

No setor residencial, o GN pode substituir o GLP na cocção e/ou a eletricidade no aquecimento da água e dos ambientes.

No setor de transportes pode substituir o óleo diesel nas frotas de ônibus destinadas ao transporte coletivo urbano (GN constitui a única alternativa técnica e economicamente viável) e a gasolina ou álcool nos veículos dos serviços públicos e táxis.

De acordo com dados da PETROBRAS, as vantagens do uso do GN em veículos automotores em substituição ao óleo diesel são:

1) como fator de interesse nacional:

- economia de divisas pela redução da importação de petróleo;
- produto de origem nacional, com grande potencial de reservas e perspectivas de produção cada vez maiores;

2) como fator técnico:

- maior vida útil do motor;
- menor carbonização no motor;
- redução nos custos de manutenção;
- maior intervalo de troca do óleo lubrificante;
- número de octano elevado, possibilitando trabalhar com taxas de compressão maiores, resultando em maior rendimento térmico;
- menores problemas de detonação da mistura ar combustível;

3) como fator econômico:

A circular número 04/89 do BNDES, de 04.08.89, já garante oficialmente ao empresário enquadramento automático no Programa Especial da FINAME para financiamento de chassis, carrocerias ou mesmo ônibus completos movidos a gás natural, com condições bastante favorecidas, em relação aos prazos de carência e amortização e em relação à parcela financiada.

4) com relação à segurança:

- por ser mais leve que o ar, qualquer vazamento rapidamente se dissipa na atmosfera;
- tem temperatura de ignição alta, em torno de 650^o C;

- a faixa de mistura ar + gás para haver ignição é bem estreita: 5 a 14% em volume de gás;
- o gás natural é levemente odorizado, de modo que, no caso de vazamento, possa ser detectado pelo olfato;

5) com relação ao meio ambiente:

- a utilização do GN reduz sensivelmente a emissão de substâncias poluentes provenientes da descarga dos veículos;

Isto pode ser verificado pela tabela IV.6:

Tabela IV.6 - Nível de Emissões dos Motores a GN e o Limite Estabelecido pelo PROCONVE para motores Diesel (g/kwh)

Componentes	limites de emissões DIESEL	motores OTTO a gás	motores dual DIESEL + gás
CO	11,20	10,75	7,75
HC	2,80	2,13	5,61
NOx	18,00	20,70	8,64

FONTE: PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A., 1988

Em relação às emissões do motor Diesel, os motores de ciclo OTTO apresentam:

- redução de 4% no nível de emissão de CO;
- redução de 24% no nível de emissão de HC;
- aumento de 15% no nível de emissão de NOx;
- redução total na emissão de fuligem (medida na escala BOSCH);
- redução total na emissão de SOx;

Em relação às emissões do motor Diesel, os motores dual apresentam:

- redução de 31% no nível de emissão de CO;
- redução de 52% no nível de emissão de NOx;
- aumento de 100% no nível de emissão de HC (na maior parte CH₄, elemento não reativo);
- redução de 65% na emissão de fuligem (medida na escala BOSCH);
- redução de 65% na emissão de SOx;

Para uso veicular o GN é comprimido a pressões em torno de 200 kgf/cm² e armazenado em cilindros de aço liga, de alta resistência. Nos motores do ciclo Otto a gasolina ou álcool podem ser substituídos em 100%; nos motores do ciclo Diesel a substituição pode chegar a 80% (é necessário manter uma parcela de diesel para provocar a combustão da mistura, visto que a mistura ar + gás não se auto-inflama nas condições de serviço).

Como exemplo do estado atual de desenvolvimento das pesquisas neste setor, a PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A. e o CENPES (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello) desenvolveram um "kit" de adaptação para motores a diesel que na fase inicial de testes conseguiu 70% de substituição; a partir de um modelo desenvolvido no Canadá e adaptado às condições brasileiras, já se chega a um índice de substituição de até 80%.

Tabela IV.7 - Desempenho dos ônibus movidos a Gás Natural

parâmetros de	ciclo diesel		ciclo otto gás puro
	kit mecânico	kit eletrônico	
rendimento			
motor (tipo/ potência)	OM 352 (140 cv)		M-366G (150 cv)
índice de subs- tituição (% gás)	57%	63%	100%
equiv. 3operacio- nal (m ³ gás/li- tro de diesel)	1,10	1,04	1,20
autonomia por abastecimento (km)	370	350	270

FONTE: PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A., 1988

Podemos ainda citar benefícios da utilização de GN do ponto de vista social, entre os quais se destacam (Drummond, 1987):

- geração de empregos, diretos e indiretos, durante a construção das infra-estruturas e posteriormente para a sua manutenção e operação;
- atração de novas indústrias nas regiões de consumo, pela disponibilidade de energia, contribuindo para aumentar a oferta de empregos e a arrecadação dos municípios e estados que possuam redes de distribuição de gás canalizado.

IV.2.4 - OBSTÁCULOS PARA USO DO GÁS NATURAL

Em que pese todas as vantagens citadas anteriormente, o uso (ou ampliação do uso) do GN encontra dificuldades que podem ser resumidas nos seguintes pontos:

- 1) Necessidade de grandes investimentos financeiros para

instalação de uma infraestrutura básica (gasodutos, estações de compressão, unidades de processamento, sistemas de medição, etc...). Estes custos elevados fazem com que a prioridade de fornecimento de GN seja o setor industrial, onde se situam os maiores consumidores em potencial; o setor residencial e comercial isolados não justificam economicamente a instalação de projetos de tal porte.

2) Falta de uma política abrangente para o setor de GN no Brasil. Esta lacuna gera uma indefinição da estrutura institucional do setor, que delimite os papéis da PETROBRAS e das empresas estaduais de distribuição em especial no que se refere aos mecanismos pelos quais o excedente econômico do GN seria repartido. "Apesar da nova Constituição ter determinado que a distribuição do GN é uma atribuição das companhias estaduais, a PETROBRAS tem recentemente indicado que na sua interpretação do texto da Constituição tal determinação não é definitiva" (Oliveira e Pinto Jr., 1990).

3) Manutenção de subsídios para derivados de petróleo (óleo combustível, diesel, GLP) que tornam economicamente inviável o uso do GN.

IV.2.5 - POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE GÁS NATURAL NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE

O gasoduto Nordeste da PETROBRAS passa a cerca de 110 km de Campina Grande, no município de Santa Rita, estando praticamente ao nível do mar (Campina Grande possui uma altitude de 550 metros). Como explicado anteriormente, devido aos elevados custos de implantação de um sistema de distribuição de gás natural via gasoduto, a prioridade de abastecimento é para o setor industrial. Este setor, devido à quantidade de combustíveis consumidos, permite um retorno de investimento muito mais rápido do que os setores comercial e residencial. Como o gás natural deve ser consumido continuamente, um estudo deve ser feito com a finalidade de determinar quais indústrias campinenses funcionariam como "pulmão", ou seja, quais indústrias consumiriam o GN em períodos como a noite ou final de semana quando a

atividade de produção diminui no geral. Dados sobre o consumo energético médio das caldeiras e fornos das indústrias campinenses são apresentados na tabela IV.8 (Cabral, 1991).

Tabela IV.8 - Consumo Energético Mensal de Caldeiras e Fornos do Setor Industrial de Campina Grande

	Toneladas	m ³
lenha	1.539	3.946
óleo combustível	240	241
óleo diesel	72	85
TOTAL	1.851	4.272

FONTE: Cabral, 1991

Outro setor importante para o fornecimento de gás natural é o de transportes públicos, devido às vantagens expostas anteriormente. Com base nos dados fornecidos pela Superintendência de Transportes Públicos da Prefeitura Municipal de Campina Grande, o consumo médio mensal de óleo diesel pela frota de ônibus é de 360.207 litros ou 360 m³.

A tabela IV.9 fornece a equivalência energética do consumo total destes combustíveis com o consumo necessário de gás natural para atender as mesmas finalidades, considerando uma substituição de 100%. Os fatores de conversão adotados são (SUDENE/COSERN, 1989):

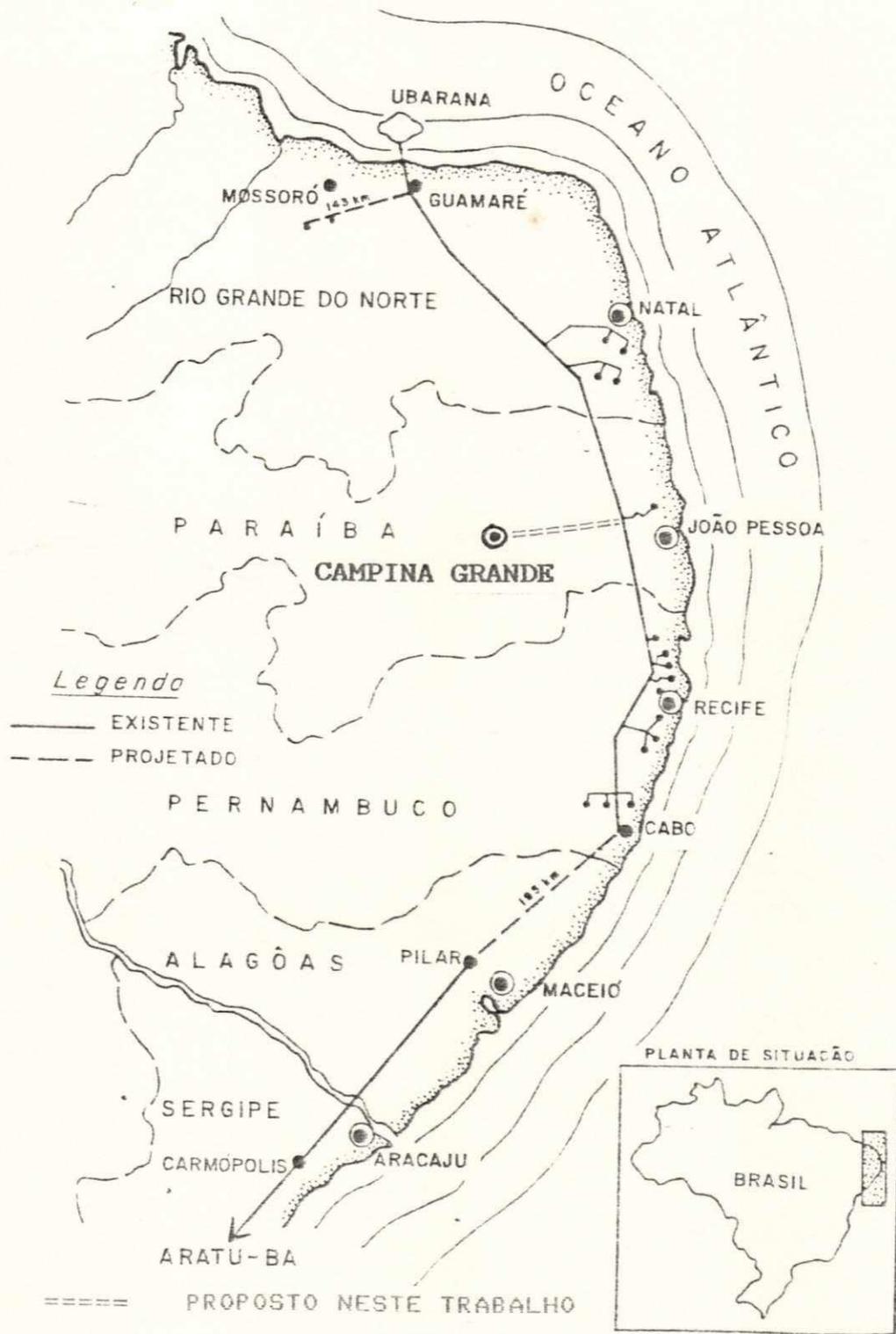
$$\begin{aligned}
 1 \text{ m}^3 \text{ de lenha} &= 61 \text{ m}^3 \text{ de GN} \\
 1 \text{ m}^3 \text{ de óleo combustível} &= 1.030 \text{ m}^3 \text{ de GN} \\
 1 \text{ m}^3 \text{ de óleo diesel} &= 950 \text{ m}^3 \text{ de GN}
 \end{aligned}$$

Tabela IV.9 - Consumo Potencial Mensal de Gás Natural em Substituição a Combustíveis Utilizados no Município de Campina Grande

lenha (industrial)	240.706 m ³
óleo combustível (industrial)	247.921 "
óleo diesel (industrial)	80.275 "
óleo diesel (transportes)	342.190 "
TOTAL	911.092 "

O mapa IV.1 apresenta uma proposta de traçado para o gasoduto campinense.

GASODUTOS



MAPA IV.1

IV.3 - BIOMASSA

IV.3.1 - CONCEITUAÇÃO

O aproveitamento energético da biomassa consiste na utilização do potencial armazenado nos vegetais através do processo da fotossíntese; constitui portanto uma forma indireta de uso da energia solar.

IV.3.2 - SISTEMAS DE CONVERSÃO DA ENERGIA DA BIOMASSA

Os sistemas de conversão da energia da biomassa se baseiam em processos físicos e/ou químicos ou biológicos. Os principais sistemas de conversão da energia da biomassa baseados em processos físicos e/ou químicos são (Prakasan et alli, 1987):

a) Gaseificação

Processo que tem como matéria prima a biomassa vegetal (lenha ou carvão vegetal). Através de uma queima controlada realizada em fornos metálicos ou de alvenaria (gasogênios), é produzido um gás que pode ser usado diretamente como combustível ou como matéria prima para a síntese de metanol ou amônia. O gás assim produzido possui uma composição média de 23 a 28% de CO, 12 a 15% de H₂, 1 a 2% de CH₄, 50 a 55% de N₂ e 4 a 10% de CO₂, densidade de 0,91 Kg/m³ e poder calorífico de 2.210 kcal/m³ (Carvalho et alli, 1987).

b) Pirólise

Processo de aquecimento da madeira realizado em ambiente fechado com a produção de gases (entre os quais o H₂, CO, CH₄), ácidos diversos e carvão.

c) Hidrogaseificação

Consiste na gaseificação direta de resíduos orgânicos na presença de hidrogênio. O processo é realizado à temperaturas entre 500 e 600° C e pressão de 67 atm. É produzida no final uma mistura de metano/etano na proporção de cerca de 180 m³ de mistura de gás para cada tonelada de matéria orgânica seca envolvida.

d) Hidrogenação

Produção de óleo combustível a partir de resíduos orgânicos na proporção de 200 litros de óleo por tonelada de matéria orgânica seca. O processo é efetivado na presença de CO e vapor de água a uma pressão em torno de 130 - 140 atm e temperaturas de 300 a 400° C.

e) Hidrólise Ácida

Possui como matéria prima a biomassa vegetal que, após sofrer um processo fermentativo em meio ácido, produz etanol e CO₂.

Os sistemas de conversão baseados em processos biológicos podem ser de dois tipos: aeróbicos e anaeróbicos.

Os processos aeróbicos (realizados na presença do oxigênio) transformam resíduos orgânicos em humus. É bastante usado no aproveitamento do lixo urbano orgânico (usinas de compostagem).

Os processos anaeróbicos (exigem ausência de oxigênio) compreendem a fermentação de açúcares para produção de etanol e a fermentação de matéria orgânica visando a geração de biogás e biofertilizante em câmaras denominadas de biodigestores. A fermentação anaeróbica possui as seguintes vantagens quando comparada com outros processos de conversão da energia da biomassa (Carioca e Arora, 1984):

- a) produz um gás combustível que pode ser utilizado para fins domésticos, rurais ou industriais;
- b) reduz a carga poluidora de matéria orgânica através da diminuição da demanda bioquímica de oxigênio - DBO, com produção simultânea de biofertilizante;
- c) dispensa o uso de equipamentos sofisticados, uma vez que o processo se realiza à pressão atmosférica e à temperatura ambiente nos climas tropicais;
- d) utiliza praticamente todos os tipos de resíduos orgânicos produzidos na natureza;
- e) dispensa insumos energéticos;
- f) pode utilizar os diversos resíduos numa faixa de concentração muito ampla, variando entre 0,1 e 20%.

Por outro lado, o mesmo processo apresenta as desvantagens abaixo (Carioca e Arora, 1984):

- a) o biogás contém cerca de 40% de dióxido de carbono, que não é combustível, além de traços de sulfeto de hidrogênio, o qual é

corrosivo;

b) o biogás necessita de sistemas de estocagem com maiores volumes devido a sua baixa densidade comparada com a dos líquidos. A redução desses volumes requer o uso adicional de compressores.

A matéria orgânica a ser fermentada nos biodigestores pode ter origens diversas (Prakasan et alli, 1987):

a) urbana: esgotos residenciais, restos de alimentos, restos de atividades comerciais, hortigranjeiros, etc...

b) industrial: vinhoto, efluentes de fábricas de laticínios e conservas, curtumes, matadouros, frigoríficos, etc...

c) agrícola: hastes, folhas e restos de culturas, algas, aguapé, etc...

d) animal: excrementos, carcaças, urinas, sangue, vísceras, etc...

O biogás assim produzido possui uma composição média de 50 a 60% de CH_4 , 30 a 45% de CO_2 , 5 a 10% de hidrogênio, 1 a 2% de nitrogênio e traços de gás sulfídrico; o poder calorífico é de aproximadamente 5.500 kcal/m^3 .

A tabela IV.10 relaciona a produção de biogás a partir do esterco de alguns animais; a tabela IV.11 relaciona a produção a partir de resíduos agrícolas e florestais. Para os dejetos humanos podemos considerar uma disponibilidade diária média de 400 gramas/pessoa, com a produção de cerca de $0,03 \text{ m}^3$ /pessoa/dia.

Tabela IV.10 - Produção de Biogás a partir de Esterco Animal

	esterco (kg/animal/dia)	m^3 produção de biogás (m^3/kg)	m^3 produção de biogás ($\text{m}^3/\text{animal/dia}$)
bovinos	10	0,037	0,37
equinos	10	0,037	0,37
búfalo d'água	15	0,037	0,55
suínos	2,5	0,064	0,16
aves	0,18	0,055	0,01

FONTE: Carioca e Arora, 1984

Tabela IV.11 - Produção de Biogás a partir de Resíduos Agrícolas e Florestais

	produção de gás (m ³ /kg)	teor de metano (%)
casca de arroz	0,61	50 - 60
capim fresco	0,63	70
palha	0,34	60
rama de batata	0,27	60
folhas de árvores	0,25	58
folhas e hastes de girassol	0,30	58

FONTE: Carioca e Arora, 1984

A tabela IV.12 apresenta a equivalência energética média do biogás em relação a diversos combustíveis:

Tabela IV.12 - Equivalência Energética de 1 m³ de Biogás

gasolina	0,50 litros
óleo diesel e querosene	0,53 litros
óleo combustível	0,56 litros
álcool carburante	0,91 litros
lenha com 10% de umidade	1,82 kg
xisto	4,00 kg
gás de bujão (GLP)	0,45 kg

FONTE: Núcleo de Fontes não Convencionais de Energia/ASTEF, 1981

A tabela IV.13 relaciona o consumo médio de biogás para diversos usos:

Tabela IV.13 - Consumo Médio de Biogás

Cozimento	0,30 m ³ gás/pessoa/dia
Iluminação	0,10 m ³ gás/hora/lampião
Motor	0,45 m ³ gás/HP/hora
Geladeira	3,00 m ³ gás/dia

FONTE: Núcleo de Fontes não Convencionais de Energia/ASTEF, 1981

O biofertilizante gerado pode servir como adubo para as plantações pois aumenta a população microbiana, a capacidade de retenção de umidade e os teores de minerais do solo. O efluente

do biodigestor pode também ser usado para o desenvolvimento do fitoplâncton, que serve de alimento para os peixes em tanques de piscicultura.

Os biodigestores usados no processo anaeróbico podem ser classificados em batelada e semi-contínuos (Prakasan et alii, 1987).

Nos biodigestores de batelada os resíduos orgânicos são retirados da câmara de fermentação, após a geração de biogás ter cessado, dando lugar a uma matéria orgânica ainda não fermentada.

Nos biodigestores semi-contínuos, à medida que entra matéria orgânica diluída por um lado da câmara de fermentação, ocorre a saída de biofertilizante pelo lado oposto da mesma, com a geração também de biogás. Os modelos mais difundidos de biodigestores semi-contínuos são os modelos indiano e chinês que, em linhas gerais, são apresentados nas figuras IV.1 e IV.2. No modelo indiano o gasômetro, recipiente de armazenamento do biogás que pode ser feito de chapa metálica ou com ferrocimento (Diógenes, 1987), é depositado na parte superior da câmara de fermentação, feita em geral de alvenaria ou concreto; a pressão do biogás é mantida constante e o escapamento do mesmo é evitado através de um selo de água. No modelo chinês, digestor e gasômetro formam um só corpo de concreto ou alvenaria, o que leva à redução de custos em relação ao tipo indiano, apresentando porém a desvantagem da pressão do biogás ser variável. Devido às suas características de construção (pouca profundidade) é o tipo mais apropriado para regiões onde o lençol freático é superficial ou onde ocorre afloramento de rochas.

IV.3.3 - BIOMASSA NO MUNDO

Sendo a biomassa um produto do processo da fotossíntese, é evidente que os maiores potenciais se localizam nas regiões equatoriais onde ocorrem as maiores taxas de irradiação solar; logicamente a biomassa está ligada também à disponibilidade de água de uma região.

No que se refere em específico aos biodigestores contínuos usados para fermentação anaeróbica, os mesmos estão distribuídos principalmente na China (cerca de 7 milhões de unidades), Índia (cerca de 500 mil unidades), Coreia, Paquistão, Tailândia,

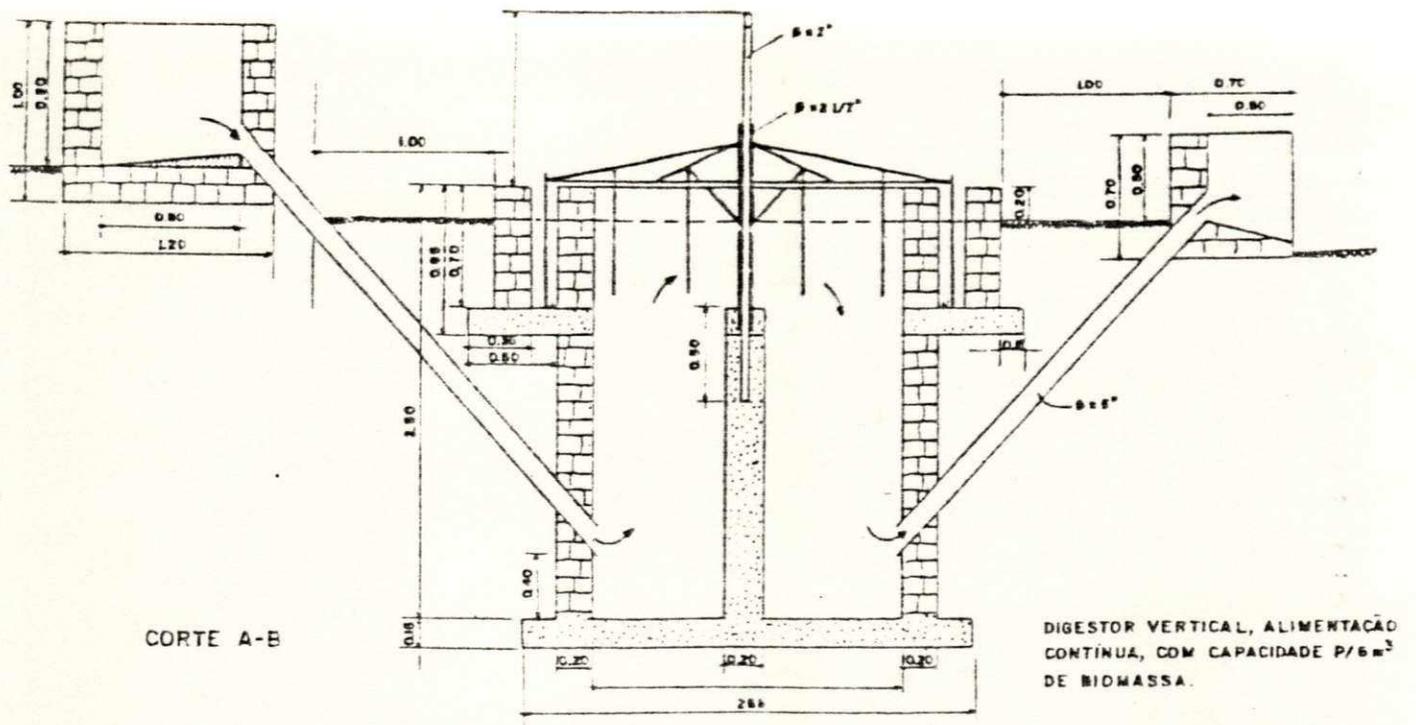


FIGURA IV.1 - Biodigestor modelo indiano

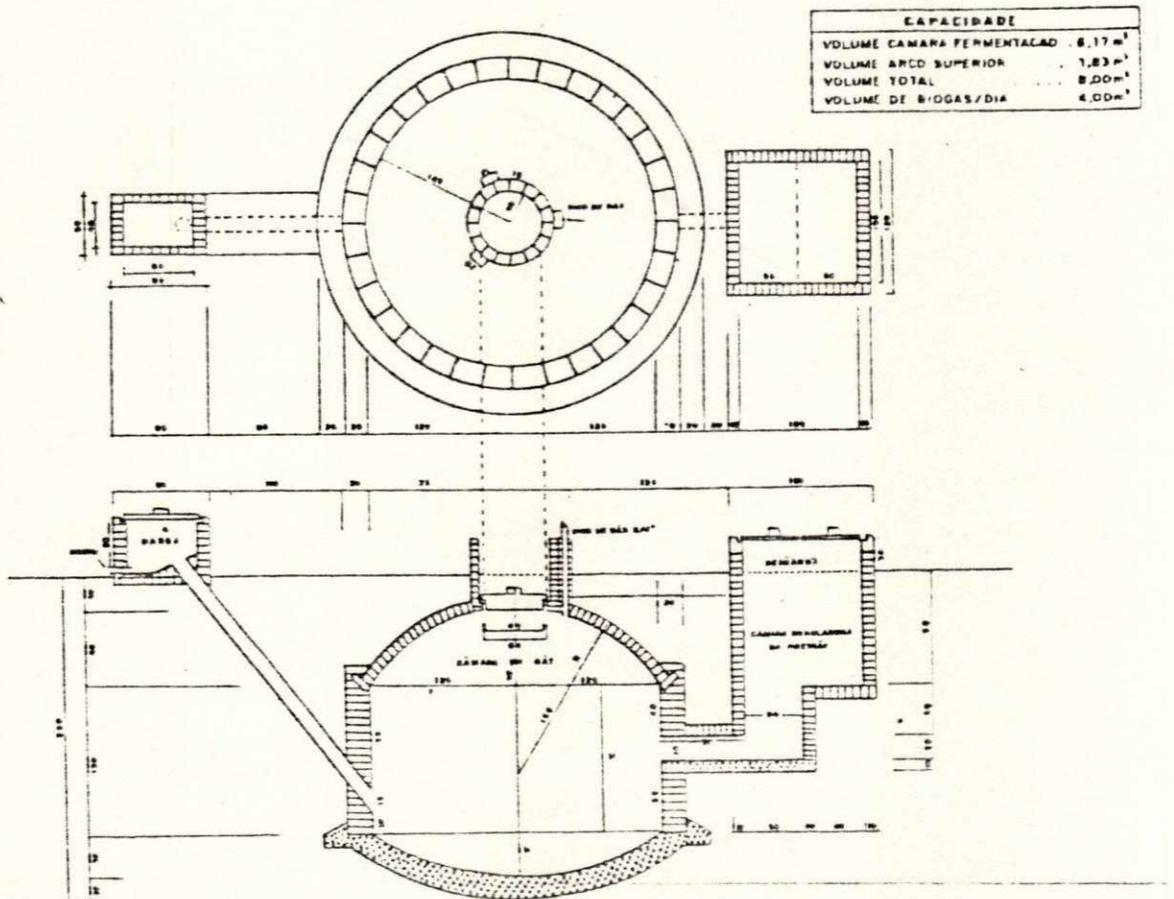


FIGURA IV.2 - Biodigestor modelo chinês

Formosa e Filipinas. Vale salientar que em cada um destes países foram feitas adaptações na estrutura dos biodigestores que melhor se adequassem às condições locais.

IV.3.4 - BIOMASSA NO BRASIL

Situado numa faixa do Planeta com elevados valores de irradiação solar, o Brasil possui como consequência um dos maiores potenciais mundiais de produção de biomassa. Isto fica bem caracterizado pela diversidade da flora existente e pela importância de projetos energéticos baseados na biomassa em nosso país, como é o caso do PROALCOOL.

Entre os diversos centros especializados no estudo da biomassa no Brasil, ocupam lugar de destaque o Núcleo de Fontes não Convencionais de Energia da Universidade Federal do Ceará e o Laboratório de Energia Biomassa da Universidade Federal da Paraíba.

IV.3.5 - POTENCIAL PARA CONVERSÃO DA ENERGIA DA BIOMASSA NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE

A avaliação do potencial para conversão da energia da biomassa em Campina Grande se prende a fatores intimamente relacionados às características climáticas e de produção agrícola e pecuária do município.

Campina Grande situa-se geograficamente na região Nordeste do Brasil que possui no geral, entre outras características, um baixo índice de precipitação pluviométrica e lençóis freáticos reduzidos. Este aspecto torna inviável a instalação de projetos de reflorestamento com finalidades energéticas (produção de lenha, carvão, etc...) na Região como um todo e em Campina Grande em particular. Os projetos de reflorestamento devem ser efetivados com o objetivo de proteção do solo, conservação de nascentes e margens de rios, combatendo assim a erosão e a desertificação que já atingem expressão significativa no Nordeste. Apesar do quadro grave existente, o Governo Federal tem cortado as verbas para projetos deste tipo (IBAMA, 1991).

Outro fator determinante do potencial de biomassa do município é a estruturação da sua produção agrícola e pecuária. De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os principais produtos agrícolas do município no ano de 1988 foram:

Tabela IV.14 - Produção Agrícola
Município de Campina Grande (1988)

milho	3.600	toneladas
mandioca	2.400	"
feijão	1.560	"
laranja	600	"
batata doce	400	"
manga	300	"

FONTE: IBGE, 1988

A quase totalidade desta produção de alimentos é comercializada na própria sede do município (a feira de Campina Grande é uma das maiores e mais tradicionais do País). O lixo orgânico originado da comercialização destes produtos na feira pode servir como matéria prima para instalação de usinas de compostagem. Desta forma, através da fermentação aeróbica, se enfrentaria um problema de saúde pública ao mesmo tempo em que seria produzido adubo orgânico que poderia ser comercializado a baixo custo para os pequenos produtores rurais do município. Além da instalação de uma usina de compostagem para tratamento do lixo orgânico da feira, outras poderiam ser construídas ao longo dos diversos bairros da cidade para o tratamento do lixo orgânico residencial. Uma importante experiência neste sentido se realiza no município vizinho de Esperança com a instalação de uma usina de compostagem para resíduos orgânicos.

Os principais rebanhos do município são apresentados na tabela IV.15:

Tabela IV.15 - Produção Pecuária
Município de Campina Grande (1988)

aves	47.721	cabeças
bovinos	30.959	"
suínos	8.231	"
equinos	5.042	"

FONTE: IBGE, 1988

Multiplicando o número de animais pelos dados fornecidos na tabela IV.10, podemos calcular o potencial de geração de biogás em m³/dia:

Tabela IV.16 - Potencial de Geração de Biogás
Município de Campina Grande

bovinos	11.455	m ³ /dia
equinos	1.866	"
suínos	1.317	"
aves	477	"
TOTAL	15.115	"

Esta produção diária de biogás teria a seguinte equivalência energética (ver tabela IV.12):

Tabela IV.17 - Equivalência Energética da Produção Diária de Biogás do Município de Campina Grande

gasolina	7.558	litros
óleo diesel e querosene	8.011	"
óleo combustível	8.464	"
álcool carburante	13.755	"
lenha com 10% de umidade	27.509	kg
xisto	60.460	"
gás de bujão (GLP)	6.802	"

As capacidades volumétricas dos biodigestores a serem instalados depende, logicamente, do tamanho do rebanho em cada estabelecimento rural. De um modo geral, o modelo chinês é o mais apropriado para o município, devido o afloramento de rochas ocorrer com bastante frequência.

Outro potencial a ser trabalhado é o referente aos dejetos humanos. Através da coleta destes dejetos, de preferência em conjuntos habitacionais de populações de baixa renda, poderia ser gerado adubo para hortas comunitárias, biogás para cozinha de escolas e/ou creches, além de eliminar o risco de doenças contagiosas decorrentes da falta de saneamento. Uma campanha de educação e esclarecimento junto à estas populações se torna necessário, visando derrubar possíveis tabus sobre esta questão.

IV.4 - ENERGIA EÓLICA

IV.4.1 - CONCEITUAÇÃO

Os ventos são causados principalmente pela diferença de aquecimento existente entre a superfície da Terra perto do equador e perto dos pólos. Devido à este fator, ventos das superfícies frias sopram dos pólos para o equador para substituírem o ar quente que sobe para a atmosfera superior em direção aos pólos. O movimento de rotação do Planeta aliado à inclinação do seu eixo de rotação, exercem também influência sobre a intensidade e direção do vento em qualquer lugar. A potência total transferida do Sol aos ventos da Terra é estimada em 10^{11} GW (Araújo e Simões, 1985); no entanto, apenas os ventos próximos às superfícies podem sofrer um processo de conversão de sua energia. Esta energia é utilizada visando dois objetivos básicos: produção de energia mecânica para bombeamento de água ou produção de energia elétrica para utilização direta ou armazenamento em baterias. Além de ser renovável, a energia eólica não traz prejuízos ao meio ambiente.

Do ponto de vista de localização geográfica, podem ser apontadas as seguintes diretrizes (Palz, 1981):

a) os melhores locais para obtenção de energia eólica são encontrados no mar e no litoral. A 1 km da praia, a velocidade do vento cai, e a 5 km as condições são as mesmas que para as planícies do interior. Um valor médio no litoral é de 2400 kWh/m^2 por ano;

b) os seguintes melhores lugares são as montanhas. Um valor médio

típico é de 1600 kWh/m^2 por ano;

c) o nível mais baixo de energia eólica é encontrado nas planícies, onde os valores são geralmente 3 ou 4 vezes mais baixos que na costa. Uma média típica é de 750 kWh/m^2 por ano.

Quanto aos climas, a influência é exercida da seguinte maneira (Palz, 1981):

a) na região equatorial úmida, virtualmente não há energia eólica, quer no mar, no litoral, ou nas montanhas;

b) a quantidade de energia eólica conversível é boa ou razoável em climas quentes ou secos, bem como nos climas frios e temperados;

c) em alguns países quentes e ventosos, a energia eólica pode não ser utilizável por causa da frequência dos ciclones.

IV.4.2 - SISTEMAS DE CONVERSÃO DE ENERGIA EÓLICA (SCEE)

Os dados do vento são necessários para os seguintes objetivos (Araújo e Simões, 1985):

a) no estágio de planejamento, para determinar se um SCEE proposto será economicamente viável;

b) para um projeto detalhado da estrutura e do sistema de controle do SCEE;

c) para operação diária do SCEE em conjunção com outras fontes de energia num sistema maior, talvez até nacional.

São considerados elementos prioritários de um conjunto de dados do vento (Araújo e Simões, 1985):

a) a distribuição da média horária de velocidade do vento;

b) a distribuição da média horária da direção do vento;

c) as características de rajadas e turbulências dos locais;

d) a persistência da velocidade e da direção do vento nos locais candidatos, e os ventos predominantes ao longo do ano.

Estes dados procuram retratar sobretudo dois aspectos:

- distribuição no tempo;

- distribuição de frequência.

A saída de energia de uma turbina eólica é diretamente proporcional ao número de horas em cada intervalo de velocidade do vento (dado pela distribuição de frequência) e à saída de

potência que a turbina fornece naquele intervalo de velocidade do vento, limitada até certo valor de acordo com as características do equipamento (ver figura IV.3).

A potência eólica usada para geração de eletricidade e/ou bombeamento de água é originada da energia cinética do vento dada pela equação

$$E_c = 1/2 \cdot m \cdot V^2$$

Temos, portanto, que a potência eólica disponível é o fluxo de energia cinética obtida por

$$P_e = 1/2 \cdot m' \cdot V^2 = 1/2 (\rho \cdot V \cdot A) V^2 = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

onde (ver figura IV.4)

m' - fluxo de massa (dm/dt);

ρ - densidade do ar;

A - área da seção transversal de um tubo de corrente;

V - velocidade do vento (considerada uniforme).

A partir desta relação, concluímos que a potência eólica é diretamente proporcional à densidade do ar (varia com a altitude e condições atmosféricas), à área transversal considerada e ao cubo da velocidade do vento.

Uma maneira bastante difundida de se apresentar esta potência é através da chamada potência eólica disponível média por unidade de área (ou simplesmente densidade de potência):

$$P_e/A = 1/2 \cdot \rho \cdot V^3$$

onde

V^3 - média dos cubos das velocidades dos ventos

O vento ao passar por um rotor eólico sofre uma diminuição na sua velocidade. Baseado em testes experimentais, considera-se que a potência máxima é obtida quando o vento deixa o rotor com 1/3 de sua velocidade original. Temos assim, neste caso, o fluxo efetivo de massa dado por:

$$m' = 2/3 \cdot \rho \cdot A \cdot V$$

Podemos agora calcular a potência eólica máxima que pode ser obtida, levando em conta esta desaceleração:

$$P_{em} = 1/2 (2/3 \cdot \rho \cdot A \cdot V) V^2 - 1/2 (2/3 \cdot \rho \cdot A \cdot V) (1/3 \cdot V)^2$$

$$P_{em} = 16/27 (1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3)$$

Chegamos portanto à conclusão que o aproveitamento máximo

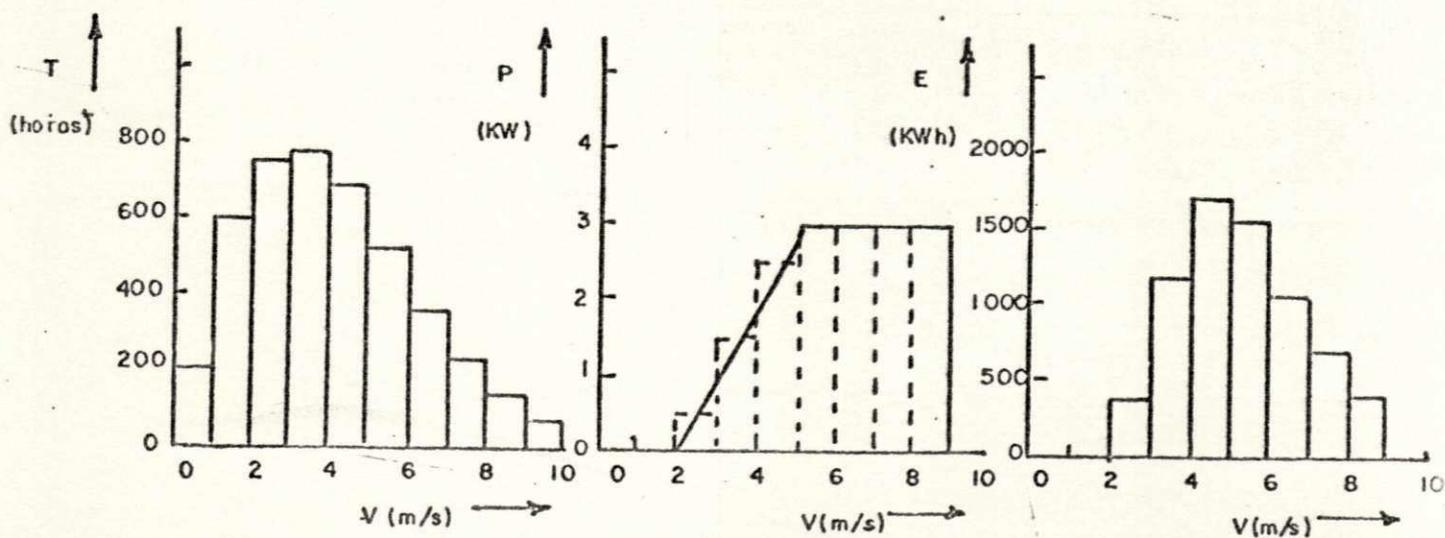


FIGURA IV.3 - Cálculo da saída de energia de um sistema eólico através da distribuição de frequência de velocidade de um regime de vento

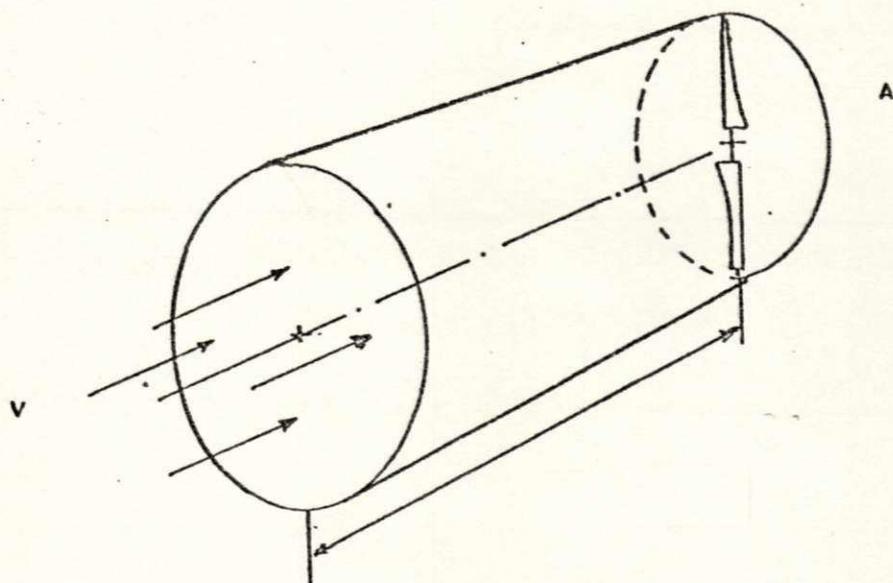


FIGURA IV.4 - Escoamento de ar através da seção transversal de um tubo de corrente

teórico da potência eólica disponível é da ordem de 16/27 ou 59,3% (valor máximo é chamado de limite de BETZ). Na prática, este valor raramente excede os 40%; o chamado coeficiente de potência C_p (fração da potência extraída pelo rotor) está sujeito ainda a redução devido à eficiência da transmissão e da bomba ou do gerador, além das variações na velocidade e direção do vento que ocorrem em uma situação real.

Neste sentido, foi desenvolvida a seguinte equação empírica a partir da relação de BETZ (Palz, 1981):

$$P = 0,63 (V/10)^3 \quad (\text{kW/m}^2)$$

Para uma área varrida de 1 m^2 , é a seguinte a relação entre a potência gerada e a velocidade do vento:

potência gerada	velocidade do vento
5,04 W	2 m/s
40,32 "	4 "
136,08 "	6 "
322,56 "	8 "
630,00 "	10 "

"Numa primeira estimativa, para sistemas eólicos de bombeamento de água, esses efeitos levam à seguinte regra prática: a potência hidráulica média de saída, num local com uma velocidade média do vento \bar{V} é calculada por:

$$P_{\text{hydr.}} = 0,1.A.(\bar{V})^3 \quad (\text{W})$$

Para sistemas eólicos geradores de eletricidade, esse fator 0,1 deve ser aumentado para 0,2 ou, às vezes, para 0,25 com boas turbinas eólicas" (Araújo e Simões, 1985).

O rendimento do gerador eólico é determinado pelo desenho do rotor e pela velocidade de rotação, representados na relação entre a velocidade da ponta da pá e a velocidade do vento.

Podemos classificar as turbinas eólicas basicamente quanto a (Araújo e Simões, 1985):

- força predominante que realiza o trabalho (forças de sustentação ou de arrasto);
- posição do eixo de rotação (eixos horizontais ou verticais).

Quanto ao primeiro item, tornam-se necessárias as seguintes definições:

"Quando um corpo qualquer é colocado num escoamento uniforme,

uma força aerodinâmica é exercida. Sua direção não é geralmente paralela à direção do escoamento não perturbado. Essa força pode então ser decomposta em:

- força de sustentação L: componente perpendicular à direção do escoamento não perturbado;
- força de arrasto D: componente na direção do escoamento não perturbado" (Araújo e Simões, 1985).

Alguns tipos importantes de turbinas eólicas e seus respectivos desempenhos estão mostrados na figura IV.5.

Os principais tipos são:

a) turbina Savonius

Atinge rendimento máximo em torno de 15%; possui uma alta relação peso/unidade de potência de saída sendo útil e econômica apenas para demandas de pequenas potências;

b) turbina de eixo horizontal com pás

Abrange desde o multipás, de alta solidez usado para bombear água, até o modelo de uma pá, de baixa solidez empregado para geração de energia elétrica (solidez é a relação entre a área total das pás e a área varrida por estas); é o tipo mais difundido;

c) turbina Darrieus

Empregada principalmente para geração de energia elétrica; sua arquitetura permite que uma turbina Savonius seja acoplada à sua estrutura.

IV.4.3 - ENERGIA EÓLICA NO MUNDO

De acordo com dados publicados na revista "WIND DIRECTIONS", volume IX, nº 4, em 1989 a geração de energia elétrica pelo vento no Mundo alcançou os seguintes valores:

Califórnia (EUA)	2.125	10 ⁶	kWh
Dinamarca	465	"	"
Havai (EUA)	50	"	"
Outros	50	"	"

TOTAL	2.690	"	"

Fica evidente, portanto, a supremacia existente nesta área por parte dos Estados Unidos da América (mais de 14.000 turbinas

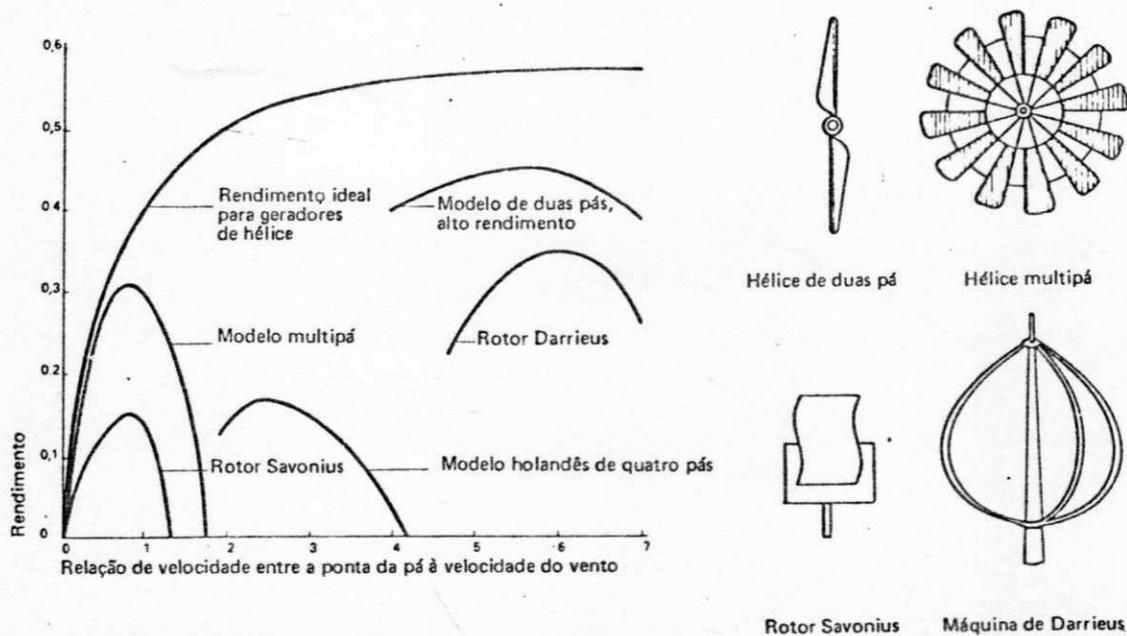


FIGURA IV.5 - Tipos de turbinas eólicas e respectivos desempenhos
 FONTE: PALZ, 1981

eólicas instaladas em escala comercial) e em especial do estado da Califórnia que sozinho respondeu por aproximadamente 79% da energia elétrica gerada desta forma no Mundo. Esta energia produzida pelo vento na Califórnia é equivalente a 3,5 milhões de barris de petróleo ou corresponde às necessidades do setor residencial de uma cidade de cerca de 900 mil habitantes (mais do que a população de São Francisco ou Washington). Um fator que certamente concorreu de maneira significativa para serem alcançados estes índices foi o aumento verificado na eficiência média das turbinas eólicas na Califórnia ao longo da última década:

1983	36	10 ³	kWh/turbina/ano
1989	150	"	"

Em relação a custos, a geração eólica de eletricidade sofreu a seguinte diminuição:

1981	25	centavos (EUA)/kWh
1989	8	"

Além disso, no que se refere a despesas de operação e manutenção, a energia eólica foi a que apresentou os mais baixos valores nos Estados Unidos:

eólica	1,4	centavos (EUA)/kWh
carvão	2,0	"
nuclear	2,2	"
gás	2,9	"
petróleo	3,2	"

As turbinas mais modernas também trouxeram grande aumento na confiabilidade de operação, chegando nos últimos anos a funcionarem mais de 95% do tempo, contra valores em torno de 60% registrados no início da década.

IV.4.4 - ENERGIA EÓLICA NO BRASIL

A atual participação da energia eólica na matriz energética brasileira pode ser considerada ínfima ou desprezível. Na quase totalidade dos casos registrados, o aproveitamento deste potencial ou está em fase experimental ou em etapa de estudos teóricos; entre estes casos podemos citar:

- a) no Rio Grande do Sul, convênio firmado entre CENERGS, CEEE e UFRGS objetiva um melhor aproveitamento do potencial eólico do Estado, através da divulgação de modernas turbinas de alto rendimento. Está previsto um sistema de bombeamento de água potável para uma vila (turbina híbrida Darrieus-Savonius), outro de geração de energia elétrica para uma pequena propriedade rural (rotor Darrieus) e um terceiro de geração de energia elétrica para injeção na rede (rotor Darrieus) (Ocácia, Sadhu, Loureiro e Izquierdo, 1990);
- b) o Centro de Pesquisa de Energia Eólica da UFPE em cooperação com o Folkecenter/Dinamarca são responsáveis pela proposta de instalação de uma turbina eólica de eixo horizontal de 75 kW (17 metros de diâmetro) para ser acrescida ao sistema diesel atualmente existente na ilha de Fernando de Noronha (um dos melhores regimes de vento do Brasil). Com esta medida pretende-se chegar a uma economia da ordem de 20% de combustível (Rohatgi, Feitosa e Corrêa, 1990);
- c) estudos de simulação e controle de SCEE são realizados pelos Departamentos de Engenharia Elétrica da UFMG e UFPB (através de seu Núcleo de Energia).

IV.4.5 - POTENCIAL PARA INSTALAÇÃO DE SCEE NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE

A análise deste potencial é feita baseada nos dados levantados pelo Núcleo de Meteorologia Aplicada da Universidade Federal da Paraíba e Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF). Os dados estudados são:

a) Potência Eólica

Certamente o dado mais importante é o relativo à potência eólica (W/m^2); é a partir desta informação que teremos condições, levando em conta os rendimentos de cada turbina eólica, de determinar a potência de saída de nosso equipamento. A tabela IV.18 apresenta estes dados para uma estação localizada em Campina Grande.

No que diz respeito à distribuição mensal, observamos que os valores mais elevados de potencial eólico são registrados nos meses de outubro a fevereiro, o que corresponderia

CHESF
 INVENTARIO/TECNOLOGIA
 ENERGIA EOLICA
 POTENCIAL ENERGETICO - NORDESTE

 NOME DA ESTACAO - CAMPINA GRANDE (R2795) PB

DIA MEDIO MENSAL - POTENCIA EOLICA (W/M**2)

ANO-77/PI

HORA/MES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ME DIA
0	29.3	25.4	16.4	11.6	9.6	8.8	10.0	14.6	24.5	32.6	37.5	34.3	21.3
1	25.9	21.1	13.8	10.3	7.8	8.4	8.8	14.0	22.3	28.5	33.6	30.2	19.7
2	22.7	18.2	11.3	8.7	6.3	7.4	8.5	12.9	20.0	26.2	32.1	27.1	16.8
3	19.5	15.5	10.2	8.0	6.7	7.2	8.4	11.6	19.8	24.8	31.2	22.8	15.5
4	17.8	16.5	10.0	6.8	5.4	6.1	8.0	11.2	19.6	24.2	29.0	22.9	14.8
5	20.1	16.0	10.1	7.5	5.8	6.7	9.0	15.2	21.6	31.7	37.2	26.3	17.4
6	34.6	28.2	18.2	13.1	12.9	12.2	14.9	19.8	38.4	56.8	61.2	47.3	29.9
7	47.9	43.9	32.4	26.0	25.0	27.0	29.8	37.2	53.6	70.4	63.9	52.8	42.6
8	67.4	64.6	55.3	44.8	41.9	48.8	59.1	64.5	82.1	102.0	82.9	72.6	65.7
9	69.1	67.6	53.7	47.7	47.2	68.5	72.3	78.4	91.6	104.2	88.1	74.9	72.0
10	69.0	62.9	53.2	42.9	45.9	64.1	70.6	71.7	86.1	96.2	78.8	69.7	67.6
11	67.1	67.6	50.8	44.1	45.6	64.8	73.6	74.8	91.3	98.5	79.4	73.0	69.2
12	67.9	79.4	47.3	41.6	45.3	61.9	79.0	77.2	92.3	100.7	87.4	77.0	71.3
13	74.8	80.2	54.5	45.2	45.6	57.9	72.3	77.4	94.7	105.8	95.9	84.3	74.0
14	85.8	93.0	67.0	53.5	53.9	54.7	71.8	85.4	97.5	111.2	103.9	94.4	81.1
15	106.1	107.4	82.7	57.1	53.3	52.4	67.1	86.7	105.2	119.6	114.7	105.6	88.2
16	123.3	119.5	85.1	56.5	41.5	36.9	46.1	74.0	95.5	117.2	121.7	114.7	86.0
17	114.4	112.0	80.3	51.1	33.4	29.8	34.2	59.3	83.3	98.2	108.4	105.5	75.8
18	109.5	95.5	74.0	49.3	31.4	25.5	28.8	54.5	74.0	91.3	102.6	96.8	69.5
19	84.8	73.9	60.6	44.5	27.0	21.0	23.9	45.3	58.4	73.5	84.7	81.1	56.6
20	68.7	56.0	46.6	33.5	21.6	15.6	20.3	37.4	50.3	59.5	70.0	66.4	45.6
21	55.4	44.2	35.8	27.0	15.6	13.1	16.1	31.5	39.6	49.9	59.1	53.3	36.8
22	43.9	34.5	28.7	20.0	12.8	9.9	13.5	22.6	32.0	44.6	50.6	47.5	30.1
23	41.4	29.2	21.0	15.4	10.0	9.1	12.1	18.0	29.9	38.4	42.3	39.3	25.6

TABELA IV.18

aproximadamente ao período de verão. Para estes meses, os dados variam de um mínimo em torno de 20 W/m^2 até um máximo em torno de 120 W/m^2 . No período que corresponderia aproximadamente ao inverno, são verificados os valores mais baixos com um mínimo em torno de 6 W/m^2 e um máximo por volta de 75 W/m^2 .

Este comportamento ao longo dos meses apresenta vantagem do ponto de vista do uso de rotores eólicos para bombeamento de água, pois os meses de menor precipitação pluviométrica, que correspondem ao verão, são os meses onde se registram os valores médios mais elevados de potência eólica. Por outro lado, a estação chuvosa, que corresponde ao inverno, apresenta os valores médios mais baixos.

Quanto à distribuição diuturna, os valores mais elevados são registrados durante o dia (em especial à tarde) e os índices mais baixos são verificados de noite (em especial de madrugada). Para a finalidade de bombeamento de água, esta distribuição se torna vantajosa pois as maiores potências são encontradas no período diurno, no qual são realizadas as atividades de agricultura e pecuária nos estabelecimentos rurais e que, portanto, demandam maior volume de água. As menores potências se dão nas horas da madrugada, onde não existe atividade produtiva.

Para esta finalidade específica, as turbinas mais apropriadas para implantação na zona rural do município seriam as do tipo Savonius e multipás, pois devido sua alta solidez são as que melhor se adequam para bombeamento de água. Na sede do município está instalada a fábrica de cataventos YVEL, especializada no modelo de multipás. Segundo dados da empresa, o modelo mais difundido é o de 18 palhetas, com 3 metros de diâmetro e altura da torre de 10 metros, podendo bombear até 28.000 litros de água por dia de uma profundidade de até 60 metros; o custo da unidade, para levantamento feito em 19/11/91, é de Cr\$ 1.100.000,00 (cerca de 1.000 dólares). Existem aproximadamente 430 cataventos instalados no município, segundo a empresa.

Quanto ao uso para geração de energia elétrica, o nível médio de potência eólica encontrado e sua distribuição não tornam viável a geração em grande escala, com a instalação das chamadas fazendas eólicas, formadas por dezenas de aerogeradores de grande

porte, no município de Campina Grande. No entanto, este mesmo potencial torna possível sua utilização em projetos de pequeno porte visando a energização de estabelecimentos rurais no município, liberando a energia elétrica distribuída pela CELB para outras finalidades e contribuindo decisivamente para a fixação do homem do campo à terra. Devido às suas características operacionais de conjugado e velocidade, os modelos que mais se adaptam às condições eólicas do município para geração elétrica são os de 1 ou 2 hélices.

Para efeito de comparação, o mapa IV.2 apresenta a média anual dos valores de potência eólica encontrados na Região Nordeste do Brasil. O município de Campina Grande apresenta valores da ordem de 50 W/m^2 (a média anual mais elevada encontrada no estado da Paraíba); esta média representa um valor intermediário entre os valores mais significativos da Região (litoral do Rio Grande do Norte com 100 W/m^2) e os potenciais mais baixos (menos de 10 W/m^2 no interior do Maranhão, Piauí e Bahia).

b) Velocidade do Vento

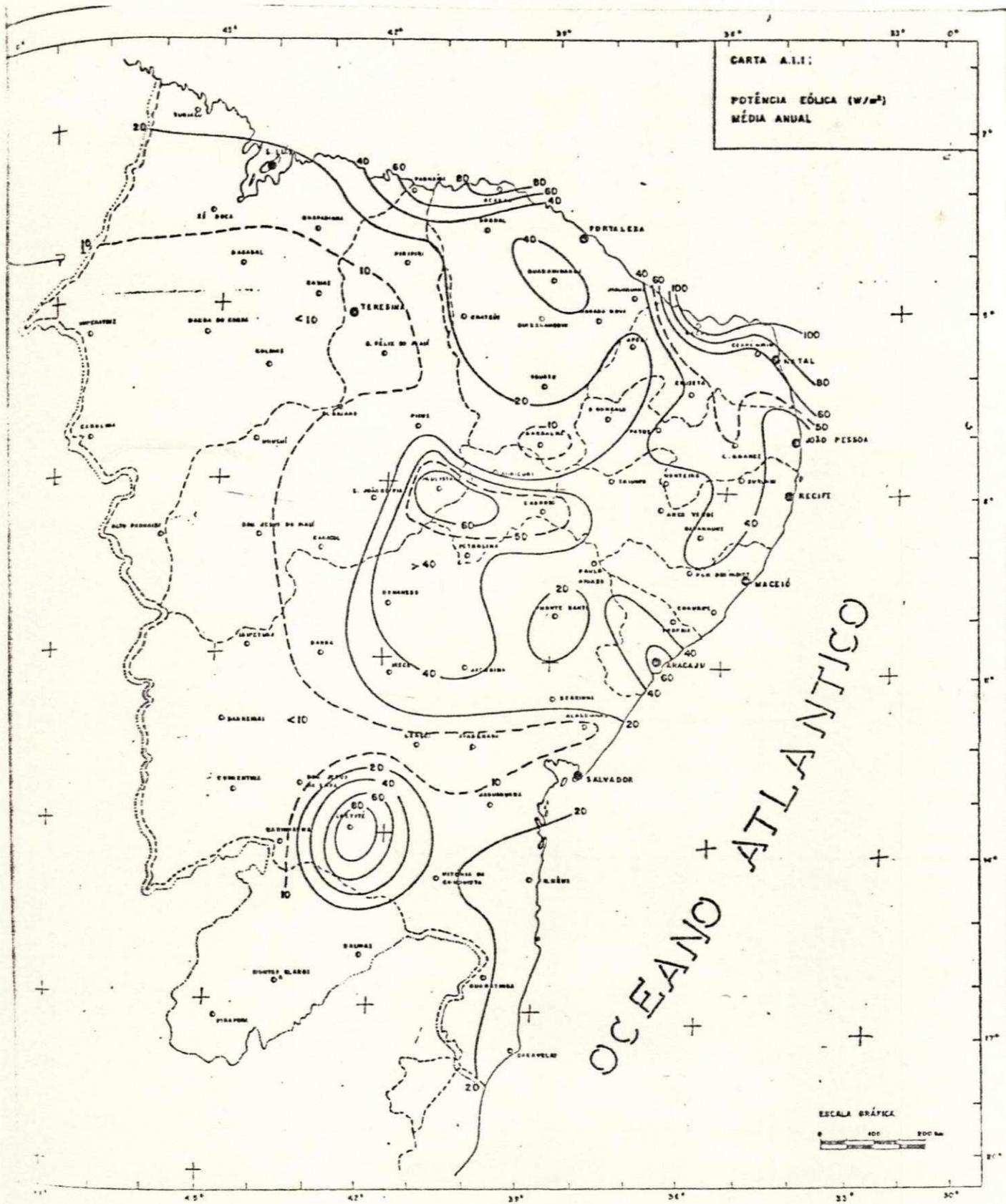
Os dados relativos à velocidade do vento, com sua distribuição ao longo dos meses do ano e ao longo das horas do dia, são fornecidos na tabela IV.19. Como são variáveis dependentes, o comportamento da velocidade do vento obedece o mesmo padrão apresentado no item anterior para a potência eólica.

No verão são observadas as maiores velocidades, com um mínimo em torno de 2,8 m/s e um máximo por volta de 5,8 m/s; no inverno, as menores e maiores velocidades são aproximadamente de 1,9 m/s e 4,8 m/s.

Para efeito de comparação, o mapa IV.3 apresenta isolinhas de velocidade média para a Região Nordeste. O município de Campina Grande está incluído na isolinha de 3,5 m/s (a mais elevada do estado da Paraíba). As isolinhas de maior velocidade da Região encontram-se no litoral do Rio Grande do Norte (6 m/s) e as mais baixas situam-se no interior do Piauí (0,5 m/s).

c) Probabilidade de Calmaria

Constitui outro dado significativo, na medida em que nos informa qual a fração do tempo disponível na qual não será



MAPA IV.2

CHESF
INVENTARIO/TECNOLOGIA
ENERGIA EOLICA
POTENCIAL ENERGETICO - NORDESTE

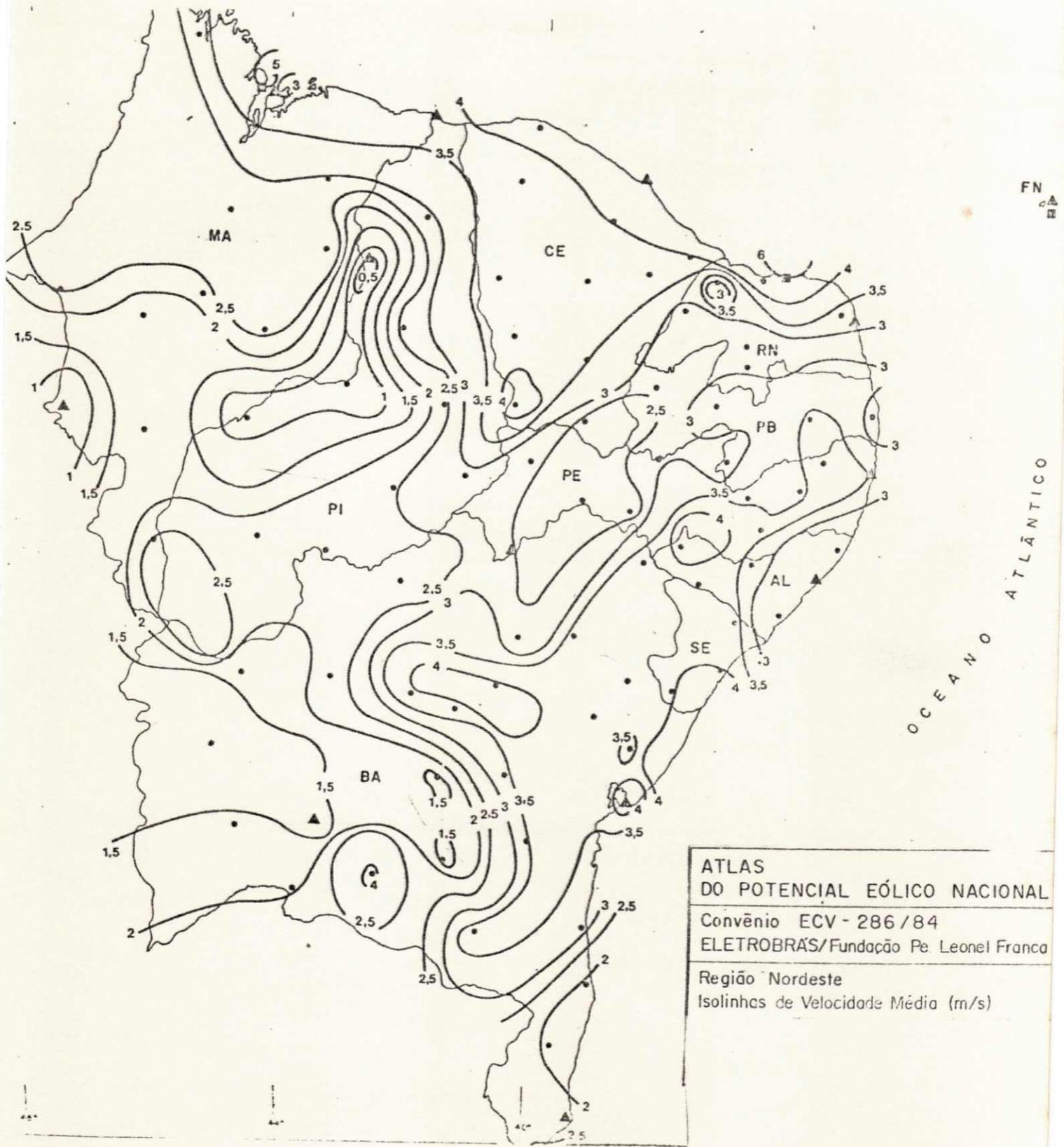
NOME DA ESTACAO - CAMPINA GRANDE (92795) PB

DIA MEDIO MENSAL - VELOCIDADE DO VENTO (M/S)

ANO-77/PI

HORA/MES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MEDIA
0	3.4	3.2	2.7	2.4	2.2	2.1	2.3	2.7	3.2	3.6	3.9	3.7	2.9
1	3.3	3.0	2.5	2.3	2.1	2.0	2.1	2.6	3.1	3.4	3.7	3.5	2.8
2	3.1	2.8	2.3	2.1	1.9	1.9	2.1	2.5	3.0	3.3	3.6	3.4	2.7
3	2.9	2.6	2.2	2.0	1.9	1.9	2.0	2.4	2.9	3.2	3.6	3.2	2.6
4	2.8	2.6	2.2	1.9	1.8	1.9	2.0	2.4	2.9	3.2	3.5	3.2	2.5
5	2.9	2.6	2.2	2.0	1.8	1.9	2.1	2.4	3.0	3.5	3.8	3.3	2.6
6	3.6	3.3	2.8	2.6	2.5	2.4	2.5	3.0	3.9	4.4	4.6	4.1	3.3
7	4.1	4.0	3.5	3.3	3.2	3.3	3.5	3.8	4.3	4.8	4.6	4.3	3.9
8	4.6	4.6	4.2	3.9	3.9	4.1	4.4	4.7	5.0	5.4	5.1	4.8	4.6
9	4.7	4.7	4.2	4.0	4.1	4.6	4.8	5.0	5.2	5.5	5.2	4.9	4.7
10	4.7	4.5	4.2	3.9	4.1	4.6	4.8	4.8	5.1	5.3	5.0	4.8	4.7
11	4.7	4.7	4.1	3.9	4.1	4.6	4.8	4.9	5.2	5.4	5.0	4.9	4.7
12	4.7	4.9	4.1	3.9	4.1	4.6	4.9	4.9	5.2	5.4	5.2	4.9	4.7
13	4.8	5.0	4.2	4.0	4.1	4.4	4.8	4.9	5.3	5.5	5.3	5.1	4.8
14	5.1	5.3	4.6	4.3	4.2	4.3	4.9	5.1	5.4	5.6	5.5	5.3	5.0
15	5.5	5.5	5.0	4.4	4.2	4.3	4.7	5.2	5.5	5.8	5.7	5.6	5.1
16	5.8	5.7	5.0	4.3	3.9	3.8	4.2	4.9	5.4	5.8	5.8	5.7	5.0
17	5.6	5.6	4.9	4.2	3.6	3.5	3.7	4.5	5.0	5.4	5.6	5.6	4.8
18	5.5	5.3	4.7	4.1	3.6	3.3	3.5	4.4	4.9	5.3	5.5	5.4	4.6
19	5.1	4.8	4.4	4.0	3.4	3.1	3.3	4.1	4.5	4.9	5.1	5.0	4.3
20	4.7	4.4	4.0	3.7	3.1	2.8	3.1	3.8	4.2	4.5	4.8	4.7	4.0
21	4.4	4.1	3.6	3.4	2.8	2.6	2.8	3.4	3.9	4.2	4.5	4.4	3.7
22	4.0	3.7	3.3	3.0	2.6	2.3	2.6	3.1	3.6	4.0	4.3	4.2	3.4
23	3.8	3.4	3.0	2.7	2.3	2.2	2.5	2.9	3.4	3.8	4.0	3.9	3.2

TABELA IV.19



<p>ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO NACIONAL</p> <p>Convênio ECV - 286/84 ELETROBRAS/Fundação Pe. Leonel Franco</p> <p>Região Nordeste Isolinhas de Velocidade Média (m/s)</p>

MAPA IV.3

possível a conversão de energia eólica. A tabela IV.20 nos apresenta a probabilidade de calmaria para cinco cidades do estado da Paraíba: São Gonçalo, Patos, Monteiro, Campina Grande e João Pessoa. Em relação à média anual, Campina Grande apresenta a menor probabilidade de calmaria do Estado (26,4%).

Quanto à distribuição mensal, de setembro a janeiro (5 meses) são registradas probabilidades de calmaria inferiores a 20% em Campina Grande (chegando a um mínimo de 7,8% em novembro); de março a julho (5 meses) são verificadas probabilidades superiores a 30% (alcançando um máximo no mês de junho com 45,9%).

O mapa IV.4 apresenta a probabilidade de calmaria para a Região Nordeste. O município de Campina Grande apresenta a menor porcentagem de calmaria da Região (em torno de 30%), valor este apenas encontrado no litoral do Rio Grande do Norte (em torno de Macau), litoral do Ceará e litoral do Piauí. Este bom desempenho certamente se explica pela altitude do Município (aproximadamente 550 metros acima do nível do mar). As maiores probabilidades de calmaria (em torno de 90%) são encontradas no interior do Piauí (Teresina) e interior da Bahia (Lençóis).

IV.5 - ENERGIA SOLAR

IV.5.1 - FUNDAMENTOS

Todas as formas de energia conhecidas, com exceção da nuclear, geotérmica e das marés, são direta ou indiretamente oriundas do sol. A energia solar se propaga na forma de radiação eletromagnética, na faixa de comprimentos de onda de 0,3 a 3,0um, denominada "radiação solar". A radiação solar atinge a camada externa da atmosfera terrestre com uma potência de 1353 W/m^2 , valor denominado "constante solar" (Duffie e Beckman, 1980). Ao nível do mar, este valor é reduzido, em média, de aproximadamente 30%, devido principalmente à dispersão sofrida pelos raios solares ao atravessar a atmosfera. A radiação solar que atinge a superfície terrestre varia com a latitude e a estação do ano, além de depender das condições atmosféricas locais, sendo maior nas regiões equatoriais e diminuindo à medida em que aumenta a

CHESE

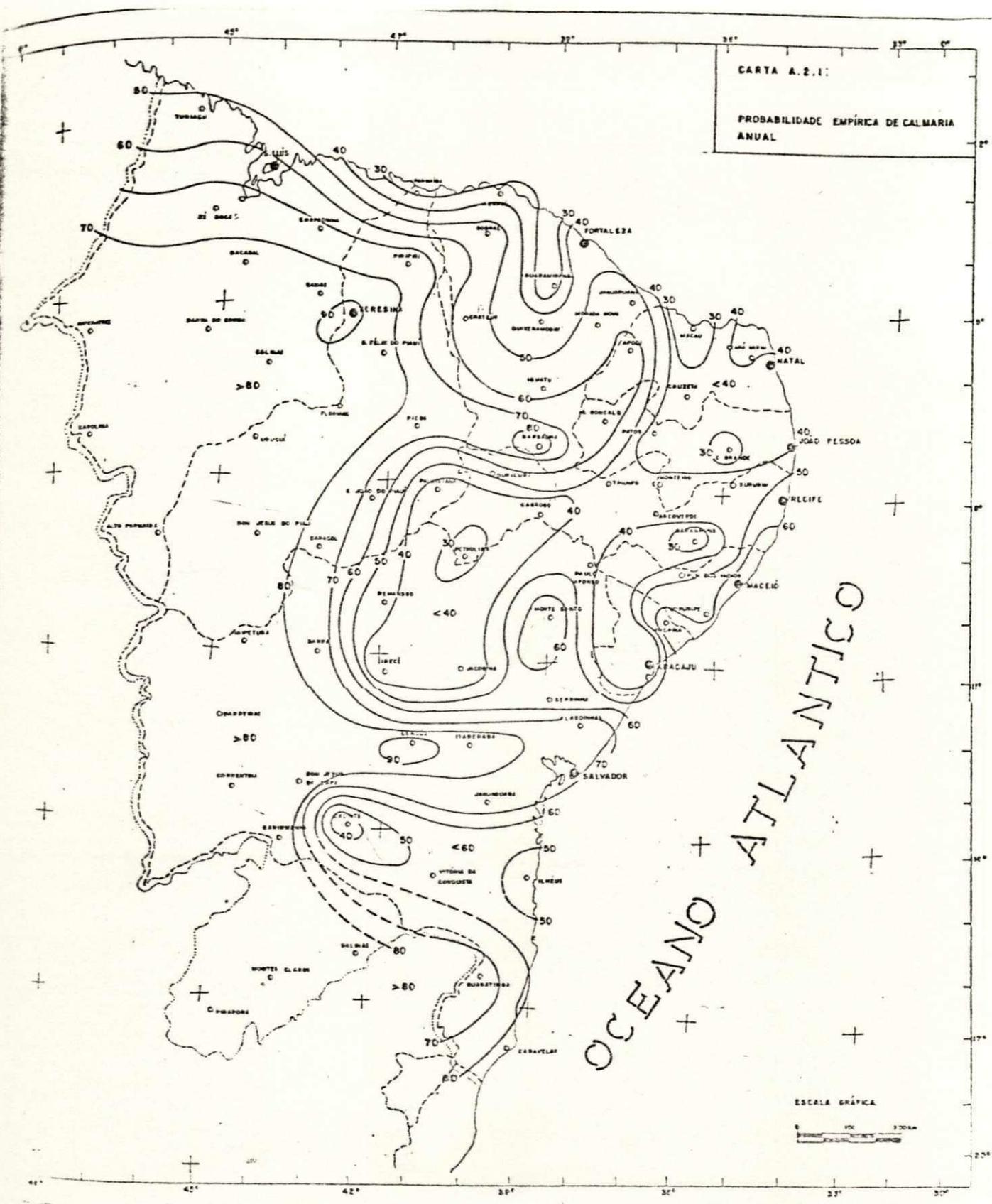
INVENTARIO/TECNOLOGIA
ENERGIA SOLAR
POTENCIAL ENERGETICO - NORDESTE

ESTABILIDADE DE CALMARIA (PORCENTAGEM)

ANO-77/81

ESTACAO		ANUAL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MANGALDO	PR	64.1	71.2	80.4	85.8	84.9	79.6	69.5	54.8	51.9	42.0	43.3	51.1	57.3
	PB	39.1	42.7	53.9	67.0	67.6	56.7	44.7	30.4	25.7	15.8	14.0	22.4	29.1
RO	PB	43.2	41.2	53.9	69.8	67.2	63.9	70.6	54.2	56.9	39.4	24.8	20.3	29.1
LAGOA GRANDE	PR	26.4	16.9	21.3	33.6	39.5	44.5	45.9	39.1	28.6	17.9	11.2	7.8	11.1
ESSDA	PB	37.1	24.8	28.4	43.9	51.1	58.3	52.5	44.6	36.8	24.7	17.2	15.5	20.3

TABELA IV.20



MAPA IV.4

latitude. Por exemplo, a radiação pode alcançar valores de cerca de 1.200 W/m^2 em regiões equatoriais secas, ao meio dia, enquanto o máximo recebido no norte da Europa raramente ultrapassa os 700 W/m^2 no verão (Kluppel, 1988). Estas variações da radiação solar incidente sobre o planeta podem ser verificadas nas figuras IV.6 e IV.7. Em regiões situadas nas proximidades do equador, como o Nordeste do Brasil, verificam-se as melhores condições para a instalação de sistemas de conversão de energia solar, devido aos altos índices de insolação e a pouca variação dos mesmos durante o ano.

A radiação emitida pelo sol é denominada radiação solar total ou global e pode ser dividida espacialmente em duas componentes: a radiação direta e a radiação difusa. A radiação direta é aquela recebida do sol sem ter sido dispersa pela atmosfera, enquanto que a difusa é a parcela da radiação solar que teve sua direção mudada por dispersão ao atravessar a atmosfera. A radiação difusa que atinge uma superfície horizontal corresponde a cerca de 16% da radiação total, quando o sol se encontra sobre o meridiano local, e pode alcançar 25%, 5 horas antes ou depois do meio dia solar, para um céu totalmente descoberto (Heywood, 1966).

Para a escolha de um equipamento que utilize energia solar é necessário prever a quantidade de energia disponível no local de instalação ao longo do ano inteiro. Para isso, é preciso conhecer os dados de radiação solar direta e difusa do local considerado ou fazer uso de modelos que permitam estimar estes valores, a partir de dados da radiação global incidente coletados em estações meteorológicas.

IV.5.2 - CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR

A utilização da energia solar requer sua transformação em outras formas de energia, tais como: elétrica, mecânica, química ou energia interna de uma substância. A forma de conversão é, portanto, um fator determinante da tecnologia de captação a ser empregada.

A conversão da energia solar pode ser dividida basicamente em duas formas: conversão direta e conversão térmica.

a) conversão direta

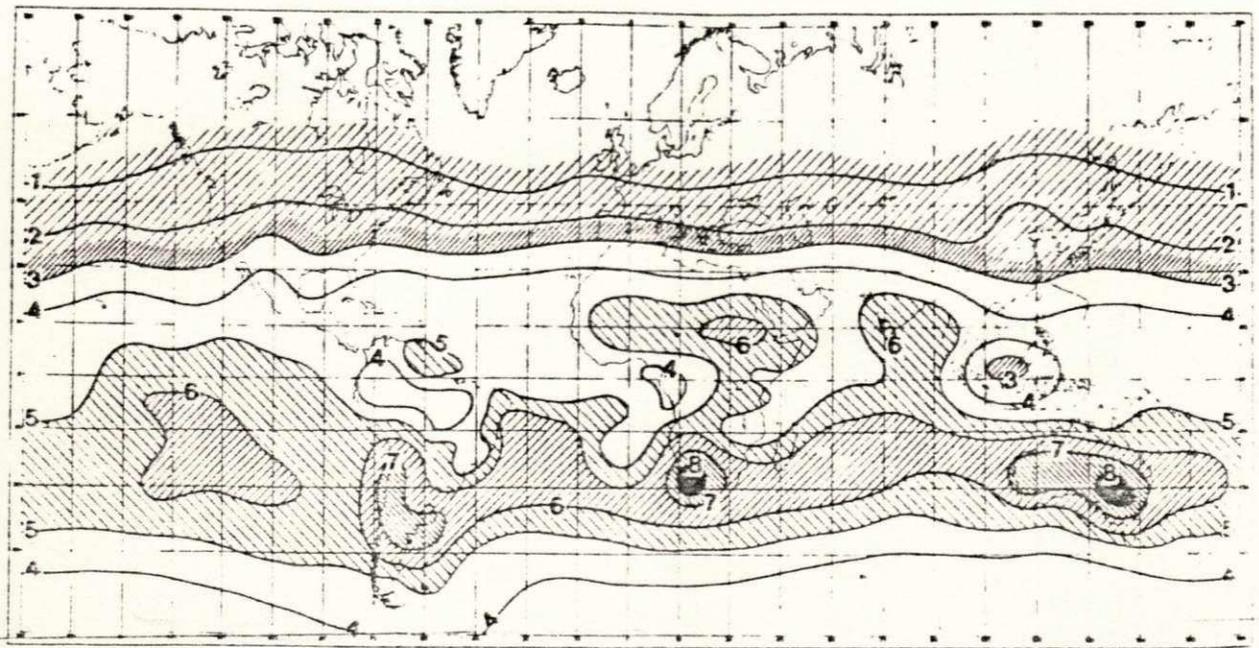


FIGURA IV.6 - Valores de radiação solar total no Mundo médias diárias em janeiro ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$)

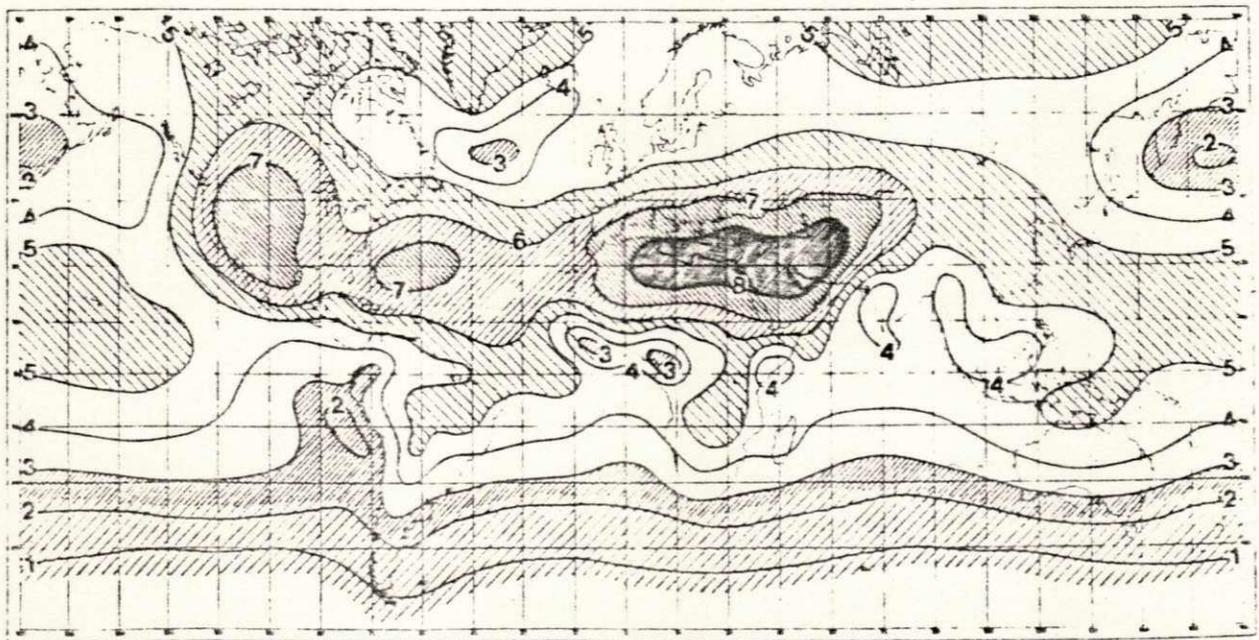


FIGURA IV.7 - Valores de radiação solar total no Mundo médias diárias em julho ($\text{kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$)

FONTE: PALZ, 1981

Nos processos de conversão direta, a radiação solar é transformada em energia potencial de ligação química, destacando-se dentre estes processos a conversão fotoquímica, a conversão fotossintética e a conversão fotoelétrica.

Na conversão fotoquímica, a energia radiante é utilizada como aporte energético na reação de formação de um composto químico. O produto destas reações, em geral reações de redução, pode ser queimado ou oxidado controladamente, com reversão ao estado inicial, liberando energia sob a forma de calor ou eletricidade.

A conversão fotossintética se processa através de reações químicas, com a interveniência de agentes orgânicos. O mais conhecido e importante processo de conversão fotossintética de energia solar é a fotossíntese, mecanismo de obtenção de energia potencial de ligação química desenvolvido pelas plantas. Esta energia acumulada nos combustíveis derivados da biomassa, tais como lenha, álcool, biogás, carvão vegetal, etc..., é liberada durante sua queima.

A conversão fotoelétrica consiste na transformação direta de energia luminosa em corrente elétrica. Os elementos de captação, chamados fotocélulas, são ligados em série, constituindo painéis. Estes painéis já são comercializados para diversas aplicações descentralizadas, tais como bombeamento e iluminação, embora seus custos sejam ainda relativamente elevados e sua eficiência baixa. Sistemas fotoelétricos utilizados para geração de energia elétrica em grande escala ainda se encontram bastante aquém de se tornarem economicamente competitivos com sistemas convencionais de produção de eletricidade. A redução dos custos de produção das fotocélulas e o aumento de sua eficiência tem sido objeto de inúmeras pesquisas. Nas últimas décadas, já se diminuiu consideravelmente os custos de energia solar fotoelétrica. Por exemplo, uma instalação de 1 kW elétrico custava cerca de 80 mil dólares no fim da década de 50, quando foram lançados os primeiros satélites artificiais, e atualmente custa menos de 10 mil dólares (Kluppel, 1988). Além disso, os sistemas fotoelétricos apresentam custos operacionais e de manutenção mínimos, com longa durabilidade.

b) conversão térmica

O processo de conversão térmica da energia solar consiste na transformação da radiação solar em calor, o qual pode ser transferido a um fluido de trabalho para geração de potência mecânica, ou simplesmente convertido em energia interna de uma determinada substância. Através da conversão térmica, pode-se obter também energia elétrica, utilizando-se os efeitos termoelétrico e termoiônico. Todavia, estes processos não são de grande importância, por apresentarem rendimentos extremamente baixos. Serão abordados a seguir os principais processos envolvendo a conversão térmica, quais sejam: aquecimento, conversão mecânica e conversão termoquímica.

Nos processos de aquecimento, calor é transferido para um fluido que é usado como meio de transporte entre o ponto de absorção da energia solar (coletor) e o ponto de utilização.

Para aplicações a baixas temperaturas (até 100°C), os dispositivos empregados são coletores planos, constituídos de uma caixa isolada termicamente contendo no seu interior uma superfície negra que eleva a temperatura de um fluido caloportador (geralmente água ou ar). Os coletores planos são empregados principalmente para aquecimento de água residencial e industrial, secagem de cereais, peixes, carnes, frutos e argilas, além de serem usados para destilação. São de fácil construção, exigem pouca manutenção, empregam materiais disponíveis no mercado e são economicamente competitivos. A tabela IV.21 relaciona a área de um coletor plano com a temperatura de utilização (T_0) de 1 ton de água inicialmente a 25°C . Os valores apresentados correspondem a 1 dia de funcionamento do coletor sob as condições climáticas de João Pessoa ($7^{\circ} 8' \text{ S}$, $34^{\circ} 50' \text{ W G}$). A tabela mostra também a equivalência energética com o óleo BPF e com a energia elétrica para a mesma aplicação industrial.

Tabela IV.21 - Relação entre a área de um coletor plano e a temperatura de utilização (T_o) de 1 ton de água inicialmente a 25°C

T_o ($^{\circ}\text{C}$)	área (m^2)	óleo BPF (kg)	eletricidade (kWh)
30	1,6	0,63	6,11
40	5,4	1,90	18,32
50	10,0	3,16	30,32
60	15,6	4,42	42,73
70	23,3	5,69	54,93
80	35,0	6,95	67,17
90	53,7	8,22	79,43

FONTE: Kluppel, 1988

No Japão, o emprego de instalações de aquecimento de água para uso doméstico já representa uma economia superior a 0,25% de sua demanda energética total (Kluppel, 1988).

Para a conversão térmica de média temperatura (de 100 a 500°C), são utilizados coletores de concentração ou coletores planos de alta eficiência, mais complexos e de custos mais elevados que os descritos anteriormente. Coletores de concentração são dispositivos sofisticados, constituídos basicamente de superfícies refletoras cilíndricas ou esféricas que produzem uma região de alta concentração energética, denominada foco, por onde um fluido recebe calor. Os modelos com superfícies cilíndricas operam com foco linear, enquanto os com superfícies esféricas trabalham com foco pontual. Estes coletores são utilizados principalmente em processos industriais (produção de vapor, préaquecimento) e em sistemas de destilação em larga escala. A tecnologia empregada na fabricação das superfícies refletoras dos coletores de concentração eleva os custos da energia produzida por estes dispositivos.

Nos processos de aquecimento a alta temperatura (de 500 a 3.000°C), utiliza-se coletores de alta concentração, destacando-se entre estes, os fornos solares, usados principalmente para produção de óxidos refratários, síntese de gases e em processos metalúrgicos.

Os rendimentos dos sistemas de conversão térmica para aquecimento variam geralmente entre 70%, para conversão de baixa

temperatura (coletores planos), até menos de 10%, em coletores de alta concentração.

A conversão térmica da energia solar para produzir trabalho mecânico é obtida mediante o emprego de dispositivos que operam em ciclos termodinâmicos. As máquinas térmicas de combustão externa, como motores Stirling, ou sistemas operando em ciclo Rankine são os dispositivos mais utilizados. A queima de combustíveis neste caso é substituída pela captação da radiação solar através de coletores de concentração, que é transferida a um fluido de trabalho. Geralmente, os sistemas de conversão termodinâmica constituem centrais solares para geração de eletricidade. Estas centrais utilizam um campo de coletores (heliostatos), que podem ser parabolóides de revolução (sistema disco), cilindro-parabólicos (sistema calha) ou planos (sistema torre).

O sistema disco opera com ciclo Stirling e utiliza o ar como fluido de trabalho. No sistema calha, um fluido caloportador sintético, circulando no foco dos concentradores (ciclo primário), transfere calor a um fluido de trabalho (água) operando em um ciclo de Rankine (ciclo secundário), substituindo assim a caldeira que é usada para geração de vapor. O sistema torre concentra em um único foco fixo os raios solares refletidos em vários heliostatos, que acompanham o movimento relativo do sol. O processo de geração de potência é idêntico àquele utilizado no sistema calha.

A conversão termoquímica constitui um importante aspecto da conversão térmica, através da qual calor é transferido em reações químicas reversíveis, que podem ser usadas para armazenar energia. A energia estocada pode ser utilizada para aquecimento ou em ciclos de refrigeração. Por exemplo, o ácido sulfúrico ou o sulfeto de sódio podem ser usados para calefação, com o processo de fornecimento de calor regulado pela rehidratação progressiva do produto seco. Em ciclos de refrigeração pode-se empregar os pares amônia-água ou brometo de lítio-água, os mais tradicionalmente utilizados em sistemas de refrigeração por absorção.

Um importante progresso na tecnologia de utilização de

reações termoquímicas foi o emprego de reações de adsorção sólida. As principais vantagens da refrigeração por adsorção sólida em relação aos sistemas de absorção são o fácil manejo dos adsorventes e a possibilidade do uso de coletores solares planos. Atualmente nos EUA já é comercializada uma geladeira solar de adsorção usando zeólita e água, enquanto na Alemanha se estuda a utilização do gel de sílica em sistemas de condicionamento de ar em ciclo aberto (Kluppel, 1985).

IV.5.3 - ENERGIA SOLAR NO MUNDO

A conversão direta por meio de fotocélulas para geração elétrica e a conversão térmica por coletores planos, ambas atendendo a projetos de pequeno porte, encontram-se difundidas por todo o Mundo.

A nível de grandes projetos, podemos citar o uso em destiladores solares (Bezerra, 1986):

Patmos, Grécia	27.600	litros/dia
Las Salinas, Chile	15.600	" "
Coober Pedy, Austrália	6.700	" "

Os mais importantes projetos de conversão térmica que empregam o sistema torre são (Bezerra, 1986):

- a) Georgia Tech (EUA) - 400 kW solar com torre de 20 metros de altura, 550 heliostatos de 1,10 metros de diâmetro;
- b) Sandia (EUA) - 5 MW solar com torre de 61 metros de altura e 222 heliostatos contendo 24 espelhos cada de 1,50 metros quadrados;
- c) Barstow (EUA) - 10 MW elétrico e 35 MW solar com torre de 91 metros de altura e 2.000 heliostatos de 38 metros quadrados.

Merece destaque também a utilização da tecnologia SEGS ("Solar Electric Generating System"). Esta tecnologia é constituída basicamente por um campo solar (coletores do tipo calha móveis), um sistema de geração de vapor e um conjunto de turbinas. Existem atualmente oito unidades em operação comercial na Califórnia, gerando uma potência elétrica total de 274 MW (Flachglas Solartechnik, 1990).

No campo da geração fotoelétrica, foi instalada em 1988 na

Alemanha uma unidade com capacidade de 340 kW. O objetivo deste projeto é a comparação entre diferentes tecnologias de fotocélulas, inversores, técnicas de instalação e estruturas de suporte (Beyer et alli, 1990).

IV.5.4 - ENERGIA SOLAR NO BRASIL

A semelhança do que ocorre com a energia eólica, o aproveitamento da energia solar no Brasil é insignificante perante as excelentes condições climáticas existentes em vastas áreas do território brasileiro. Como a quase totalidade da energia elétrica no Brasil é de origem hidráulica, a energia solar poderia exercer um valioso papel de complementação pois sua maior disponibilidade seria justamente em períodos secos quando os níveis das barragens atingem valores críticos. O Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba possui uma posição de destaque em quantidade e qualidade de pesquisas neste setor energético. O LES tem desenvolvido desde a década de 1970 pesquisas em aquecedores e destiladores de água, secadores de alimentos, coletores de concentração e refrigeradores.

IV.5.5 - POTENCIAL PARA UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE

Para uma avaliação do potencial de energia solar de qualquer localidade são necessários basicamente os seguintes dados: radiação global e suas componentes direta e difusa, insolação efetiva (período de tempo no qual o Sol não é coberto por nuvens) e insolação difusa (duração total do dia menos a insolação efetiva). As tabelas seguintes apresentam os dados referentes a Campina Grande, fornecidos pelo Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba.

a) Radiação Global Diária

Os dados referentes à radiação global diária, expressos em cal/cm^2 , para o município de Campina Grande constam da tabela IV.22. Durante oito meses, de setembro a abril (período que engloba o verão), os valores médios diários ficaram acima de 400

1988 . constante conversao 16.47

IRRADIACAO GLOBAL DIARIA (cal/cm2)

dia	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	465	526	557	336	353	502	383	267	263	473	458	533
2	467	430	536	441	301	432	381	319	444	492	519	533
3	517	541	492	514	269	382	216	517	448	555	519	511
4	455	442	498	460	299	453	316	244	429	610	522	585
5	502	392	574	478	314	432	-	371	344	490	631	509
6	424	430	594	560	316	324	210	358	526	408	514	563
7	472	536	505	339	386	311	299	292	560	466	604	479
8	477	466	540	475	459	232	185	343	358	534	375	311
9	351	565	432	494	293	311	235	168	322	546	524	324
10	578	594	533	292	406	180	318	430	373	541	506	492
11	412	564	399	461	403	397	452	445	329	521	543	395
12	366	620	620	375	326	245	446	407	399	457	338	556
13	553	552	492	383	341	-	218	440	470	445	400	571
14	541	353	387	363	481	-	311	292	492	533	512	484
15	492	538	552	419	221	-	245	375	455	464	562	472
16	550	464	572	360	391	-	266	334	458	502	608	526
17	522	560	339	487	301	301	333	366	443	447	478	361
18	500	480	579	455	399	219	284	306	450	464	565	160
19	497	524	349	205	264	491	313	306	438	521	390	447
20	511	581	510	436	359	478	408	495	412	521	446	541
21	409	569	442	480	198	392	449	296	453	598	477	524
22	426	586	514	394	186	250	258	507	575	548	-	423
23	595	-	486	463	286	324	343	333	516	600	-	430
24	536	336	416	309	303	267	308	489	453	565	-	203
25	444	428	435	441	373	301	190	459	451	555	-	496
26	470	497	514	507	433	410	418	499	485	611	511	437
27	534	481	521	334	406	435	301	349	478	539	539	469
28	512	288	536	361	457	292	253	420	572	600	550	472
29	516	490	485	217	408	348	303	365	407	490	463	524
30	577		288	244	419	262	389	554	461	510	373	536
31	531		399		444		264	427		524		544
Med	490	496	487	403	348	345	310	378	442	522	497	464
Max	595	620	620	560	481	502	452	554	575	611	631	585
Min	351	288	288	205	186	180	185	168	263	408	338	160
dados	31	28	31	30	31	26	30	31	30	31	26	31

OBS. Dados processados pelo Setor Solarimetria do DCA-UFPB
Estacao do DIMEI operada pelo CNPA-EMRAPA

TABELA IV.22

cal/cm² (16,748 MJ/m²), com o mês de outubro acusando o valor mais elevado com 522 cal/cm² (21,856 MJ/m²). No período de maio a agosto (inverno), os valores médios diários ficaram na faixa entre 300 e 400 cal/cm² (12,561 e 16,748 MJ/m²), com o mês de julho acusando o mais baixo valor com 310 cal/cm² (12,980 MJ/m²).

A tabela IV.23 fornece a radiação difusa em cal/cm². Como explicado anteriormente, este dado indica a parcela da radiação global que é dispersa na atmosfera e não vem diretamente do sol. Logicamente, quanto menor for esta componente, melhor será do ponto de vista energético, pois maior será a incidência da radiação direta. A partir dos valores médios diários, podemos estabelecer a porcentagem de participação da componente difusa em relação à radiação global (ver tabela IV.24). Durante quatro meses, de maio a agosto, a radiação difusa representa mais de 40% da radiação global, atingindo seu valor máximo no mês de julho com 51% de participação; nos outros meses do ano os valores oscilam entre 30 e 40%.

Tabela IV.24 - Participação da Componente Difusa em Relação à Radiação Global em Campina Grande (%)

janeiro	33
fevereiro	31
março	31
abril	38
maio	42
junho	42
julho	51
agosto	42
setembro	39
outubro	32
novembro	33
dezembro	37

FONTE: Departamento de Ciências Atmosféricas/UFPB

O mapa IV.5 fornece uma visão relativa do potencial de Campina Grande em relação ao potencial da região Nordeste do Brasil. A radiação solar global média é expressa em cal/cm².dia. Os valores encontrados para Campina Grande (450 cal/cm².dia ou

1988 constante conversão 16.47

IRRADIAÇÃO DIFUSA (cal/cm²)

dia	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	168	122	132	176	186	69	130	198	176	159	175	141
2	137	233	190	146	193	117	108	181	183	163	156	166
3	127	168	135	136	170	132	150	76	182	156	137	168
4	154	149	142	134	206	107	150	181	178	168	134	111
5	161	139	125	146	203	110	173	175	200	182	73	210
6	197	144	122	115	188	147	168	158	154	159	170	126
7	163	130	147	161	210	176	176	173	193	209	100	156
8	159	170	118	144	78	178	131	186	188	200	192	217
9	105	125	103	146	178	156	171	126	221	202	153	223
10	132	103	185	153	125	147	193	148	193	188	143	203
11	202	120	197	176	158	120	108	153	187	185	151	202
12	234	92	168	209	196	142	103	136	170	218	212	161
13	156	152	248	168	135	143	168	150	159	190	243	129
14	114	212	176	185	87	198	153	192	153	161	144	210
15	168	154	164	176	148	186	176	150	148	175	124	181
16	141	188	122	161	121	168	188	193	134	180	126	192
17	156	110	194	134	188	199	163	165	171	171	202	210
18	153	171	89	114	126	170	205	195	154	185	173	109
19	153	128	142	142	186	54	185	185	198	166	215	186
20	185	132	79	154	143	92	105	175	278	170	202	131
21	-	151	120	107	148	196	126	193	207	142	166	133
22	187	137	125	149	138	186	146	124	115	152	-	208
23	136	99	146	168	180	166	198	192	115	146	-	232
24	195	135	146	193	178	158	188	121	159	142	-	176
25	180	130	173	153	116	155	155	146	170	125	-	195
26	178	182	156	122	91	119	123	143	175	116	166	156
27	166	149	130	222	93	110	170	170	170	142	151	176
28	178	187	146	136	87	181	181	134	129	140	136	161
29	166	212	175	154	115	143	208	175	185	146	200	173
30	112		139	180	111	133	155	82	187		214	161
31	148		195		70		183	161		164		144
Media	160	155	149	155	147	145	159	159	174	167	164	173
maxim	234	233	248	222	210	199	208	198	278	218	243	232
minim	105	92	79	107	70	54	103	76	115	116	73	109
dados	30	29	31	30	31	30	31	31	30	30	26	31

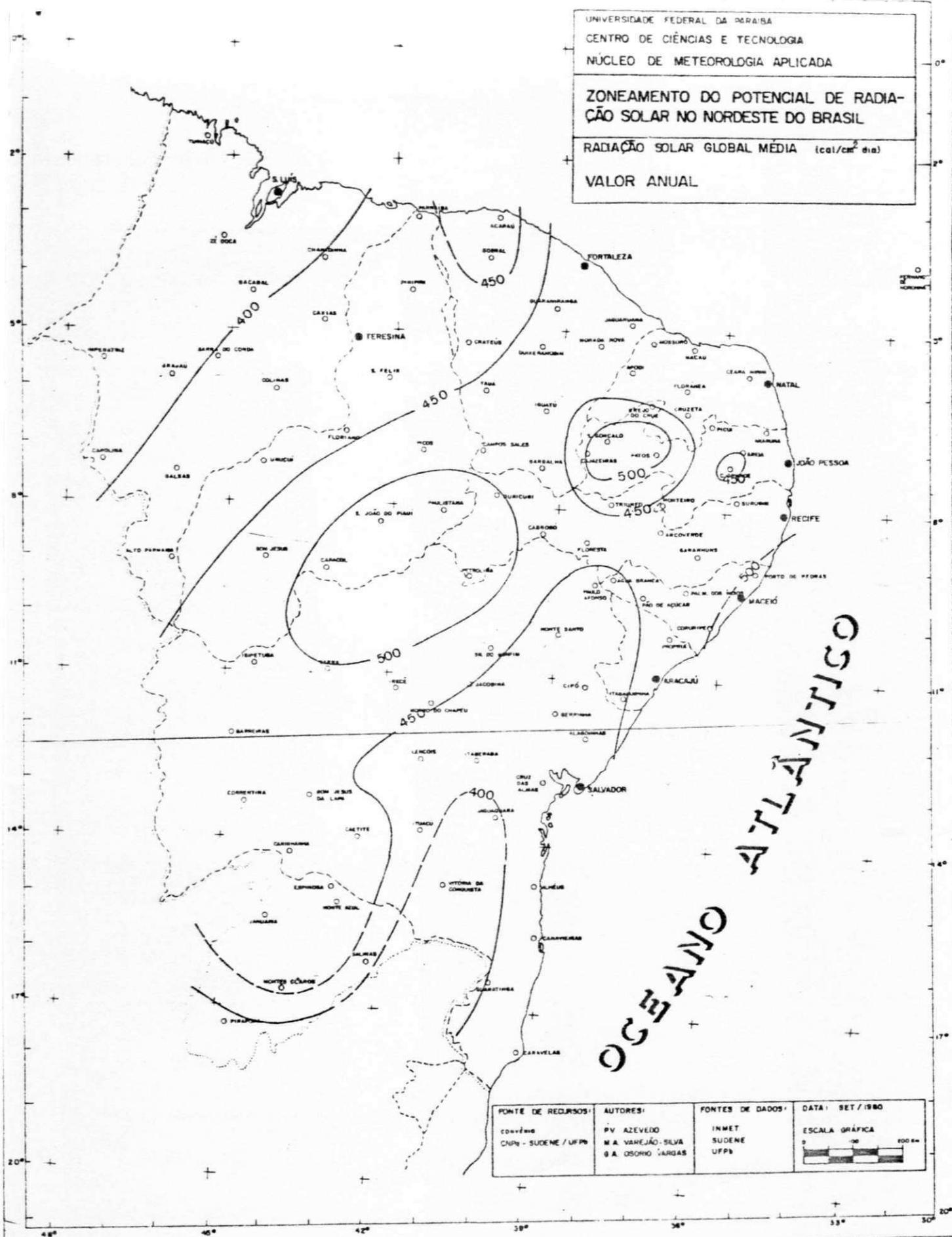
OBS. Dados processados pelo Setor de Solarimetria DCA-UFPE
Instrumento do DCA operado pelo CNPA-EMBRAPA

TABELA IV.23

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
 CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
 NÚCLEO DE METEOROLOGIA APLICADA

ZONEAMENTO DO POTENCIAL DE RADIAÇÃO SOLAR NO NORDESTE DO BRASIL

RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL MÉDIA (cal/cm² dia)
 VALOR ANUAL



PONTE DE RECURSOS: CONVEM CNPq - SUDENE / UFPA	AUTORES: PV AZEVEDO M.A. VAJEJÃO SILVA G.A. OSORIO VARGAS	FONTES DE DADOS: INMET SUDENE UFPA	DATA: SET / 1980 ESCALA GRÁFICA 0 100 200 KM
--	--	---	--

MAPA IV.5

18,842 MJ/m².dia) situam-se numa faixa intermediária entre os valores mais elevados da Região (interior da Paraíba, norte da Bahia, litoral de Alagoas, sul do Piauí e oeste de Pernambuco com 500 cal/cm².dia ou 20,935 MJ/m².dia) e os valores mais baixos (sul da Bahia e oeste do Maranhão com 400 cal/cm².dia ou 16,748 MJ/m².dia).

b) Insolação Efetiva Diária

Este dado informa a parcela de tempo em um dia na qual há incidência de radiação solar direta. Através da tabela IV.25 pode ser verificado que durante os meses de janeiro, outubro e novembro a insolação efetiva diária média atinge valores superiores ou iguais a 7,0 horas com o mês de outubro acusando o maior valor médio diário (7,9 horas). Durante os meses de abril a agosto esta insolação representa valores médios diários iguais ou inferiores a 5,0 horas, apresentando o mês de julho o menor valor (3,4 horas).

A tabela IV.26 apresenta as horas de insolação difusa diária. Os maiores valores médios diários, iguais ou superiores a 1,0 hora, são registrados nos meses de novembro a fevereiro, ficando o mês de dezembro com o valor mais elevado (1,2 horas). Os valores mais baixos são verificados nos meses de março e abril (0,5 horas).

O mapa IV.6 fornece uma visão dos valores de insolação média diária em horas encontrados na região Nordeste do Brasil. Os valores médios de Campina Grande (7 horas/dia) se encontram numa posição intermediária entre os valores mais baixos (5 horas/dia nas proximidades de Vitória da Conquista/Bahia) e os valores mais elevados da Região (8,5 horas/dia no interior da Paraíba).

A análise dos valores de radiação global e de suas componentes direta e difusa, assim como dos períodos de insolação efetiva e difusa encontrados revelam não existirem condições para instalação no Município de centrais solares baseadas na conversão térmica a alta temperatura para fins de geração de energia elétrica. No entanto, estes mesmos valores justificam a implantação de sistemas de conversão térmica a baixa temperatura (coletores planos) em suas diversas aplicações.

Destacam-se dentre estas aplicações o aquecimento de água

BOLETIM SOLARIM. 2

CAMPINA GRANDE (PB)

7º 13'S 35º 53'W alt 551 m

1988		INSOLACAO EFETIVA DIARIA (horas)											
dia	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
1	5.7	7.7	7.2	2.9	1.7	9.8	8.5	1.2	.5	8.0	8.1	9.0	
2	7.5	1.3	9.0	5.2	1.3	8.6	.4	3.3	5.2	6.4	8.5	7.4	
3	8.6	7.0	6.4	7.8	.7	8.1	0.0	9.9	7.7	9.2	8.5	6.5	
4	8.0	7.0	8.7	8.3	2.6	9.1	4.0	1.2	7.4	9.6	7.9	10.7	
5	7.4	3.4	9.3	7.8	1.2	7.8	0.0	4.9	1.1	7.8	9.8	1.6	
6	4.5	9.2	8.8	9.6	11.0	4.7	7.5	4.7	10.0	4.2	9.6	9.1	
7	6.1	9.2	9.1	6.7	5.0	3.4	0.0	0.0	4.2	8.4	9.6	6.4	
8	6.7	6.8	9.2	1.1	8.5	.6	.8	2.7	1.0	9.6	.4	.3	
9	4.1	9.3	6.9	4.5	1.8	2.9	5.2	0.0	1.0	9.5	9.0	.9	
10	9.5	9.2	8.3	3.4	8.1	.4	1.5	5.0	1.8	.6	9.0	5.4	
11	2.3	8.2	5.4	7.1	6.5	7.6	9.3	8.4	.9	7.6	8.5	3.6	
12	.3	9.3	9.6	2.9	1.5	.2	9.3	8.5	4.1	6.6	.8	9.8	
13	9.3	7.2	8.4	2.7	4.4	0.0	.8	8.4	7.5	5.4	2.7	9.1	
14	10.8	1.4	4.8	2.0	9.4	1.7	4.3	2.3	7.9	8.7	10.2	4.9	
15	7.7	7.8	7.4	4.5	1.0	5.4	.1	1.9	7.4	5.9	9.7	6.3	
16	8.0	5.0	9.0	4.1	5.0	3.2	0.0	4.9	8.2	7.4	9.5	5.6	
17	8.7	8.8	1.8	9.1	2.3	.3	1.8	5.6	6.2	7.4	5.7	1.7	
18	8.5	5.7	9.6	7.2	6.5	.1	1.4	2.4	7.6	7.3	10.5	0.0	
19	8.9	8.1	5.0	0.0	1.1	9.6	1.7	2.6	5.9	8.7	2.9	3.5	
20	9.6	10.0	7.5	5.6	4.6	9.5	9.1	7.4	5.1	8.1	3.8	9.0	
21	4.3	9.0	6.6	8.5	.6	2.9	9.8	2.2	7.3	9.7	8.2	8.5	
22	6.1	9.7	7.9	5.7	.2	.9	2.8	9.9	9.8	9.6	9.9	4.9	
23	8.9	2.1	7.7	5.6	.5	2.6	4.3	4.4	9.3	10.1	.5	.3	
24	9.2	9.4	.8	.8	2.9	2.5	2.3	9.7	7.6	8.4	11.0	7.1	
25	5.6	3.6	2.7	7.7	7.8	.6	0.0	8.2	7.6	9.9	5.3	5.3	
26	8.3	5.3	7.8	9.9	8.7	8.2	7.4	9.0	8.7	9.5	9.0	3.5	
27	9.4	.4	5.6	2.6	7.1	8.0	4.0	3.6	7.3	9.2	8.1	6.7	
28	8.1	4.8	7.5	5.1	9.3	.1	1.0	5.3	8.4	9.6	8.2	8.5	
29	6.6	.5	7.3	.1	9.2	7.5	1.9	2.6	4.8	8.2	3.6	7.3	
30	9.4		1.2	0.0	7.3	1.5	5.2	7.3	6.1	7.4	2.8	7.3	
31	9.8		2.5		8.9		.8	6.6		8.1		7.3	
Med	7.4	6.4	6.7	5.0	4.7	4.3	3.4	5.0	5.9	7.9	7.0	5.7	
Max	10.8	10.0	9.6	9.9	11.0	9.8	9.8	9.9	10.0	10.1	11.0	10.7	
min	.3	.4	.8	0.0	.2	0.0	0.0	0.0	.5	.6	.4	0.0	
dados	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	

OBS. Dados processados pelo Setor Solarimetria do DCA-UFPB
Estacao do DHNET operada pelo CNPA-EMERAPA

TABELA IV.25

BOLETIM SOLARIM. 2

CAMPINA GRANDE (PB) 7º 13'S . 35º 53'W alt 551 m

1988 INSOLACAO DIFUSA DIARIA (horas)												
dia	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	2.8	1.5	.3	.2	1.3	.2	.3	.7	.1	.4	.9	.4
2	1.5	1.6	.6	.2	2.0	.9	.2	.4	.3	1.1	.4	1.4
3	1.0	1.5	.3	.4	2.1	.2	0.0	.2	.4	.3	.5	1.3
4	1.4	1.1	.3	.8	.3	.4	1.3	.5	.2	.7	1.1	.6
5	1.7	.8	.5	.6	1.1	.4	.1	.5	1.4	.4	.4	4.2
6	1.2	.5	.4	.3	.8	.3	.9	1.2	.6	.5	.8	.6
7	.9	1.0	.4	.5	2.8	.5	2.1	1.0	.4	.6	.7	.8
8	1.4	.8	.2	.5	.4	.4	.2	1.0	.3	.7	1.4	.7
9	.6	.4	.1	1.9	1.6	1.5	.8	0.0	.3	.3	.8	.9
10	.8	.5	.2	.2	.3	.2	.7	.8	2.0	.5	.9	1.4
11	1.3	1.0	.6	1.4	.3	.2	.3	.8	.1	.8	1.0	1.4
12	.5	1.3	.3	.4	1.4	2.1	.2	.4	.9	.9	.3	.8
13	1.2	1.9	.3	.5	1.0	0.0	.1	.8	1.0	.7	.8	.5
14	.6	.8	.4	1.4	.5	2.2	1.3	.3	.9	.4	.2	2.2
15	.9	.8	.4	1.3	.2	1.0	1.1	2.6	.6	1.1	.4	.9
16	.6	.9	.1	.1	2.7	2.0	.5	.6	.4	.9	1.0	.9
17	.9	.8	.5	.2	.5	.5	1.7	.4	.3	.4	1.1	.9
18	.6	1.9	.1	0.0	.8	0.0	.7	.4	1.2	.4	.4	0.0
19	.7	1.5	.3	.6	.2	.2	2.3	.3	1.1	.8	1.7	3.1
20	1.3	1.0	.3	.4	1.4	.1	.8	1.0	1.3	.9	1.2	.5
21	1.1	1.5	.2	.2	.3	.6	.3	.2	1.1	.6	1.4	.5
22	1.4	.7	.1	.3	.6	.2	.8	.3	.2	.4	.9	1.7
23	1.0	.6	.6	.3	1.3	.9	1.2	.3	.3	.1	.7	.4
24	.9	.5	.3	.6	.8	1.2	.7	.3	.8	.4	.2	1.0
25	1.3	.7	1.5	.1	.3	1.2	.1	.5	.7	.3	2.2	.8
26	1.1	1.5	.7	.5	.9	.3	.6	.8	.7	.4	1.2	1.3
27	.8	.4	2.9	.6	.5	1.2	.6	1.1	.8	.3	.8	.9
28	.9	.8	.2	.7	.5	.3	.7	2.0	.6	.5	.8	1.0
29	1.7	4.4	.5	.1	.2	.6	1.1	1.4	1.0	.4	2.8	2.4
30	.4		1.3	0.0	.4	.3	.5	3.1	1.0	.3	1.8	2.1
31	.9		.6		.8		.4	.6		.8		1.1
Med	1.1	1.1	.5	.5	.9	.7	.7	.8	.7	.6	1.0	1.2
Max	2.8	4.4	2.9	1.9	2.8	2.2	2.3	3.1	2	1.1	2.8	4.2
min	.4	.4	.1	0	.2	0	0	0	.1	.1	.2	0
dados	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31

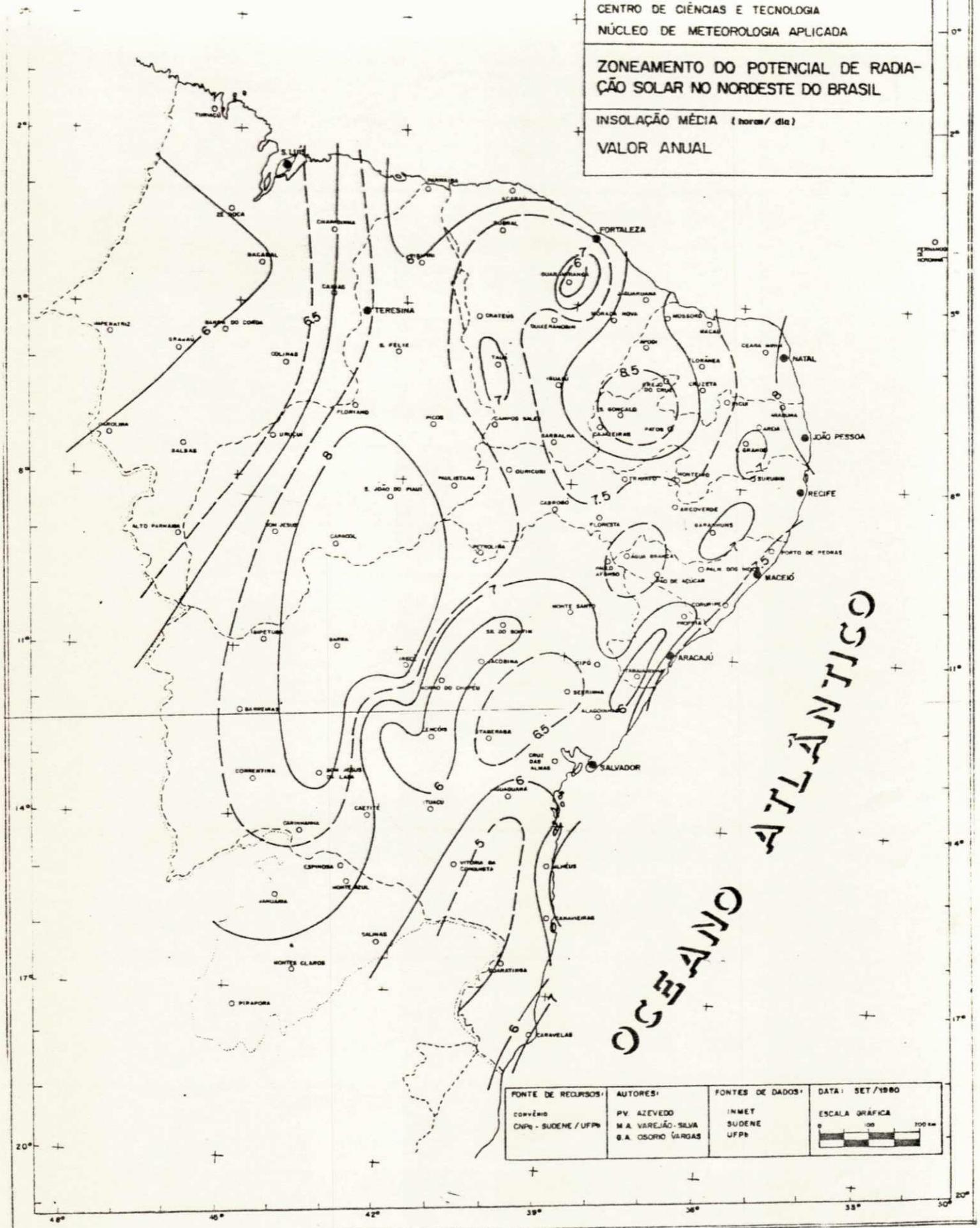
OBS. Dados processados pelo Setor Solarimetria do DCR-UFPE
Estacao do DNHEI operada pelo CNPA-EMBRAPA

TABELA IV.26

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
 CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
 NÚCLEO DE METEOROLOGIA APLICADA

ZONEAMENTO DO POTENCIAL DE RADIAÇÃO SOLAR NO NORDESTE DO BRASIL

INSOLAÇÃO MÉDIA (horas/dia)
 VALOR ANUAL



FONTE DE RECURSOS: CONVÊNIO CNPq - SUDENE / UFPA	AUTORES: PV. AZEVEDO M.A. VAREJÃO SILVA S.A. OSÓRIO VARGAS	FONTES DE DADOS: INMET SUDENE UFPA	DATA: SET/1980 ESCALA GRÁFICA 0 100 200 km
--	---	---	--

MAPA IV.6

para fins domésticos e industriais, a secagem de alimentos, minerais, etc..., e a destilação de água salobra para consumo animal e humano em comunidades do meio rural campinense. Uma aplicação bastante atrativa para o município é a utilização de coletores a água, com escoamento por gravidade, que são de construção mais simples e mais baratos que os coletores planos clássicos. Tais coletores são adequados para processos de aquecimento a temperaturas relativamente baixas e podem aquecer simultaneamente ar. Resultados da simulação de um coletor deste tipo (Leite e Daguinet, 1991) mostram que seu emprego em processos industriais pode ser de grande utilidade, como por exemplo, em curtumes que utilizam água e ar a temperaturas moderadas para o curtimento e a secagem das peles.

IV.6 - CONCLUSÃO

As alternativas analisadas revelam um potencial energético com viabilidade de sua utilização por parte do município de Campina Grande.

O potencial consumidor de gás natural em Campina Grande é avaliado em aproximadamente 911 mil m^3 /mês. O gás natural substituiria o óleo diesel, o óleo combustível, a lenha e o carvão vegetal do setor industrial, além do óleo diesel consumido pelo setor de transporte público.

O potencial da biomassa pode ser explorado através da fermentação de resíduos orgânicos. A instalação de usinas de compostagem, para tratamento do lixo residencial e da feira de Campina Grande, produziria adubo, além da melhoria das condições de saúde pública. A utilização da fermentação anaeróbica, através de biodigestores, produziria um potencial de cerca de 15 mil m^3 de biogás/dia no município.

O potencial eólico encontrado em Campina Grande é compatível à instalação de cataventos múltiplos e Savonius para bombeamento de água na zona rural do município. Este potencial viabiliza também a implantação de aerogeradores de pequeno porte (modelos de 1 ou 2 hélices) visando a produção de energia elétrica para os estabelecimentos rurais.

O potencial de energia solar do município viabiliza a instalação de sistemas de conversão térmica a baixa temperatura (coletores planos). As principais aplicações destes sistemas seriam o aquecimento de água para fins domésticos e industriais, a secagem de alimentos e minerais e a destilação de água salobra.

CAPÍTULO V

CONCLUSÃO GERAL

As diferentes formas de uso da energia por parte da humanidade, ao longo de sua evolução histórica, demonstram que a mesma deve ser estudada não apenas em seu conteúdo técnico, mas também em suas relações com os campos econômico e social. A energia é um meio para se atingirem objetivos, nunca um fim.

Dentro desta ótica, se faz necessário o estudo de metodologias de planejamento energético que busquem o desenvolvimento de regiões do Mundo condenadas, no presente, à uma falta de perspectiva. A proposta de um planejamento energético a nível municipal, desenvolvida neste trabalho, pode contribuir na elaboração destas estratégias de desenvolvimento.

A análise da matriz energética do município de Campina Grande revela uma conjuntura que, em seus aspectos fundamentais, não se diferencia da realidade existente na quase totalidade dos municípios brasileiros. Há um quadro de dependência externa de insumos energéticos, originados, em sua maior parte, em sistemas centralizados representados por projetos de grande porte com altos custos de instalação e operação. Paralelamente, é insignificante o papel exercido pelos recursos energéticos internos, que poderiam ser utilizados através de projetos de pequeno e médio porte. A pesquisa de uma utilização mais planejada dos sistemas centralizados e descentralizados de energia constitui, portanto, um desafio não só para Campina Grande mas para a grande maioria dos municípios brasileiros.

Outro aspecto analisado, que é encontrado na matriz energética da quase totalidade dos municípios brasileiros, e em especial do Nordeste, é a significativa participação da lenha e do carvão vegetal. O fim da derrubada de matas nativas para obtenção de lenha e/ou carvão será conseguido não com leis e multas, mas com alternativas energéticas técnica e economicamente viáveis. A comunidade universitária brasileira, e de Campina

Grande em particular, possui um importante papel na busca destas alternativas.

A implementação das alternativas energéticas propostas para Campina Grande neste trabalho tem como pré-requisito indispensável a existência, no município, de um corpo de especialistas nestas diferentes fontes. Seguindo uma tendência consolidada no presente por outras companhias, a transformação da Companhia de Eletricidade da Borborema em companhia energética contribuiria de maneira significativa para a superação deste desafio.

Estudos futuros devem ser realizados visando determinar a viabilidade econômica destes projetos para cada situação específica de utilização em Campina Grande. Esta viabilidade será determinada pela comparação de custos entre as diferentes possibilidades de energização. As metodologias mais modernas de planejamento energético apontam para a implementação de sistemas híbridos, ou seja, o uso integrado de diversas fontes em uma aplicação específica. A alternância é determinada pelas respectivas disponibilidades, o que determina o grau de participação de cada fonte para satisfazer necessidades locais de energia.

BIBLIOGRAFIA

1. Alencar, F., Ramalho, L. C. e Ribeiro, M. V. T. - "História da Sociedade Brasileira", Livro Técnico, 1985
2. Araújo, T. S. e Simões, F. J. - "Energia Eólica", Fontes Alternativas de Energia para a Agricultura, MEC, CAPES, ABEAS, 1985
3. Área Interdisciplinar de Energia/COPPE e Comissão das Comunidades Européias - "Energia e Desenvolvimento", Ed. Marco Zero, 1986
4. Barbalho, A. R. - "Energia e Desenvolvimento no Brasil", ELETROBRAS, Memória da Eletricidade, 1987
5. Beyer, U., Dietrich, B., Pottbrock, R. e Lotfi, A. - "Results of the first year of operation of a grid-connected 340 kWp plant", 1990
6. Bezerra, A. M. - "Aplicações Térmicas da Energia Solar", Editora Universitária/Universidade Federal da Paraíba, 1986
7. Branco, C. - "Energia Elétrica e Capital Estrangeiro no Brasil", Editora Alfa Omega, 1975
8. Brasil, Ministério da Infra-Estrutura - "Balanço Energético Nacional", 1990
9. Brasil, Ministério da Infra-Estrutura - "Estatísticas Energéticas", 1990
10. Brasil, Ministério da Infra-Estrutura - "Estatísticas Energéticas", 1991
11. Braz, W. S. / Comércio de carvão vegetal em Campina Grande - comunicação interna, 1991
12. Breitinger, J. - "Descoberta Limitada", revista Isto é Senhor, n^o 1131, 29/05/91
13. Bristoti, A. e Adams, R. I. - "Análise Econômica de um Modelo de Microdestilaria Simplificado" in IV Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 1987
14. Bristoti, A. e Adams, R. I. - "Planejamento Energético Municipal: uma Proposta para os Municípios do Rio Grande do Sul" in Revista Brasileira de Energia, vol. 1, n^o 2, 1990

15. Bristoti, A. e Silveira, E. J. T. - "Avaliação da Demanda e Oferta de Madeira, Lenha e Outras Biomassas para os Municípios do Rio Grande do Sul" in V Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 1990
16. Cabral, C. / Instituto Euvaldo Lodi, Núcleo Regional da Paraíba - comunicação interna, 1991
17. Carioca, J. O. B. e Arora, H. L. - "Biomassa - Fundamentos e Aplicações Tecnológicas", Universidade Federal do Ceará, 1984
18. Carvalho, A. S., Arora, H. L., Carioca, J. O. B., Gondim, B. C. e Silva, N. A. - "Gasogênio de Alvenaria", EMBRATER, 1987
19. Calabi, A. S., Fonseca, E. G., Saes, F. A. M., Kindi, E., Lima, J. L., Leme, M. I. P. e Reichstul, H. P. - "A Energia e a Economia Brasileira", Livraria Pioneira Editora, 1983
20. Companhia de Eletricidade da Borborema - planilhas de consumo de energia elétrica, 1991
21. CHESF - "Estudos Estatísticos da Distribuição da Radiação Solar no Nordeste", 1985
22. CHESF - "Distribuição Estatística da Energia Eólica no Nordeste", volume VII, 1987
23. CHESF - "Energia Eólica", volume V, 1987
24. Coelho, R. / Sindicato do Comércio Varejista dos Derivados de Petróleo da Paraíba - comunicação interna, 1991
25. Contreras, E. C. A. - "A Evolução do Sistema Energético após a II Grande Guerra no Mundo e no Brasil", notas de aula do curso de Planejamento Energético Global COELCE/FINEP/UFC, 1988
26. Departamento de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal da Paraíba - "Boletim Solarimétrico", número 2, setembro de 1990
27. Diógenes, A. - "Cartilha do Ferrocimento Artesanal", Universidade Federal do Ceará, 1987
28. Diniz, E. / Associação dos Industriais de Panificação, Confeitaria, Massas Alimentícias e Afins do Estado da Paraíba - comunicação interna, 1991
29. Drummond, P. H. - "Sugestões para uma Política de Desenvolvimento do Gás Natural" in IV Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 1987
30. Duffie, J. A. e Beckman, W. A. - "Solar Engineering of Thermal Processes", John Wiley & Sons, New York, 1980

31. ELETROBRAS - "Plano 2.010", 1987
32. ELETROBRAS/Fundação Padre Leonel França - "Atlas do Potencial Eólico Nacional", 1988
33. Fearnside, P. M. - "Balbina - Lições Trágicas na Amazônia", revista Ciência Hoje, volume 11, n° 64, junho de 1990
34. Flachglas Solartechnik - "A Feasibility Study for Large-Scale Solar Thermal Power Plants in Minas Gerais", 1990
35. Goldemberg, J., Johansson, T. B., Reddy, A. K. N. e Williams, R. H. - "Energia para o Desenvolvimento", T. A. Queiroz Editor, 1988
36. Gomes, I. C. e Augusto, C. - "Utilização de Gás Natural na Otimização do Uso de Energia em Diversos Setores Industriais" in V Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 1990
37. Heywood, H. - "The Computation of Solar Radiation Intensities", Solar Energy, n° 10, 1966
38. IBAMA - comunicação interna, 1991
39. IBGE - "Censo Agropecuário", 1985
40. IBGE - dados da produção agrícola e pecuária do município de Campina Grande, 1988
41. Jornal do Commercio - "O Nordeste descobre a riqueza de seus ventos", 03/09/91
42. Kluppel, R. P. - "Energia Solar", notas de aula do curso de Planejamento Energético Global COELCE/FINEP/UFC, 1988
43. Kluppel, R. P. - "Energia Solar e Suas Aplicações", Fontes Alternativas de Energia para a Agricultura, MEC, CAPES, ABEAS, 1985
44. Leite, A. P. F. e Daguinet, M. - "Performance of a Water-Trickle Solar Collector with a Simultaneous Heating of Air", XI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, São Paulo, 1991
45. Norte Gás Butano Distribuidora LTDA - comunicação interna, 1991
46. Núcleo de Fontes não Convencionais de Energia/ASTEF - "Manual de Operação e Manutenção de seu Biodigestor", Universidade Federal do Ceará, 1981
47. Núcleo de Meteorologia Aplicada/Universidade Federal da Paraíba - "Zoneamento do Potencial de Energia Solar do Nordeste", 1981

48. Ocácia, G. C., Sadhu, D. P., Loureiro, L. T. R. e Izquierdo, C. C. - "**Sistemas Eólicos Experimentais Demonstrativos no Rio Grande do Sul**" in V Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 1990
49. Oliveira, A. - "**Energia e Sociedade**", revista Ciência Hoje, volume 5, n^o 29, março de 1987
50. Oliveira, A. e Pinto Jr., H. Q. - "**Gás Natural: Redistribuindo o Excedente Econômico**" in V Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 1990
51. Palz, W. - "**Energia Solar e Fontes Alternativas**", Editora Hemus, 1981
52. PETROBRAS Distribuidora S. A. - "**Gás Natural para Fins Industriais**", 1988
53. PETROBRAS Distribuidora S. A. - "**Gás Natural**", boletim informativo, 1988
54. Prakasan, K., Carvalho R. Filho, J. V. e Perazzo Neto, A. - "**Tecnologia do Biogás**", Laboratório de Energia Biomassa, Universidade Federal da Paraíba, 1987
55. Rohatgi, J., Feitosa, E. e Corrêa, M. - "**Estratégias de Implantação de Turbinas Eólicas na Ilha do Fernando de Noronha**" in V Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro, 1990
56. SUDENE/COSERN - "**Estudo de Mercado de Gás Canalizado para o Estado do Rio Grande do Norte**", Natal, 1989
57. Superintendência de Transportes Públicos / Prefeitura Municipal de Campina Grande - comunicação interna, 1991
58. WINDIRECTIONS - "**Wind Energy during the 1980s**", volume IX, n^o 4