

**UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**Valorização Energética Sustentável
de Biomassa dos Resíduos Florestais
da Mata Atlântica (Brasil).**

Carlos Alberto dos Santos Matos

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciência e
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para
obtenção do grau de Mestre em Bioenergia

Orientadores:

Professor Doutor J.F. Santos Oliveira
Professor Doutor Ibrahim Gulyurtlu

LISBOA
2007

AGRADECIMENTOS

À Doutora Isabel Cabrita, Directora do Departamento de Engenharia Energética e Controlo Ambiental do INETI, por permitir a utilização da estrutura do departamento nas variadas etapas deste presente trabalho.

Ao Doutor J.F. Santos Oliveira, meu orientador, desejo expressar meu sincero agradecimento pela paciência, pelos conselhos, pelo apoio e atenção dados durante todo o desenvolvimento do Mestrado em Bioenergia.

Ao Doutor Ibrahim Gulyurtlu, meu co-orientador, quero agradecer pela orientação técnica, pelo apoio, e pela atenção dada durante as etapas de elaboração desta dissertação.

Ao Doutor Pedro Abelha quero agradecer o seu apoio, bem como a disponibilidade demonstrada e conselhos transmitidos durante a realização dos ensaios para a realização desta dissertação.

A Doutora Dulce Boavida, Doutora Helena Lopes e Eng^a Elvira pela colaboração e esclarecimentos pontuais prestados.

Ao Eng^o Miguel Miranda pela amizade e pelas diversas colaborações prestadas.

À Sr^a Lurdes Carvalho, do GDEH – FCT, pela prestável colaboração na execução das diversas etapas do Mestrado em Bioenergia.

À minha querida, maior incentivadora e inesquecível mãe.

À minha família por todo o apoio e compreensão.

A todos os colegas e/ou amigos que me apoiaram e incentivaram na realização deste trabalho.

RESUMO

VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA SUSTENTÁVEL DE BIOMASSA DOS RESÍDUOS FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA (BRASIL).

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o ser humano procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e maneiras alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades. Neste contexto, a produção de energia por processos de conversão menos agressivos ao ambiente, como as novas tecnologias de combustão por Leito fluidizado com recurso a fontes renováveis, como é o caso da biomassa dos resíduos florestais, vem possibilitar, com menor impacte ao ambiente, a valorização energética de um resíduo. Além disso permitirá a sua associação com programas de preservação da biodiversidade, como é o caso dos “Corredores de Biodiversidade”.

O presente trabalho teve por objectivo estudar a valorização energética dos resíduos florestais da Mata Atlântica, através da determinação e análise do comportamento térmico da biomassa de algumas espécies endémicas, através da conversão energética por meio da combustão em Leito Fluidizado, e a monitorização dos gases de combustão, controlados por legislação. Foram quatro as espécies escolhidas neste trabalho, entre àquelas mais utilizadas, actualmente, na reflorestação da Mata Atlântica. São elas a Aroeira, o Pau-Brasil, a Pitanga, e o Urucum.

O trabalho experimental permitiu concluir que os valores médios encontrados nas análises elementar e imediata das biomassa, tais como o poder calorífico superior, o material volátil, e o carbono fixo, $18,9\text{MJ.kg}^{-1}$, 72,9% (m/m), 18,5%(m/m), respectivamente, na base seca, apresentam boas condições para a valorização energética, por combustão em leito fluidizado. Neste sentido, foram realizados estudos experimentais numa instalação de bancada de combustão por leito fluidizado funcionando à pressão atmosférica, tendo-se variado a

temperatura do leito entre os 780 e 820°C, Os resultados obtidos mostraram que a essa temperatura se verificou a oxidação completa, da biomassa, em todos os ensaios efectuados, tendo a sua conversão em energia sido superior a 99%, considerando nela as perdas associadas ao carbono inqueimado presente nas cinzas e ao CO monitorizado. Os valores dos gases de combustão monitorizados, NO_x, SO_x e CO, ficaram abaixo dos valores limites fixados pelas legislações europeia e brasileira, e permitiram concluir que o uso das novas tecnologias de combustão por leito fluidizado conduzem a um bom controlo sobre as emissões gasosas.

Foram determinadas as produtividades primárias brutas de biomassa pelos métodos de Paterson, Miami e Montreal, métodos esses que relacionam o crescimento vegetativo com factores climáticos, para quatro regiões brasileiras, localizadas a nordeste e sudeste. Os métodos utilizados indicaram uma boa produtividade de biomassa em todas elas, da ordem dos 9,1-13,1m³.ha⁻¹.ano⁻¹ e os 2001-2381g.m⁻².ano⁻¹. As regiões com menor latitude apresentaram uma maior produtividade.

A utilização de combustão em leito fluidizado, é um processo que pode valorizar energeticamente os resíduos florestais da Mata Atlântica, contribuindo para que se verifique um menor efeito antrópico sobre o ambiente, e possibilitando a integração a programas de preservação da biodiversidade, como o dos “Corredores de Biodiversidade”. Além disso permite a activação de mecanismos previstos no Protocolo de Quioto, tais como os projectos de mitigação, que podem acompanhar o desenvolvimento sustentável das regiões abrangidas e das suas comunidades, aliados, de forma sustentada, ao desenvolvimento tecnológico e social.

PALAVRAS CHAVES

Combustão em Leito Fluidizado de biomassa; Resíduos florestais da Mata Atlântica; Emissões gasosas; fonte renovável de energia, Protocolo de Quioto.

ABSTRACT

BIOMASS FLOREST WASTE SUSTAINABLE ENERGETIC EVALUATION OF ATLANTIC FLOREST (BRAZIL).

Energy, in the most different forms, is an indispensable resource to human being. More than survivor, men seek always is own evolution to discovery new paths to environment adaptation in order to for field theirs needs. In this context, energy production using less aggressive technologies to environment, such as fluidized bed reactors applied to renewable resources, as it is the case of the biomass forest residues, allows, with less environment impact and waste energy valorisation. Moreover, it is also possible to employ with biodiversity preservation programs, as the "Biodiversity Corridors"

The aim of the present work lay down in the Atlantic forest waste energetic valorisation in order to determine the thermodynamic behaviour of biomass endemic species using fluidised bed reactor for combustion of these wastes; in order to accomplish this goal, combustion gases were monotorised during the process, controlled by legislation. Four species were studied which represent the major species used in the reforestation of Atlantic forest. Species studied were Aroeira, Pau-Brasil, Pitanga and Urucum.

The experimental work allowed to conclude that the joined average values in the elementary and immediate analysis of the biomass, dry base, such as the PCS, the volatile mater, and the fixed carbon were around 18,9MJ/kg, 72.9% (m/m), 18.5% (m/m), respectively. Those values achieved found to be very promising for biomass energetic valorisation in fluidised bed reactors. Afterwards, experimental runs were tested in a pilot scale fluidized bed reactor at atmospheric pressure and a average run temperature between 780 and 820°C, the gotten results had shown that to this temperature if it verified the complete oxidation, of the biomass, in all the runs, having its conversion in been energy higher than 99%, considering in it the losses associated to present unburn carbon in ashes and the

CO. Amounts gases of combustion pollutants like NO_x, SO_x and CO found to be lower than the limits fixed by European and Brazilian legislation, which may mean that the use of this technology allow a good gas emission control and therefore beneficial to avoid environmental pollution.

The rude primary productivities of biomass for the methods of Paterson, Miami and Montreal had been determined. These methods relate the vegetative growth with climatic factors. Four brazilian regions, located the northeast and Southeast, were used. The used methods had indicated a good productivity of biomass in all them, of the order between 2001-2381g.m⁻².year⁻¹. The regions with lesser latitude had presented a bigger productivity.

The use of combustion in fluidizado stream bed, it is a process that can be used successful in the Atlantic waste forest energetic valorization, contributing so that if it verifies a lesser antrópico effect on the environment, as well as possible the integration the programs of preservation of biodiversity, as of the “Corridors of Biodiversity”. Moreover it allows the actives of mechanisms foreseen in the Protocol of Quioto, that they can follow the sustainable development of the enclosed regions and its communities, allies, of supported form, to the technological and social development.

WORDS KEYS

Combustion biomass, Fluidized bed boiler; Waste florets of Atlantic florets; Effect greenhouse; renewable resource, Protocol of Quioto

NOMENCLATURAS

A	Área, m ²
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO	Monóxido de Carbono
Cl	Cloro
J	Joules (Unidade de energia)
km	Quilometro
k	Kilo (10 ³)
M	Mega (10 ⁶)
T	Tera (10 ¹²)
NO _x	Óxidos de Azoto
O ₂	Molécula de Óxigénio
PCI	Poder Calorífico Inferior, kJ/kg ou MJ/kg
PCS	Poder Calorífico Superior, kJ/kg ou MJ/kg
<i>ppm</i>	Parte por milhão (1:1000000)
SO _x	Óxido de Enxofre
tep	Tonelada equivalente de petróleo
ton.	Tonelada (10 ⁶)
We	Watts eléctricos
° C	Celsius (Unidade de Temperatura)

SIGLAS

ANEEL.....	Agencia Nacional de Energia e Eletricidade (Brasil)
BA	Estado Federativo brasileiro da Bahia (Brasil)
BEN.....	Balanço Energético Nacional (Brasil)
BNDES.	Banco Nacional de Desenvolvimento (Brasil)
CENBIO.	Centro Nacional de Referência em Biomassa/USP (Brasil)
CEPF.....	Fundo de Parceria para Ecossistemas Críticos (Brasil)
CEPL.....	Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Brasil)
CI.....	Conservação Internacional
CONAMA.....	Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil)
CONDER.....	Companhia de Desenvolvimento Região Metropolitana de Salvador
DEECA....	Departamento de Engenharia Energia e Controlo Ambiental (Portugal)
EMBRAPA.....	Empresa Brasileira de Pesquisa Agro-Pecuária
ETP.	Evapotranspiração Potencial
FSMA	Fundação SOS Mata Atlântica (Brasil)
IBAMA.	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente
IBGE.	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INETI.....	Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação (Portugal)
INMET.	Instituto Nacional de Meteorologia (Portugal)
INPE.	Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (Brasil)
LCC.....	Laboratório de Caracterização de Combustíveis (Portugal)
MCT.	Ministério da Ciência e Tecnologia (Brasil)
MDL.....	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MMA	Ministério do Meio Ambiente (Brasil)
PA.....	Produtividade Anual
PPB.....	Produção Primária Bruta
RJ	Estado Federativo do Rio de Janeiro (Brasil)
RPPN.....	Reservas Particulares do Património Natural
SSA (Salvador).	Capital do Estado Federativo da Bahia (Brasil)
SBS.	Sociedade Brasileira de Silvicultura
SP	Estado Federativo de São Paulo (Brasil)
SNUC.....	Sistema Nacional de Unidades de Conservação (Brasil)

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	1
RESUMO.....	3
ABSTRACT.....	5
NOMENCLATURAS.....	7
SIGLAS.....	8
ÍNDICE.....	9
INDICE DE FIGURAS.....	12
ÍNDICE DE TABELAS.....	16
1.0 CAPÍTULO I.....	20
1.1 ENERGIA	20
1.1.1 CONTEXTO ENERGÉTICO	20
1.1.2 CONTEXTO DA BIOENERGIA.....	21
1.1.3 INTERESSE PELA PESQUISA	24
1.1.4 BIOMASSA	26
1.2 CONTEXTO BRASILEIRO DE BIOMASSA	29
1.2.1 BIOMAS DO BRASIL	31
1.2.2 CARACTERIZAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA	33
1.2.3 ORIGEM DA MATA ATLÂNTICA.....	35
1.2.4 FORMAÇÕES DO DOMÍNIO DA MATA ATLÂNTICA	36
1.2.5 VEGETAÇÃO DO BIOMA MATA ATLÂNTICA	37
1.2.6 CLIMA DA MATA ATLÂNTICA	38
1.2.7 CARACTERIZAÇÃO ÁREAS PROTEGIDAS	39
1.3 CORREDORES DE BIODIVERSIDADE	41

1.4 RESÍDUOS FLORESTAIS	44
1.4.1 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS FLORESTAIS.....	45
1.4.2 QUALIDADE TÉCNICAS DOS RESÍDUOS FLORESTAIS	47
1.4.3 BENEFÍCIOS NO USO DOS RESÍDUOS FLORESTAIS	48
1.5 ESCOLHA DAS ESPÉCIES	49
1.5.1 PAU-BRASIL.....	50
1.5.2 AROEIRA.....	53
1.5.3 PITANGA.....	55
1.5.4 URUCUM.....	57
1.6. QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA NA MATA ATLÂNTICA.....	60
1.6.1 MODELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE BRUTA DE BIOMASSA.....	60
1.6.3 COMPARAÇÕES.....	64
1.6.4 DADOS METEOROLÓGICOS DAS REGIÕES ESTUDADAS	66
2.0 CAPÍTULO II.....	69
2.1 TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO DE BIOMASSA	69
2.1.1 PROCESSOS DE CONVERSÃO	70
2.2 CALDEIRAS DE LEITO FLUIDIZADO.....	79
2.2.1 CONCEITO.....	79
2.2.2 VANTAGENS.....	80
2.2.3 FACILIDADE OPERACIONAL	81
2.2.4 CARACTERÍSTICAS DA CALDEIRAS DE LEITO FLUIDIZADO.....	84
2.2.5 LIMITAÇÕES	85
3.0 CAPÍTULO III.....	87
3.1 EMISSÕES DE CARBONO.....	87
3.1.1 CONCEITO.....	87
3.1.2 CONTEXTO	88
3.1.3 ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS	90
3.1.4 VALORES ECONÓMICOS ASSOCIADOS AO SEQÜESTRO DE CARBONO.....	90
3.1.5 MERCADO DE CARBONO	93

4.0	<i>CAPÍTULO IV</i>	95
4.1	<i>METODOLOGIA DOS ENSAIOS NA CALDEIRA</i>	95
4.1.1	INTRODUÇÃO	95
4.1.3	DESCRIÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA	98
4.1.4	METODOLOGIA DOS ENSAIOS	100
4.1.5	BIOMASSA UTILIZADA	101
5.0	<i>CAPÍTULO V</i>	103
5.1	<i>TRABALHO LABORATORIAL</i>	103
5.1.1	ANALISE E CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA	103
5.1.3	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES	112
6.0	<i>CAPÍTULO VI</i>	114
6.1	ENSAIOS EXPERIMENTAIS	114
6.1.1	CONDIÇÕES DE ENSAIOS	114
6.1.2	RESULTADO DOS ENSAIOS	117
6.1.3	ESTIMATIVAS DOS ERROS DAS MEDIÇÕES	123
6.1.4	TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS	124
6.1.5	COMPARAÇÃO COM OS VALORES DA LEGISLAÇÃO	127
6.1.6	CONVERSÃO ENERGÉTICA	132
6.1.6	DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	133
7.0	<i>CAPÍTULO VII</i>	136
7.1	<i>CONCLUSÕES</i>	136
7.1.1	PRINCIPAIS CONCLUSÕES	136
8.0	<i>CAPÍTULO VIII</i>	140
8.1	SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO	141
9.0	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	143

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1 – Participação da contribuição da bioenergia no suprimento de energia primária final no mundo.</i>	23
<i>Figura 1.2 – Participação da produção de electricidade no mundo através de bioenergias.</i>	23
<i>Figura 1.3 – Potencial de geração de energia eléctrica através dos resíduos florestais no Brasil.</i>	31
<i>Figura 1.4 – Mapa de biomas do Brasil.....</i>	32
<i>Figura 1.5 – Mapa de áreas prioritárias para a conservação da flora da Mata Atlântica e campos sulinos.</i>	40
<i>Figura 1.6 – Mapa da cobertura vegetal nativa da Mata atlântica e da actual abrangência.....</i>	42
<i>Figura 1.7 – Esquema de implantação de um “Corredor de Biodiversidade”.</i>	43
<i>Figura 1.8 – Vista geral e das folhas do Pau-Brasil.....</i>	52
<i>Figura 1.9 – Vista dos frutos, sementes e do tronco do Pau – Brasil... </i>	52
<i>Figura 1.10 – Vista geral e das folhas de uma Aroeira.....</i>	54
<i>Figura 1.11 – Vista dos frutos, sementes e do tronco da Aroeira</i>	54
<i>Figura 1.12 – Vista geral e das folhas e flores da Pitanga.....</i>	55
<i>Figura 1.13 – Vista dos frutos, sementes e do tronco da Pitanga.....</i>	56
<i>Figura 1.14 – Vista geral da árvore com as folhas e frutos do Urucum</i>	58

<i>Figura 1.15 – Vista geral dos frutos do Urucum.....</i>	58
<i>Figura 1.16 – Temperaturas médias mensais, no período de 1960 até 1990, nas cidades em que foram estudadas as produtividades primárias brutas da biomassa.....</i>	66
<i>Figura 1.17 – Pluviosidade média mensal, no período de 1960 até 1990, nas cidades em que foram estudadas as produtividades primárias brutas da biomassa.....</i>	66
<i>Figura 1.18 – Insolação média mensal, no período de 1960 até 1990, nas cidades em que foram estudadas as produtividades primárias brutas da biomassa.....</i>	67
<i>Figura 1.19 – Evapotranspiração média mensal, no período de 1960 até 1990, nas cidades em que foram estudadas as produtividades primárias brutas da biomassa.....</i>	67
<i>Figura 2.1 – Exemplos de “Briquetes” feitos a partir de resíduos florestais.....</i>	72
<i>Figura 2.2 – Exemplos de “Pellets” feitos a partir de resíduos florestais</i>	73
<i>Figura 2.3 – Exemplos de “fardos circulares” feitos a partir de resíduos florestais.....</i>	73
<i>Figura 2.4 –: Esquema de conversão e de tecnologias no uso de bioenergia.....</i>	76
<i>Figura 4.1 – Vista geral da Caldeira piloto de Leito fluidizado.....</i>	96
<i>Figura 4.2 – Esquema da caldeira leito fluidizado piloto.....</i>	97

<i>Figura 4.3 – Analisador dos gases de exaustão.....</i>	99
<i>Figura 4.4 – Computador e data logger.....</i>	99
<i>Figura 4.5 – Aspecto geral da Biomassa dos resíduos florestais utilizada nos ensaios.....</i>	102
<i>Figura 5.1 – Variação da análise imediata por tipo de Biomassa (base seca)</i>	110
<i>Figura 5.2 – Variação do poder calorífico por tipo de Biomassa. (base seca)</i>	110
<i>Figura 5.3 – Variação da análise elementar por tipo de Biomassa (base seca)</i>	111
<i>Figura 6.1 – Emissões de NO_x monitorizadas durante os ensaios da biomassa.....</i>	118
<i>Figura 6.2 – Emissões de SO₂ monitorizadas durante os ensaios da biomassa.....</i>	118
<i>Figura 6.3 – Emissões de SO₂ monitorizadas durante os ensaios da biomassa.....</i>	119
<i>Figura 6.4 – Emissões de CO monitorizadas durante os ensaios da biomassa.....</i>	119
<i>Figura 6.5 – Emissões de CO monitorizadas durante os ensaios da biomassa.....</i>	120
<i>Figura 6.6 – Temperaturas do leito fluidizado monitorizadas durante os ensaios da biomassa.....</i>	121

Figura 6.7 – Temperaturas dos gases de combustão monitorizadas durante os ensaios da biomassa.....121

Figura 6.8 – Temperaturas da câmara de combustão (Freeboard) monitorizadas durante os ensaios da biomassa.....122

Figura 6.9 – Comparações entre as emissões de NO_x da biomassa das espécies ensaiadas, valores corrigidas para 8% O_2124

Figura 6.10 – Comparações entre as emissões de SO_2 da biomassa das espécies ensaiadas, para uma diluição de 8% O_2125

Figura 6.11 – Comparações entre as emissões de CO da biomassa das espécies ensaiadas, para uma diluição de 8% O_2126

Figura 6.12 – Comparações dos valores médios das emissões gasosas com os VLE, valores corrigidas para 8% O_2129

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1.1 – Distribuição espacial dos Biomas do Brasil.....</i>	33
<i>Tabela 1.2 – Dados Territoriais de Portugal.....</i>	41
<i>Tabela 1.3 – Diversidade, endemismo e espécies ameaçadas da Mata Atlântica.</i>	49
<i>Tabela 1.4 – Espécies Seleccionadas e que são utilizadas para reflorestamento da Mata Atlântica.</i>	49
<i>Tabela 1.5 – Classificação científica da biomassa – Pau- Brasil</i>	51
<i>Tabela 1.6 – Classificação científica da biomassa – Aroeira</i>	53
<i>Tabela 1.7 – Classificação científica da biomassa – Pitanga.....</i>	56
<i>Tabela 1.8 – Classificação científica da biomassa – Urucum</i>	59
<i>Tabela 1.9 – Parâmetros do Índice de Paterson.....</i>	61
<i>Tabela 1.10 – P_A anual calculada, segundo modelo de Paterson.....</i>	63
<i>Tabela 1.11 – Produtividade primária calculada, segundo os Modelo de Miami e de Montreal.....</i>	64
<i>Tabela 1.12 – Dados referentes à longitude e latitude das regiões nas quais foram estudadas as produtividades primárias brutas da biomassa</i>	68
<i>Tabela 4.1 – Dados das características da areia utilizada nos ensaios.....</i>	98
<i>Tabela 4.2 – Identificação dos instrumentos e equipamentos utilizados nos ensaios.....</i>	99
<i>Tabela 5.1 – Nomenclaturas utilizadas para as amostras de biomassa analisada</i>	104

<i>Tabela 5.2 – Resultados da análise imediata – base húmida, da biomassa ensaiada</i>	104
<i>Tabela 5.3 – Resultado da análise imediata – base seca, da biomassa ensaiada</i>	105
<i>Tabela 5.4 – Resultados do poder calorífico – base húmida, da biomassa ensaiada</i>	105
<i>Tabela 5.5 – Resultados do poder calorífico – base seca, da biomassa ensaiada</i>	106
<i>Tabela 5.6 – Resultados da análise elementar – base húmida, da biomassa ensaiada</i>	106
<i>Tabela 5.7 – Resultados da análise elementar – base seca, da biomassa ensaiada</i>	107
<i>Tabela 5.8 – Valores médios da análise imediata –base húmida, da biomassa ensaiada</i>	108
<i>Tabela 5.9 – Valores médios da análise imediata – base seca, da biomassa ensaiada</i>	108
<i>Tabela 5.10 – Valores médios do poder calorífico – base húmida, da biomassa ensaiada</i>	108
<i>Tabela 5.11 – Valores médios do poder calorífico – base seca, da biomassa ensaiada</i>	109
<i>Tabela 5.12 – Valores médios da análise elementar – base húmida, da biomassa ensaiada</i>	109
<i>Tabela 5.13 – Valores médios da análise elementar – base seca, da biomassa ensaiada</i>	109

<i>Tabela 6.1 – Condições operacionais do ensaio da biomassa Aroeira (Schinus terebinthifolia Raddi)</i>	114
<i>Tabela 6.2 – Condições operacionais do ensaio da biomassa Pitanga (Eugenia uniflora L.)</i>	114
<i>Tabela 6.3 – Condições operacionais do ensaio da biomassa Pau-brasil (Caesalpinia echinata)</i>	115
<i>Tabela 6.4 – Condições operacionais do ensaio da biomassa Urucum (Bixa orellana)</i>	115
<i>Tabela 6.5 – Análise elementar da mistura da Aroeira ensaiada. (Schinus terebinthifolia Raddi)</i>	116
<i>Tabela 6.6 – Análise elementar da mistura da Pitanga ensaiada. (Eugenia uniflora L.)</i>	116
<i>Tabela 6.7 – Análise elementar da mistura do Pau-brasil ensaiada. (Caesalpinia echinata)</i>	116
<i>Tabela 6.8 – Análise elementar da mistura do Urucum ensaiada. (Bixa orellana)</i>	116
<i>Tabela 6.9 – Valores médios das temperaturas monitoras ao longo dos ensaios</i>	123
<i>Tabela 6.10 – Análise numérica das temperaturas medidas</i>	123
<i>Tabela 6.11 – Valores médios com o erro padrão das emissões dos gases de combustão monitorizados durante os ensaios</i>	126
<i>Tabela 6.12 – Valores limites de emissão de poluentes gasosos, corrigidos para 8%O₂, dados em mg/Nm³</i>	128

Tabela 6.13 – Tabela resumo dos valores médios das emissões gasosas obtidas durante os ensaios com as biomassas, em (mg/Nm³), corrigidos para 8% de O₂.

.....**131**

Tabela 6.14 – Análise imediata das cinzas obtidas da combustão – base húmida

.....**132**

1.0 CAPÍTULO I

1.1 ENERGIA

1.1.1 CONTEXTO ENERGÉTICO

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E, mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e maneiras alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento das suas necessidades. Dessa forma, a exaustão, a escassez ou a inconveniência de um dado recurso, tendem a ser compensadas pelo surgimento de outro(s). Em termos de suprimento energético, a electricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a constituir um recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento sócio económico de muitos países e regiões (CE, 2005). Ao nível global, o consumo da energia está crescendo de forma sustentada – com efeito cresceu cerca de 2% ao ano, no período entre os anos de 1990-2000, e, provavelmente, crescerá ainda mais em média, no período entre 2000-2020 (ANEEL, 2005a, IEA, 2004c).

Neste momento, os combustíveis fósseis (carvão, gás e óleo), abastecem actualmente a produção de energia do mundo em aproximadamente 79% do consumo, a energia nuclear em cerca de 7% e as fontes de energias renováveis em 14% (Comissão europeia, 2005; IEA, 2004c). Neste início de novo milénio, os avanços tecnológicos para a geração, transmissão e uso final de energia, permitem que ela chegue aos mais diversos lugares do planeta, transformando regiões, desocupadas ou pouco desenvolvidas, em pólos industriais e em grandes centros urbanos (Greenpeace, 2004).

Apesar dos referidos avanços tecnológicos e dos benefícios proporcionados pelo uso extensivo dos recursos energéticos, cerca de um terço da população mundial ainda não tem acesso a eles e; dos dois terços restantes, uma parcela considerável é atendida de forma muito precária (CE, 2005).

No Brasil, a situação sendo menos crítica, é ainda muito preocupante. Apesar da grande extensão territorial do país e da abundância de recursos energéticos, verifica-se uma grande diversidade regional e uma forte concentração de pessoas e de actividades económicas em regiões com problemas de suprimento energético. Recorde-se que, como foi revelado pelo último censo demográfico, mais de 80% da população brasileira vive na zona urbana (CENBIO, 2005b).

A grande maioria desse contingente está na periferia dos grandes centros urbanos, onde as condições de infra-estrutura são deficitárias. Grande parte dos recursos energéticos do Brasil localizam-se em regiões pouco desenvolvidas, distantes dos grandes centros consumidores e sujeitas a restrições ambientais (IBAMA, 2002a)

Promover o desenvolvimento económico-social dessas regiões, preservar a sua biodiversidade e garantir o suprimento energético das regiões mais desenvolvidas, são alguns dos desafios da sociedade brasileira neste novo milénio.

Torna-se, portanto, fundamental o conhecimento sistematizado da disponibilidade de recursos energéticos, incluídas as bioenergias. As novas tecnologias do seu aproveitamento, tais como as novas tecnologias de combustão utilizando leito fluidizados, gaseificação e pirólise, e sistemas integrados para o aproveitamento dos recursos energéticos.

1.1 2 CONTEXTO DA BIOENERGIA

A bioenergia constitui a fonte renovável mais extensamente usada como energia no mundo. Forneceu quase toda a energia global durante cerca dois séculos, desde o início da revolução industrial, e actualmente ainda contribui com cerca de 11% da fonte de energia primária do mundo (ANELL, 2005a). Existem cada vez mais vantagens ambientais e nos custos competitivos, em relação dos sistemas de aproveitamento das bioenergias que já estão disponíveis para fornecer uma contribuição substancial às necessidades de energia futura do

mundo. Há uma tendência global para desenvolver métodos de produção mais sustentáveis, que minimizem resíduos, que reduzam a poluição, que conservem os recursos naturais, e que diminuam as emissões de gases com efeito de estufa. As actividades ligadas às bioenergias são influenciadas de perto por estes factores, que desempenharão um forte papel muito importante no futuro das bioenergias dentro da sociedade (IEA, 2005b).

Bioenergia contribui para a manutenção das sociedades rurais, redução dos gases do efeito de estufa, segurança no suprimento de energia, para a protecção e conservação dos recursos naturais. Muitas das barreiras técnicas ao uso das bioenergias foram superadas, nomeadamente pelo desenvolvimento de tecnologias das combustões mais eficientes em leito fluidizados, pela gaseificação e/ou pirólise. Os restantes obstáculos são aqueles que apresentam uma natureza menos tangível, isto é, serão financeiros e institucionais (IEA, 2005 b).

Dentro das alternativas estudadas para reforçar à procura energética, a biomassa é o combustível renovável que tem despertado maior interesse. A produção sustentada de biomassa, a fonte mais versátil de energia renovável, tem a possibilidade de fornecer, de forma permanente, grandes quantidades de combustíveis gasosos, líquidos e electricidade (Grassi, G. et al., 1998).

O mercado de energia global é dominado por combustíveis fósseis, figuras 1.1 e 1.2. As energias renováveis reflectem um contributo maior do que o da energia nuclear em ambas as estatísticas, nos da energia primária global e da produção de electricidade (IEA, 2004c). Os combustíveis fósseis são recursos finitos, e há imprecisões em relação à capacidade e do custo de exploração destas reservas. Os combustíveis fósseis são hidrocarbonetos, resultantes a fossilização de glucidos de biomassa. É esta similaridade, que faz com que a biomassa apareça como um substituto para os combustíveis fósseis. É a compatibilidade das bioenergias com os sistemas de energia existentes, que facilitarão o incremento

de contribuição dos combustíveis da biomassa para geração de calor, electricidade e suprimento de energia aos transportes (ANELL, 2005a).

A nível mundial a biomassa é a maior fonte de energia renovável de entre aquelas que se utilizam actualmente, figura 1.1, representa cerca de 1.11 mil milhões de toneladas de petróleo equivalente (IEA, 2004c), A contribuição das bioenergias no suprimento energético mundial foi de cerca de 10,321 Mtoe, e na produção de electricidade de cerca de 3,764 Mtoe (figura 1.2), em 2002.

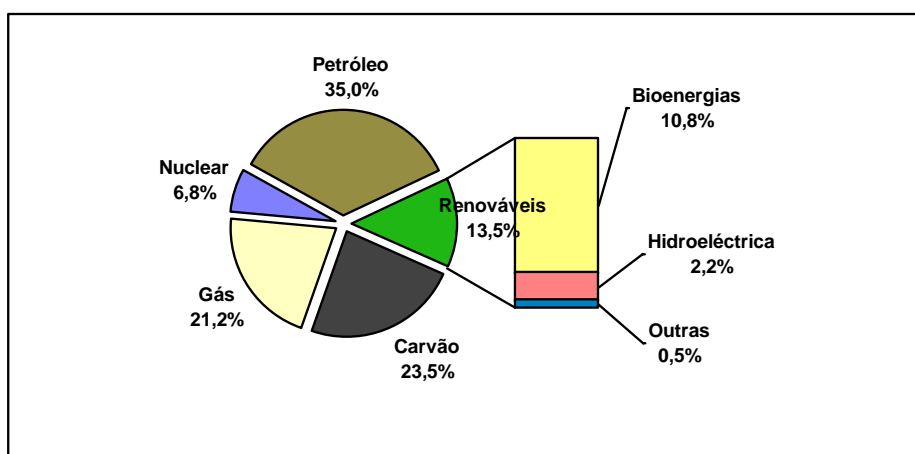


Figura 1.1 – Participação da contribuição da bioenergia no suprimento de energia primária final no mundo.

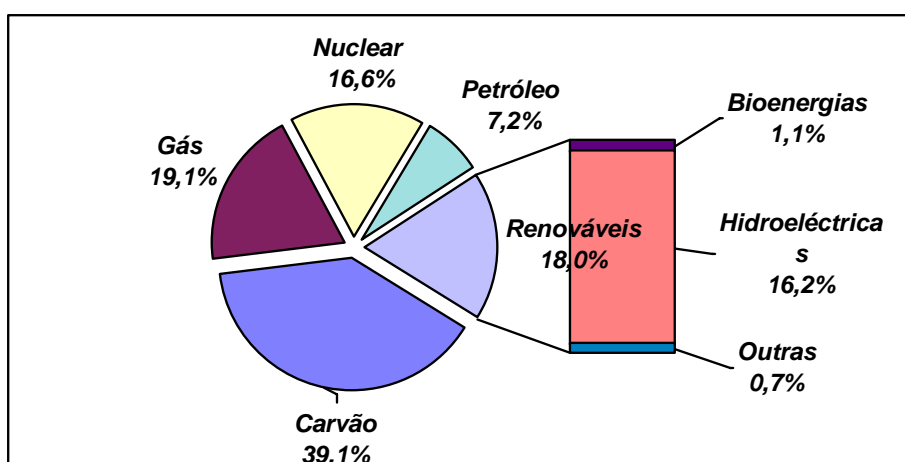


Figura 1.2 – Participação da produção de electricidade no mundo através de bioenergias.

(Fonte: IEA renewables information 2004).

No que concerne especificamente ao peso relativo da biomassa na geração mundial de electricidade, embora seja difícil de avaliar, projecções da Agência Internacional de Energia (2004) indicam que ela deverá passar de 10 TWh em 1995 para 27 TWh em 2020.

1.1.3 INTERESSE PELA PESQUISA

Actualmente existe uma necessidade de realização de estudos sistemáticos sobre a evolução do consumo e que resultem em diagnósticos adequados quanto ao uso e à conservação da biomassa energética, em especial os resíduos florestais, para muitas comunidades onde, geralmente, se observa grande esforço associado à obtenção da mesma (Mata, H.T.C. et al., 2000). A grande influência que o consumo de lenha reflecte na estrutura de energia em vários sectores, e em especial no sector residencial, deve conduzir a que se procure conhecer melhor o seu consumo, rendimento e conteúdo calórico (Arouca, M.C. et al., 1983).

As principais fontes de biomassa para suprimento energético, no Brasil, encontram-se nas matas nativas, principalmente nos biomas da Mata Atlântica e do Cerrado. A Mata Atlântica e o Cerrado juntas, ocupam praticamente dois quintos do território brasileiro, são fonte de lenha nativa para a geração de calor e, talvez, os maiores fornecedores de combustível para o consumo doméstico no meio rural, pelo que constituem biomas de grande importância social (Coelho, S.T., 2002). Pouco se conhece das espécies da Mata Atlântica do ponto de vista energético, uma vez que são utilizadas de forma indiscriminada (Tolmasquim, M.T., 2004).

No Brasil, o uso mais intensivo da biomassa como vector energético, está concentrado nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste. A diminuição de biomas, tais como a Mata Atlântica e o Cerrado, e a pressão conservacionista verificada, associadas à necessidade anual de mais madeira para energia, têm levado a uma crescente dificuldade para a conservação deste recurso através das florestas nativas (Brito, J.O. et al., 1991).

É consensual no meio científico que as oportunidades de sobrevivência da Biodiversidade, aumentarão significativamente a longo prazo, com o estabelecimento de um planeamento para conservação à escala regional, ou que contemple grandes unidades de paisagem. De entre as várias abordagens possíveis, a dos “Corredores de Biodiversidade” apresentam-se como uma das mais promissoras para um planeamento regional eficaz (CE, 2005).

Nesse contexto, a presente investigação tem como objectivo realizar um estudo da valorização energética dos resíduos florestais da Mata Atlântica, de forma sustentável, que possa fornecer informações de carácter técnico (económico) quanto à sustentabilidade da mesma, para um planeamento de programas que reconstruam áreas devastadas pela acção antrópicas. Este estudo passa pela determinação e análise do comportamento térmico de algumas espécies endémicas da Mata Atlântica, e pela verificação dos impactes ambientais expectáveis, ao nível das emissões gasosas, através de ensaios de combustão em Leito Fluidizado, dos resíduos florestais disponível (CEMBIO, 2005b).

Esta biomassa, por sua vez, seria obtida pela limpeza sustentável das áreas recuperadas de projectos que promovam a preservação da Biodiversidade, a exemplo do programa “Corredores de Biodiversidade”.

Entende-se que com o alargamento de estudos que visem diagnosticar o consumo e conhecer as características termoquímicas, de espécies vegetais, que compõe a biomassa de uma região, como a Mata Atlântica, será possível propor a busca de alternativas para o uso sustentável da vegetação nativa (Oliveira, A.D. et al., 1991)

1.1.4 BIOMASSA

A abundante vida vegetal do nosso planeta constitui um armazém da energia solar através de ligações químicas, representando um recurso de energia renovável a que chamamos *biomassa* (ANEEL, 2005a). Assim e de um modo geral, chamamos *Biomassa* a todos os organismos colectores e armazenadores de energia que podem ser aproveitados como fontes de energia. Numa definição mais específica: *Biomassa* engloba os produtos de origem vegetal, como a cana-de-açúcar, o eucalipto, a beterraba (dos quais se extrai álcool), o biogás (produzido pela biodegradação anaeróbia da matéria orgânica existente nos resíduos sólidos urbanos e excrementos), lenha e carvão vegetal, óleos vegetais (amendoim, soja, dendê, mamona, etc...), ou mesmo nos resíduos florestais e agro-industriais. Portanto, a biomassa apresenta-se como uma potencial fonte energética, além de servir de alimento para a maioria dos seres vivos do planeta.

A Biomassa é formada pela acção da fotossíntese das planta, através da combinação de dióxido de carbono da atmosfera, água e sais minerais, e a energia solar, que produz a nível celular os glucídeos. A energia solar é assim armazenada nas ligações químicas dos componentes estruturais da biomassa. Se a biomassa for queimada de modo eficiente, verifica-se produção de dióxido de carbono e água. Estamos, portanto, perante um processo cíclico, pelo que poderemos dizer que a biomassa é um recurso renovável.

A produção de energia a partir de fontes renováveis adquiriu especial importância no quadro da política energética mundial. Entre estas inclui-se a Biomassa, que vem sendo implementada, e outras como resíduos diversos, como florestais, urbanos e industriais, e têm sido fixadas metas para a sua utilização em diversos sectores, em particular nos países da União Europeia. No entanto, países com grande vocação agrícola e que possuem vastas áreas florestais, como por exemplo o Brasil, deverão ver nas novas tecnologias de valorização energética, uma mais valia ao nível ambiental, voltado a preocupar-

se com os impactes ambientais e com os aspectos de preservação da Biodiversidade; além da questão financeiras, económicas e sociais.

O desenvolvimento económico prevalecente nas últimas décadas caracterizou-se por um consumo crescente de energia, produzida a partir de recursos de origem fóssil. O agravamento da dependência energética, o incremento da insegurança de abastecimento, a natureza finita dos recursos fósseis e o impacte ambiental da sua utilização, alertaram a sociedade para a necessidade de diversificar as fontes energéticas (IEA, 2004c).

A produção de energia a partir de biomassa produzidas, tanto no Brasil, como em Portugal, poderá, além de permitir cumprir as metas estabelecidas pela ONU, nos âmbitos do Protocolo de Quioto e da preservação da Biodiversidade do planeta, constituir numa componente fundamental de uma estratégia de combate ao abandono do campo pela comunidade rural, ao apoio ao desenvolvimento sustentável das comunidades, tendo também um efeito de alavancagem no desenvolvimento socio-económico integrado das zonas rurais, elemento decisivo para o processo de coesão económica, social e ambiental.

A biomassa de origem florestal engloba uma grande diversidade de produtos. Nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, na última década, a utilização da biomassa florestal como fonte energética de calor e electricidade aumentou, sobretudo ao nível industrial. Nos países desenvolvidos, o objectivo foi o de cumprir as metas estabelecidas na política energética de se tornarem menos dependentes energeticamente de fontes fósseis; Nos Países em vias de desenvolvimento, também pela mesma razão, e em especial por terem em sua maioria capacidades de desenvolvimento agrícola, que justificam a utilização da biomassa como recurso primário de energia. Neste encontram-se grandes áreas de mata e de florestas, onde, se forem desenvolvidas políticas sérias aliadas as novas tecnologias de valorização energética, se poderão promover o crescimento sustentável, tanto social, como económico e ambiental.

1.1.4.1 DEFINIÇÃO DE BIOMASSA

Biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal), que pode ser utilizada na produção de energia (CE, 2005). Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indirecta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos autotrafos.

A biomassa corresponde a um grande conjunto de produtos, co-produtos e resíduos de florestas e da agricultura, bem como de resíduos municipais e industriais. A biomassa inclui assim árvores, resíduos de colheitas, algas e outras plantas, resíduos da agricultura e de florestas, lamas de estações de tratamento, resíduos industriais e a fracção orgânica de lixos rejeitada pelos municípios (IEA, 1997a)

1.1.4.2 POTENCIAL DA BIOMASSA

Embora grande parte do planeta esteja desprovida de florestas, a quantidade de biomassa existente na terra é da ordem de duas Tera toneladas, o que corresponde a cerca de 300 toneladas *per capita*. Em termos energéticos, isso corresponde a mais ou menos 3.000 EJ por ano ou seja, oito vezes o consumo mundial de energia primária (da ordem de 400 EJ por ano) (IEA, 1997a).

1.1.4.3 IMPACTES AMBIENTAIS RELACIONADAS À BIOMASSA

Graças aos esforços recentes de mensuração mais rigorosos do uso e potencial da biomassa, por meio de novos estudos, demonstrações e projectos – pilotos, o seu uso é crescente como vector energético moderno (graças ao desenvolvimento de tecnologias eficientes de conversão, como a combustão através de leito fluidizado, gaseificação e pirólise), principalmente em países industrializados. A isto se alia o reconhecimento das vantagens ambientais

resultantes do uso racional da biomassa, principalmente no controlo das emissões de CO₂, de óxido de enxofre, e de óxido de azoto. (CE, 2005).

Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito directamente, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras etc. Para aumentar a eficiência do processo e reduzir impactes sócio ambientais, têm-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como a combustão em leito fluidizado, a gaseificação e a pirólise, sendo também comum a co-geração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética.

1.2 CONTEXTO BRASILEIRO DE BIOMASSA

A biomassa representa cerca de 14% da energia consumida no mundo e, em média, 35% do consumo total de países em desenvolvimento. No Brasil, a biomassa, formada pela cana-de-açúcar e pela madeira, representa cerca de 20% de todos os consumos energéticos primários (ANEEL, 2001b). Desse total, 9,12% são compostos pela lenha, ou seja, foram utilizadas para geração de calor $6,9 \times 10^7$ toneladas de madeira. Do total da lenha consumida, $2,5 \times 10^7$ toneladas foram usadas em forma indirecta, principalmente na fabricação de carvão vegetal, e sendo usada de forma directa $4,4 \times 10^7$ toneladas. Do total consumido em forma directa, $2,1 \times 10^7$ toneladas foram queimadas em residências, para cocção de alimentos (Hall, D.O. et al., 1991).

É importante observar que não pesa somente o aspecto quantitativo do uso da madeira como energia, mas também o aspecto económico, ligado à utilização energética pelas indústrias, e, mais importante ainda, é o aspecto social, ou seja, o uso da lenha como produto energético doméstico (Brito, J.O. et al., 1991). A Biomassa é uma fonte de energia dominante nas áreas rurais, e cozinhar é a actividade mais intensiva energeticamente desenvolvida (Goldemberg, J., 1998).

O modelo energético brasileiro tem no petróleo uma das principais fontes primárias de energia, fonte portanto, finita. Por outro lado, o Brasil é um país rico em possibilidades energéticas alternativas, tais como: a energia solar, a eólica, a geotérmica, e a das marés, que devem ser estudadas e exploradas para suprir a procura futura de energia. Entre as alternativas renováveis existentes, em relação aos combustíveis fósseis, a biomassa tem despertado grande interesse.

A biomassa, no Brasil, é constituída em grande parte pela madeira, onde o uso se divide em produção de carvão vegetal (carbonização) e no consumo directo (combustão). No consumo directo da madeira como fonte de energia, destaca-se o uso para cozedura de alimentos nas residências, principalmente no meio rural (Tolmasquim, M.T., 2004).

No Brasil, boa parte do seu território, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas, oferece excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. Além da produção de álcool, da queima em fornos e/ou caldeiras, e de outros usos não comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no sector de geração de energia eléctrica (ANEEL, 2005a).

A produção de madeira, na forma de lenha, carvão vegetal ou toros, também gera uma grande quantidade de resíduos, que podem igualmente ser aproveitadas na geração de energia eléctrica. Como é ilustrado na figura 1.3, os Estados brasileiros com maior potencial de aproveitamento de resíduos da madeira^(a), oriunda de silvicultura para a geração de energia eléctrica, são Paraná e São Paulo (MMA, 2006). O tipo de produção de madeira, actividade de extracção ou reflorestamento, influem na distribuição espacial dos resíduos gerados. Nos casos de extracção selectiva e beneficiamento descentralizado, o aproveitamento de resíduos pode tornar-se economicamente inviável.

^(a) A quantidade de energia aproveitável a partir de resíduos de extracção vegetal é função do poder calorífico desses resíduos.

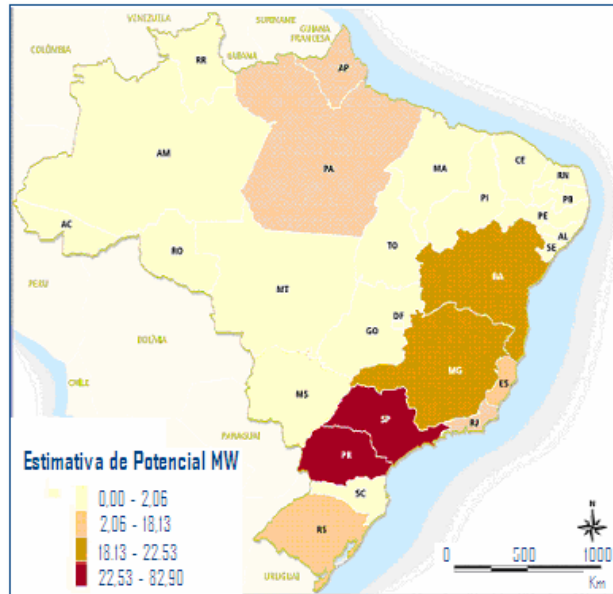


Figura 1.3 – Potencial de geração de energia eléctrica através dos resíduos *da silvicultura* (florestais) no Brasil.

(Fonte: ANEEL - Agência nacional de energia eléctrica 2004).

1.2.1 BIOMAS DO BRASIL

Afim de se conhecer melhor as características dos resíduos florestais da Mata Atlântica, torna-se necessário o conhecimento do Bioma em que estes resíduos estão inseridos. Por isso, a partir deste ponto será abordado o contexto deste Bioma.

O Brasil é o principal país entre os detentores de mega diversidade, possuindo entre 15 e 20% do número total de espécies da Terra. Gerir essa formidável riqueza implica e exige acções urgentes, fundamentadas em consciência conservacionista e espelhadas em políticas públicas que representem as aspirações da sociedade. A Mata Atlântica e seus ecossistemas associados cobriam, à época do descobrimento, cerca de 1.110.000km² do território continental brasileiro. Actualmente, apenas 7% da área do bioma Mata Atlântica, conservam suas características bióticas originais (SOS M.A. et al., 2000), figura 1.6.

Apesar da devastação a que foi submetido, abriga ainda altíssimos níveis de riqueza biológica e de endemismos, de que serve de exemplo deter o recorde mundial de diversidade de plantas lenhosas encontradas – 458 espécies – em um único hectare no sul da Bahia ^(b), estado federativo do nordeste brasileiro.

O bioma continental brasileiro de maior extensão, a Amazônia, e o de menor extensão, o Pantanal, ocupavam juntos mais de metade do território brasileiro, ocupando o Bioma Amazônia, 49,29%, e o Bioma Pantanal, 1,76% do território brasileiro. Mapeados pela primeira vez, os seis biomas continentais brasileiros - Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa (IBGE, 2004a), são apresentados na figura 1.4.



Figura 1.4 – Mapa de biomas do Brasil

(Fonte: Atlas dos Biomas do Brasil, 2002 – IBGE).

^(b) Estudo realizado pelo Jardim Botânico de Nova Iorque e o Herbário da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira - CEPLAC.

Além de representar cartograficamente a abrangência dos seis biomas continentais brasileiros, à época do descobrimento, o mapa de Biomas do Brasil indica a área aproximada que cada um destes conjuntos ocupava. Bioma é conceituado como um conjunto de seres vivos (vegetais e animais) definido pelo agrupamento de tipos de vegetação contíguos e identificáveis em escala regional, sob condições geoclimáticas similares e com uma história compartilhada de mudanças, o que se traduz numa diversidade biológica própria (IBGE, 2004a).

Tabela 1.1 – Distribuição espacial dos Biomas do Brasil

BIOMAS CONTINENTAIS BRASILEIRO	ÁREA APROXIMADA (KM ²)	ÁREA TOTAL BRASIL (%)
BIOMA AMAZÔNIA	4.196.943	49,29
BIOMA CERRADO	2.036.448	23,92
BIOMA MATA ATLÂNTICA	1.110.182	13,04
BIOMA CAATINGA	844.453	9,92
BIOMA PAMPA	176.496	2,07
BIOMA PANTANAL	150.355	1,77
ÁREA TOTAL BRASIL	8.514.877	100,00

Fonte: Atlas dos Biomas do Brasil, 2002 – IBGE.

1.2.2 CARACTERIZAÇÃO MATA ATLÂNTICA

A região na qual está compreendida a Mata Atlântica, caracteriza-se por uma forte ocupação populacional, nela vivendo aproximadamente 70 % da população total do Brasil. Os dados demográficos indicam uma densidade elevada, superior à média brasileira. No período 1991 a 1996, a taxa de crescimento populacional foi de 1,26% ao ano. O grau de urbanização também é alto (cerca de 83%), também superior à média brasileira (70%) (Greenpeace, 2004; IBGE, 2004a)

Os levantamentos indicaram 2.528 municípios brasileiros totalmente inseridos na Mata Atlântica, o que representa cerca de 46% do total de municípios do Brasil. Além desses, 270 têm mais de 70% de seus territórios na Mata Atlântica e 130, mais de 50% da área, dentro da zona ocupada pelo bioma. Actualmente, o

bioma está reduzido a menos de 8% de sua extensão original, disposto de modo esparso, ao longo da costa brasileira e no interior das regiões Sul e Sudeste, existindo ainda fragmentos no centro oeste do país e no interior do nordeste, mostrados na figura 1.6. A dinâmica da destruição foi mais acentuada durante as últimas três décadas, resultando em sérias alterações para os ecossistemas que compõem o bioma, devido, em particular, à alta fragmentação do habitat e perda de sua Biodiversidade. Estudos efectuados revelam que houve uma forte aceleração do processo de destruição da Mata Atlântica, num período recente (SOS M.A., et al., 2000a).

De 1985 a 1995, mais de 1 milhão de hectares foram desmatados dentro do domínio do bioma. Esse valor reflectiu o desflorestamento de mais de 11% dos remanescentes da Mata Atlântica, comprometendo regiões onde estão localizados importantes centros de endemismos. A Mata Atlântica está reduzida a 6,98% de sua cobertura original. Em 2000, este índice era de 7,1%, entre 2000 e 2005, houve uma redução de 71% na área total desflorestada da Mata Atlântica, em comparação com o período anterior, de 1995 a 2000 (SOS M:A., et al., 2006b). Esta evidência positiva revela-se falsa, pois a diminuição das áreas devastadas da floresta, deve-se ao facto de que há cada vez menos árvores para serem cortadas.

A economia da região é muito diversificada. As actividades agro-pecuárias apresentam grande concentração no interior de São Paulo e nos estados da região Sul. As zonas industriais, concentradas basicamente em torno das principais regiões metropolitanas e dos eixos de desenvolvimento, geram grandes impactes sobre a Biodiversidade à medida que necessitam de recursos naturais e energia para satisfação das suas necessidades (SOS M:A. et al., 2000a).

1.2.3 ORIGEM DA MATA ATLÂNTICA

Após o descobrimento do Brasil, parte da vegetação atlântica foi desmatada, devido à exploração intensiva e desordenada da floresta. O pau-brasil foi o principal alvo de extracção e exportação, encontrando-se hoje quase extinto. O primeiro contrato comercial para a exploração do pau-brasil, foi celebrado em 1502, facto que levou o Brasil a ser conhecido como "Terra Brasilis". Os relatos antigos falam de uma floresta densa aparentemente intocada, apesar de habitada por vários povos indígenas, com populações numerosas (Bueno, E., 1998).

No nordeste brasileiro a exploração da floresta foi intensa, o que agravou as condições de sobrevivência da população, causando fome, miséria e êxodo rural, só comparados às das regiões mais pobres do mundo. Nesta região, seguindo a derrubada da mata, vieram plantações de cana-de-açúcar. Na região sul, foi a cultura do café a principal responsável pela substituição da vegetação nativa, restando uma área muito pequena para a preservação de espécies nativas. Estas foram postas em situação de risco pela poluição ambiental ocasionada pela emissão de agentes poluentes nocivos, associados às actividades industriais (Bueno, E., 1998).

Hoje, praticamente 92,80% da Mata Atlântica em toda a extensão territorial brasileira está totalmente destruída. Do que restou, acredita-se que 75% está sob risco de extinção total, necessitando de atitudes urgentes de órgãos nacionais e mundiais de preservação ambiental das espécies que estão sendo eliminadas da natureza de forma acelerada. Os remanescentes da Mata Atlântica situam-se principalmente nas Serras do Mar e da Mantiqueira, sudeste do Brasil, regiões de relevo acidentado (SOS M:A. et al., 2006b).

1.2.4 FORMAÇÕES DO DOMÍNIO DA MATA ATLÂNTICA

A constituição federal brasileira de 1988, coloca a Mata Atlântica como património nacional, juntamente com a Floresta Amazónica brasileira, a Serra do Mar, o Pantanal Mato Grossense e a Zona Costeira (MMA, 2006b). A derruba da mata secundária é regulamentada por leis posteriores, sendo proibida a derruba da mata primária.

A protecção do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) estende-se não só à mata primária, mas também aos estágios sucessionais em áreas degradadas que se encontram em recuperação. A mata secundária é protegida em seus estágios inicial, médio e avançado de regeneração.

Foi definida pelo CONAMA, em 1992, como uma caracterização de floresta ombrófila densa, de floresta ombrófila mista, de floresta ombrófila aberta, de floresta estacional decidual, de floresta estacional semidecidual, de mangues, de restingas, de campos de altitude, brejos interiores, enclaves florestais do nordeste.

A Política da Mata Atlântica (Directrizes para a política de conservação e desenvolvimento sustentável da Mata Atlântica), de 1998, contempla a preservação da Biodiversidade, o desenvolvimento sustentável dos recursos naturais e a recuperação das áreas degradadas. Há centenas de órgão não governamentais, órgãos governamentais e grupos de cidadãos espalhados pelo país, que se empenham na preservação da Mata Atlântica (MMA, 2006b).

Cerca de 70% da população brasileira vive na área de domínio da Mata Atlântica, que mantém as nascentes e mananciais que abastecem as cidades e comunidades do interior, regula o clima (temperatura, humidade, chuvas) e abriga comunidades tradicionais, incluindo povos indígenas. Entre os povos indígenas que vivem no domínio da Mata Atlântica estão os Wassu, Pataxó, Tupiniquim, Gerén, Guarani, Krenak, Kaiowa, Nandeva, Terena, Kadiweu, Potiguara, Kaingang e Guarani M'Bya (SOS M. A., et al., 2006b).

As principais causas do desmatamento são a proliferação das pastagens, o plantio de eucaliptos e a implantação de monoculturas comerciais, como a soja e a cana de açúcar. Essa diversidade, ao mesmo tempo que reflecte uma excepcional riqueza de património genético e paisagístico, torna a mata externamente frágil. O resultado actual da destruição de quase 5 séculos de colonização, da expansão agrícola e da urbana, florestas húmidas adentro, reflecte também a passagem por vários ciclos, que marcaram o desenvolvimento do País, como o da cana-de-açúcar, do ouro, do café e, na actualidade, da expansão da agricultura e da industrialização (SOS M. A., et al., 2006b).

1.2.5 VEGETAÇÃO DO BIOMA MATA ATLÂNTICA

A Vegetação do Brasil, reconstituída á época do descobrimento pelos portugueses, mostra que no país ocorrem dois grandes conjuntos vegetacionais: um florestal, que ocupa mais de 60% do território brasileiro, e outro campestre. As formações florestais são constituídas pelas florestas ombrófilas (em que não falta humidade durante o ano), e estacionais (em que falta humidade num período do ano) situadas tanto na região amazónica como nas áreas extra - amazónicas, mais precisamente na Mata Atlântica (IBGE, 2004b).

As florestas extra – amazónicas coincidem com as formações florestais que compõem a Mata Atlântica, onde predominam as florestas estacionais semidecíduas (em que 20 a 50 % das árvores perdem as folhas no período seco do ano), e as florestas ombrófilas densas e mistas (como a araucária). Em ambos os conjuntos florestais ocorrem, em menor proporção, as florestas estacionais decíduas (em que mais de 50% das árvores perdem folhas no período seco) (IBGE, 2004b).

Nas regiões onde ainda existe, a Mata Atlântica caracteriza-se pela vegetação exuberante, com acentuado higrofitismo. Entre as espécies mais comuns encontram-se algumas briófitas, cipós, e orquídeas (CI et al., 2000 a).

A Mata Atlântica foi uma formação vegetal brasileira que basicamente acompanhava o litoral do país, do Sul ao Norte, (regiões meridional e nordeste). Nas regiões Sul e Sudeste chegava até à Argentina e Paraguai. Cobria importantes trechos de serras e escarpas do planalto brasileiro, e era contínua com a Floresta Amazônica. Foi a segunda maior floresta tropical em ocorrência e importância na América do Sul, em especial no Brasil (Bueno, E., 1998).

A vida é mais intensa no estrato alto, nas copas das árvores, que se tocam, formando uma camada contínua. Algumas podem chegar a 60 m de altura. Esta cobertura forma uma região de sombra que cria o microclima típico da mata, sempre húmido e sombreado (Revista N.G., 2004). Desta forma, há uma estratificação da vegetação, criando diferentes habitats nos quais vive a diversificada fauna. Da flora, 55% das espécies arbóreas e 40% das não - arbóreas são endêmicas (ocorrem apenas na Mata Atlântica). Das bromélias, 70% são endêmicas dessa formação vegetal, e das palmeiras, 64%. Estima-se que 8 mil espécies vegetais sejam endêmicas da Mata Atlântica (SOS M:A., et al., 2000a).

1.2.6 CLIMA DA MATA ATLÂNTICA

O relevo é constituído por colinas e planícies costeiras, acompanhadas por uma cadeia de montanhas. Os solos são de fertilidade média. Porém, a área com relevo acidentado constitui limitação forte para uso intensivo das terras com cultivos anuais. Mas no interior da floresta o solo é pobre, o qual se mantém pela decomposição acelerada de matéria orgânica, proveniente dos restos vegetais que caem no chão (SOS M. A., e tal., 2006b).

O ambiente é superúmido, devido às grandes quantidades de árvores, que tornam a floresta mais fechada. O clima é tropical, com influência oceânica, com uma precipitação anual que varia de 1.000 a 1.750 mm. Como se não bastasse o fato de ser uma floresta tropical com vários ecossistemas associados, a Mata Atlântica teve sua diversidade biológica ainda mais ampliada pela intensidade das transformações que sofreu ao longo dos últimos anos (IBGE, 2004c).

Especialmente durante o período quaternário, marcado por fortes mudanças climáticas, a Mata Atlântica viveu momentos de forte retração durante as glaciações, resistindo, fragmentada, apenas em alguns locais conhecidos como "refúgios do pleistocénio", quando as condições climáticas eram mais amenas (IBGE, 2004c).

1.2.7 CARACTERIZAÇÃO ÁREAS PROTEGIDAS

Considerando a grande diversidade de formações vegetais presentes nos biomas Mata Atlântica, foram identificadas pelo MMA – Ministério do Meio Ambiente brasileiro, 147 áreas prioritárias para conservação, sendo 79 de extrema importância biológica, mostradas na figura 1.5. Cerca de 48% das áreas propostas estão na região Nordeste, sendo a maioria de extrema importância biológica. De um modo geral, as áreas são de pequena extensão, o que reflecte a fragmentação existente na Mata Atlântica da região, em parte decorrente de causas naturais (formações florestais no meio de uma zona semi-árida brasileira como 'brejos' e 'enclaves'), por outra devido à ocupação humana e seu consequente impacto sobre a vegetação (IBGE, 2004c).

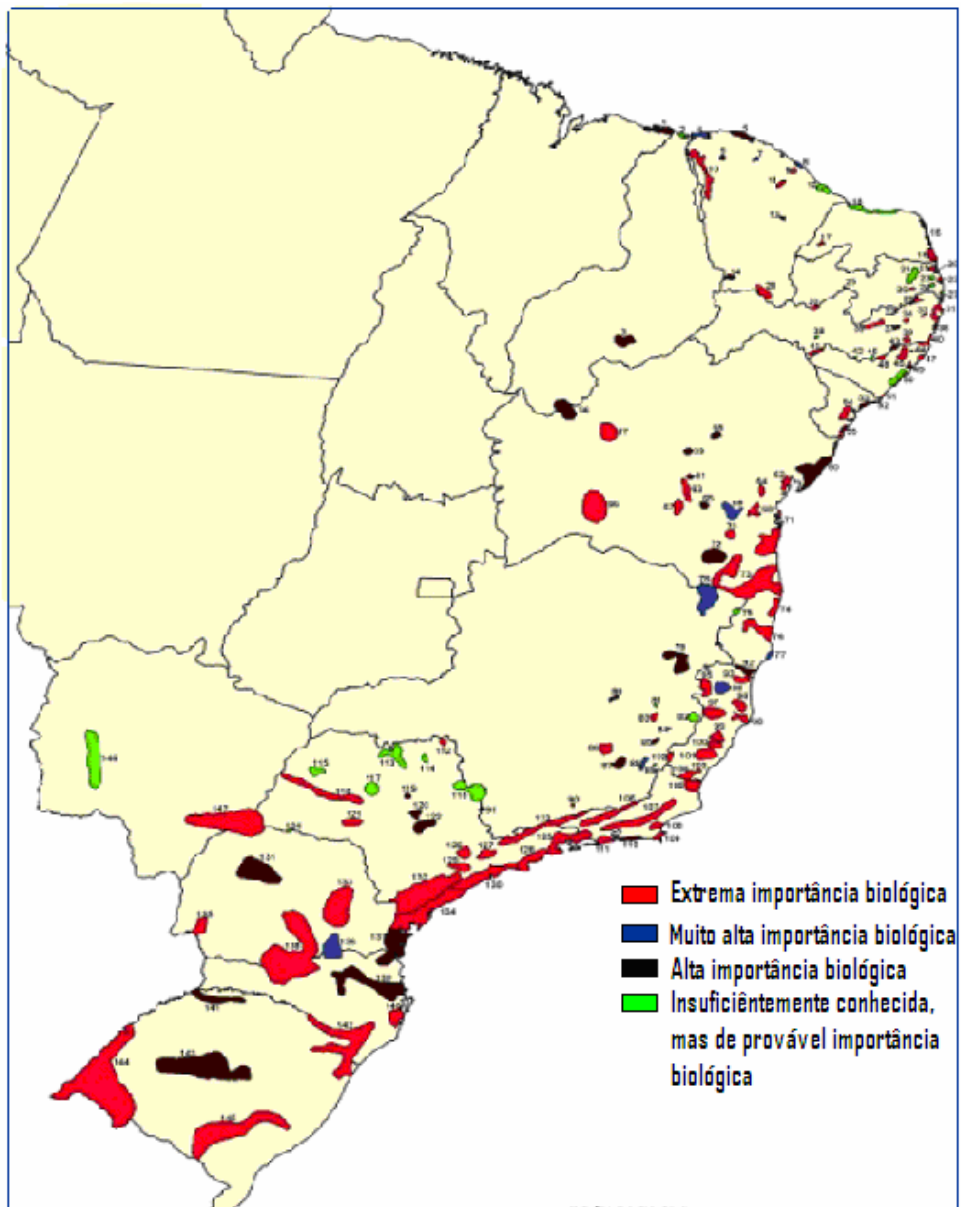


Figura 1.5 – Mapa de áreas prioritárias para a conservação da flora da Mata Atlântica e campos sulinos.

(Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica e MMA, 2000).

1.3 CORREDORES DE BIODIVERSIDADE

É consensual no meio científico que as oportunidades de sobrevivência a longo prazo, da Biodiversidade, aumentarão significativamente com o estabelecimento de um planeamento para conservação à escala regional ou que contemple grandes unidades de paisagem. De entre as várias abordagens possíveis, a dos “Corredores de Biodiversidade” representa uma das mais promissoras para um planeamento regional eficaz (CI et al., 2000a). A Mata Atlântica é considerada um dos cinco *hotspots* de biodiversidade mais importantes do planeta, que são as áreas mais ricas em diversidade biológica e necessita, com urgência, de dispor de um escala ambiciosa de planeamento para a sua conservação (SOS M:A. et al., 2006b).

A Mata Atlântica e seus ecossistemas associados cobriam, à época dos descobrimentos, no ano de 1500, 1.110.182 km², tabela 1.1. Actualmente, cerca de apenas 7% da área do bioma, preservam suas características bióticas originais (SOS M. A., et al., 2006 b), figura 1.6.

Apesar da devastação a que foi submetido ao longo dos anos, abriga ainda hoje altíssimos níveis de riqueza biológica e de endemismos, como o exemplo do recorde mundial de diversidade de plantas lenhosas encontradas num único hectare no sul do estado federativo da Bahia: 458 espécies (CI et al., 2000a).

Numa comparação com o território português, tabela 1.2, verifica-se que o actual domínio da Mata Atlântica representa cerca de 82% de todo território português. E está seriamente ameaçada (INE, 2005).

Tabela 1.2 – Dados Territorias de Portugal.

	ÁREA (Km ²)
PORTUGAL (Total)	92.151,8
Continente	89.045,1
Açores	2.321,9
Madeira	784,8

Fonte: Instituto Nacional de estatística, 2005 – Portugal.

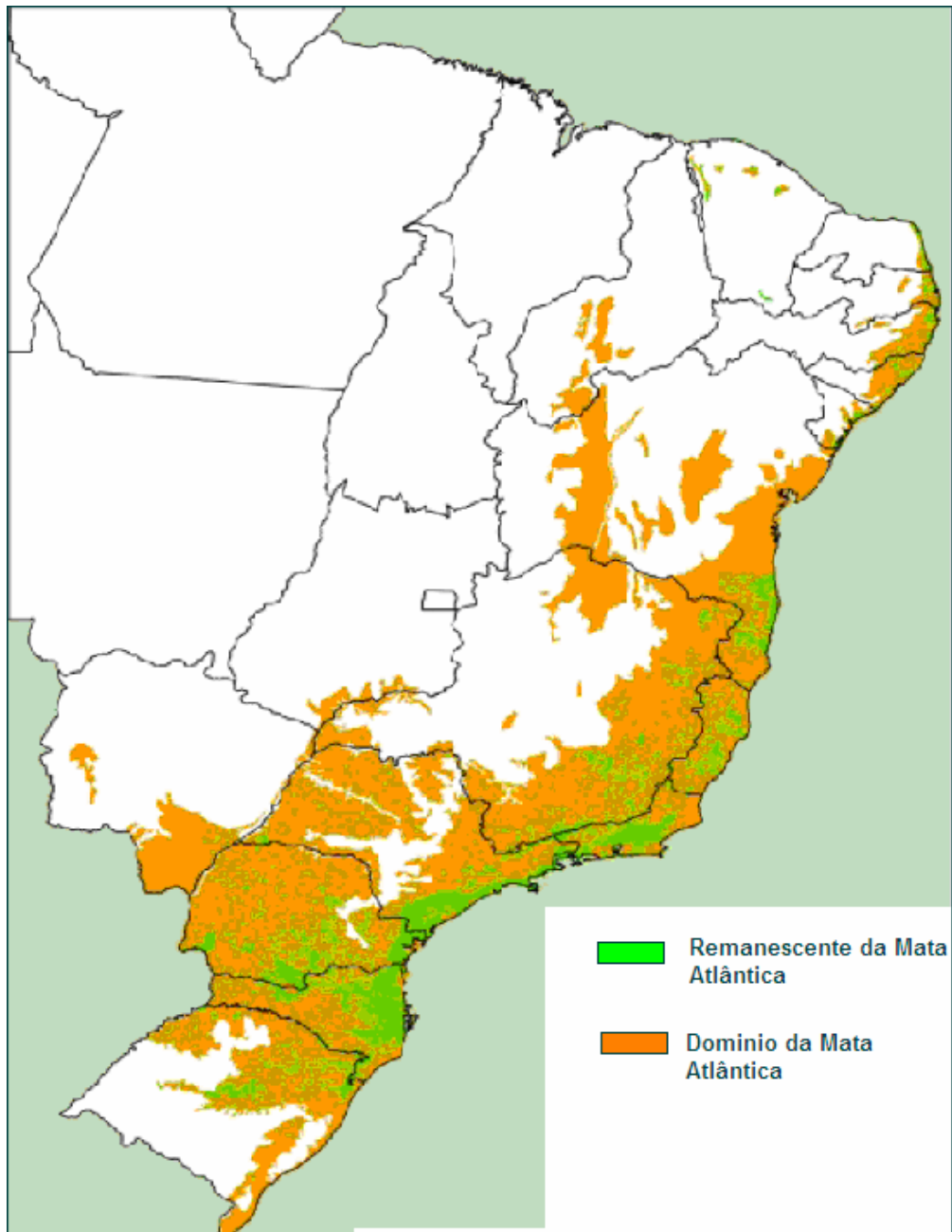


Figura 1.6 – Mapa da cobertura vegetal nativa da Mata atlântica e da actual abrangência.

(Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica, MMA, 2000).

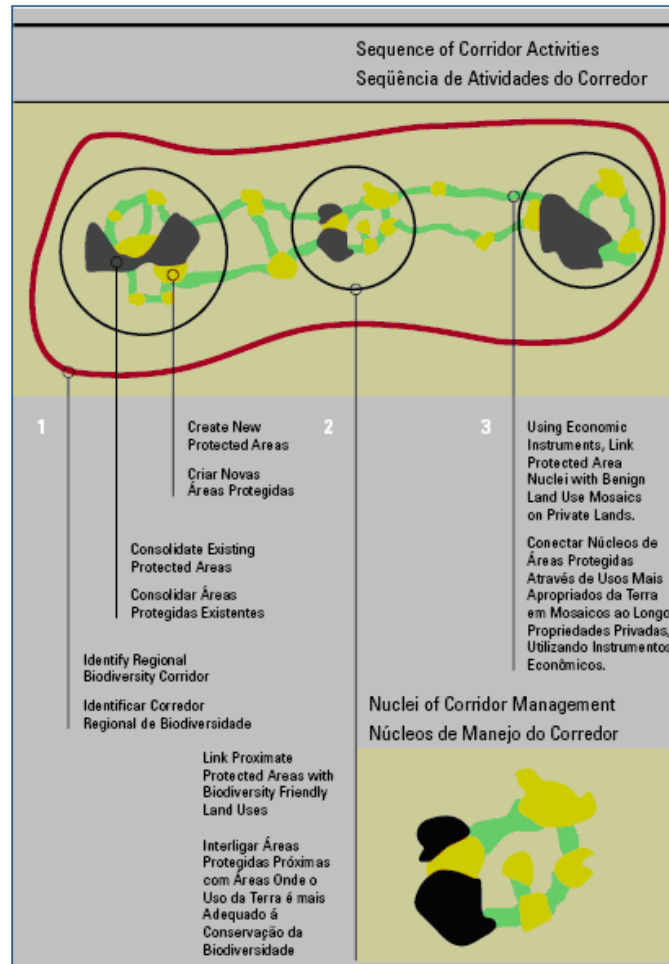


Figura 1.7 – Esquema de implantação de um “Corredor de Biodiversidade”.

Fonte: Institute for Social and Environmental Studies of Southern Bahia, 2000.

A abordagem dos corredores de Biodiversidade é utilizada para integrar diferentes escalas de protecção ambiental, desde a local até a regional, buscando-se representar diferentes ecossistemas e manter, ou incrementar, os níveis de conectividade entre as áreas, esquema apresentado na figura 1.7.

Na maioria dos “hotspots” ^(c), os remanescentes de habitats não protegidos estão gravemente ameaçados. Nessas circunstâncias, os esforços de conservação devem concentrar-se na ampliação do estabelecimento de ligações entre importantes áreas situadas em vastas zonas geográficas, de forma a

possibilitar o desenvolvimento desses processos evolutivos em larga escala e contribuir para a manutenção da biodiversidade. Os sistemas de gestão da paisagem, juntamente com as redes de áreas protegidas, são conhecidos como corredores de Biodiversidade (Sanderson, J. et al., 2003).

Mas, o crescimento populacional e o consequente aumento da procura de bens e serviços ambientais, para além da redução do orçamento público destinado à conservação da natureza, têm limitado, cada vez mais, a criação de áreas protegidas públicas (Mcneely, J.A., 1984).

Nos últimos anos tem crescido o apoio às Reservas Particulares do Património Natural (RPPN), única categoria de unidade de conservação prevista no Sistema Nacional brasileiro, de Unidades de Conservação (SNUC) para criação voluntária, pelo sector privado. Uma iniciativa importante é o Programa de Incentivo às RPPN da Mata Atlântica, coordenado pela Fundação SOS Mata Atlântica e pelo Programa da Mata Atlântica da Conservação Internacional. Esse é um dos programas especiais do Fundo de Parceria para Ecossistemas Críticos (CEPF Mata Atlântica) (CI et al., 2000a).

1.4 RESÍDUOS FLORESTAIS

A utilização da biomassa oriunda de resíduos florestais concorrerá sempre com a incorporação do resíduo no solo, para reposição de nutrientes. A utilização da energia advinda da biomassa tem dois aspectos de grande importância: sua renovabilidade e a manutenção do equilíbrio de CO₂ (que é capturado no processo de fotossíntese e libertado no processo de queima). Cultivar bem a floresta, é cumprir a responsabilidade de preservar o património natural, diminuir os impactes antropogénicas e preservar a Biodiversidade do mundo.

^(c) Os *hotspots* são consideradas as regiões que apresentam elevada biodiversidade, grande número de espécies exclusivas (endémicas) e que já perderam mais de 70% de sua área original.

A combinação do uso da filosofia dos “Corredores de Biodiversidade” com o de implementação de espécies nativas, com capacidade de geração de energia, poderá vir a contribuir como um instrumento de sustentabilidade, tanto ao nível económico, quanto ao social e ambiental. Neste âmbito, a realização de um estudo, que possibilite a valorização energética dos recursos naturais da Mata Atlântica de forma sustentável, pode favorecer os subsídios económicos de sustentabilidade de um planeamento de programas que reconstruam áreas devastadas pela acção antrópica.

1.4.1 CARACTERÍSTICAS DOS RESÍDUOS FLORESTAIS

Torna-se vital estudar e aumentar o número de espécies vegetais com potencial de aproveitamento energético da Mata Atlântica. Desta forma, o aproveitamento dos resíduos florestais, que possam ser explorados de forma sustentável e economicamente viável, poderão vir a promover o desenvolvimento sustentável da Mata Atlântica. Os resíduos florestais servem para o aproveitamento directo em energia, enquanto que outros subprodutos podem servir para a valorização energética, tais como os resíduos das colectas de frutos e ervas, ou mesmo resíduos dos artesanatos feitas com matéria-prima da Mata Atlântica.

A seguir apresenta-se as principais características dos resíduos florestais.

- A sua produção e utilização devem apresentar um reduzido impacte ambiental.
- A floresta favorece a utilização eficiente da água, facto este que é um dos que mais limitam a produção de biomassa no mundo.
- Efectuam uma intercepção da luz solar durante a maior parte do ciclo de crescimento.
- Efectuam a conversão da luz solar em material vegetal.

- Asseguram necessidades externas mínimas para a produção e colheita – sementes, fertilizantes, maquinaria e operações associadas, e secagem da cultura –, ou seja, são espécies vegetais de reduzidas exigências.
- Conduzem a um balanço energético sustentável – ou seja, um balanço energético positivo.
- Apresentam um elevado teor em matéria seca na altura da colheita – ou seja, têm uma elevada produtividade. Os valores de humidade podem ser encontrados na gama dos 7 e 30%.
- Apresentam elevada densidade energética, na base seca, possível de serem encontrados valores entre os 16 e 21MJ.kg-1.

O crescimento do saldo comercial do agro negócio brasileiro, nestes últimos anos, tem sido impulsionado principalmente pela produção de grãos, direccionada em grande parte para as exportações, que registraram crescimento superior a 50% no caso de algumas culturas. Como grande produtor agrícola, o Brasil gera expressiva biomassa nos processos de colheita e processamento de produtos agro-pecuários, tais como milho, arroz, algodão, madeira, carnes e também lixo urbano. Segundo aponta o BEN 2006 (Balanço Energético Nacional), 44,7% da matriz energética no Brasil, em 2005, foi fornecida por fontes renováveis (MME, 2006).

Dentre as fontes renováveis, a biomassa é uma das mais adequadas para geração de energia, sob a forma de calor. Assim, combustíveis fósseis, não renováveis, em situações específicas, e em menor escala, poderiam ser potencialmente substituídos pela biomassa na função de gerar calor. A biomassa oriunda dos resíduos florestais de áreas utilizadas para o reflorestamento da Mata Atlântica, no Brasil, poderá contribuir nesta empreitada.

A utilização da biomassa residual, para geração de energia, traz benefícios ambientais pela redução de uso de outras fontes não renováveis e económicas, incluindo a comercialização do CO₂, no mercado do carbono. A utilização da

biomassa como combustível, poderia ainda agregar valor económico à produção agrícola (CENBIO, 2005b), através da comercialização dos resíduos, do aproveitamento desta energia nas próprias propriedades agrícolas, e da comercialização das reduções de emissões equivalente do dióxido de carbono, resultantes pelo uso de fonte de energia renovável, em substituição de combustíveis fósseis.

1.4.2 QUALIDADE TÉCNICA DOS RESÍDUOS FLORESTAIS

A qualidade de resíduos de biomassa como combustível, está relacionada as propriedades tais como o índice de humidade, poder calorífico, quantidade de cinzas, e material volátil. Quanto mais elevado for o índice de humidade de um combustível, menor será o seu poder calorífico. Isto se deve em parte ao facto dos combustíveis com um índice de humidade elevada, apresentarem, por definição, um índice mais baixo de material combustível. Também parte do calor libertado durante a combustão é usada para a evaporação da água, contida no combustível. Para um combustível ser capaz de ser inflamado, o seu índice de humidade deverá estar abaixo de 55%. O índice de humidade de fontes de biomassa varia entre os 10% e os 70%, na área dos resíduos de florestas (Basu, P. et al., 1999).

A quantidade de cinza é significativa, porque determina o comportamento da biomassa a altas temperaturas. Quantidades de cinzas fundidas, podem, por exemplo, causar problemas na combustão. Os índices de cinza da biomassa podem variar desde 0.5% para a madeira, até 5-10% para culturas energéticas, e de 30-40% para resíduos da agricultura (Basu, P. et al., 1999).

A formação de óxidos de azoto (NO_x), durante a combustão, pode constituir uma condição particular para combustíveis como a biomassa. Quando todo o combustível for sujeito à combustão na presença do ar, algum NO_x será formado em consequência da reacção do azoto no ar com o combustível. A partir de uma combustão a temperaturas acima dos 950°C, torna-se mais fácil a formação de NO_x . Em sistemas de leito fluidizado, onde as temperaturas são controladas na

gama dos 800° e 900° C, a formação NO_x , óxidos de azoto, resultará fundamentalmente do N-biomassa, isto é de azoto presente na biomassa. A quantidade de NO_x assim formada, pode geralmente ser controlada usando técnicas apropriadas da combustão em leito fluidizado (Basu, P. et al., 1999).

Este tipo de biomassa pode ser usado directamente como combustível, onde tal for apropriado. Alternativamente, podem ser processados nos locais de extracção, por forma a que seja possível um melhor transporte, armazenamento e uma futura combustão, tal como “pellets”, “briquettes” e fardos. Uma técnica nova que permita uma manipulação mais fácil é de empacotamento, onde a biomassa passa por um processo de aglomeração em blocos de dimensão igual e peso semelhante.

1.4.3 BENEFÍCIOS NO USO DOS RESÍDUOS FLORESTAIS

Usar a biomassa dos resíduos florestais ao invés dos combustíveis fósseis é útil do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, por ser uma fonte renovável, por contribuir com a redução dos gases do efeito estufa, e por promover uma melhoria na qualidade das florestas. Actualmente, os principais usuários de biomassa, em grande escala, são companhias que a utilizam para a produção de calor e electricidade. Uma integração da indústria da floresta com as companhias de energia facilitaria uma melhoria considerável da eficiência total do processo, possibilitando uma estratégia de custos – benefícios que auxiliariam os projectos. Além disso, instituir-se-ia uma ferramenta de apoio à sustentabilidade entre a sociedade e o ambiente, levando em consideração os aspectos económicos (IEA, 2005b). Outros benefícios podem ser citados, como ao nível social, geração de empregos, e manutenção de recursos humanos nas zonas rurais, redução da imigração do campo para as cidades; a redução de impactes antropogenicos, redução dos gases com efeito de estufa, redução da possibilidade de fogos florestais, aumento de áreas de reflorestamento, e preservação de espécies vegetais e animais.

1.5 ESCOLHA DAS ESPÉCIES

Neste âmbito, a realização de um estudo que possibilite a valorização energética dos recursos naturais da Mata atlântica (Brasil), de forma sustentável, poderá fornecer os subsídios económicos de sustentabilidade de um planeamento de programas, que reconstruam áreas devastadas pela acção antrópica.

A Mata Atlântica possui cerca de 8000 espécies vegetais endémicas (SOS M.A. et al., 2000a), tabela 1.3. A proposta deste trabalho é a de seleccionar quatro espécies, que actualmente são comumente usadas no reflorestamento de áreas da Mata Atlântica, a escolha foi traduzida na listagem da tabela 1.4. Estas espécies foram escolhidas, de entre aquelas mais utilizadas para a reflorestação.

Tabela 1.3 – Diversidade, endemismo e espécies ameaçadas da Mata Atlântica.

GRUPO TAXONÓMICO	TOTAL DE ESPÉCIES	ESPÉCIES ENDÊMICAS	ESPÉCIES AMEAÇADAS
Plantas Vasculares	20.000	8.000	200
Mamíferos	250	55	35
Aves	1.023	188	104
Reptéis	197	60	3
Anfibios	340	90	1
Peixes	350	133	12

Fonte: Relatórios técnicos temáticos de Biodiversidade do sub projecto “Avaliação e Acções prioritárias para conservação dos biomas floresta atlântica e dos campos sulinos”, MMA, 2000.

Tabela 1.4 – Espécies Seleccionadas e que são utilizadas para reflorestamento da Mata Atlântica.

Família	Nome Científico	Nome Popular
Leguminosae	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	Aroeira
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i> L.	Urucum
Leguminosae-Caesalpinoideae	<i>Caesalpinia echinata</i> Lam.	Pau-brasil
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Pitangueira

1.5.1 PAU-BRASIL

O Pau-brasil é o nome popular da espécie *Caesalpinia echinata* Lam., uma leguminosa nativa da Mata Atlântica. O seu nome em tupi, é ibira pitanga, ou "madeira vermelha". O nome popular em português deriva da cor de brasa da resina vermelha contida na sua madeira. É conhecido também pelos nomes de pau-pernambuco e pau-de-tinta (Lorenzi, H., 1992). Sua ocorrência verifica-se nas florestas estacional semidecidual e na floresta ombrófila densa da Mata Atlântica.

O corte do pau-brasil, para a obtenção da sua madeira e resina foi a primeira actividade económica dos colonos portugueses, na recém descoberta Terra de Santa Cruz, no século XVI. A abundância desta árvore naqueles tempos conferiu à colónia o nome de Brasil (Bueno, E., 1998). Pode ser utilizada na construção civil, para extracção de resina, arborização urbana e confecção de instrumentos musicais.

No século XVI, a resina vermelha era utilizada pela indústria têxtil europeia como uma alternativa aos corantes de origem terrosa, conferindo aos tecidos uma cor de qualidade superior. Isto, aliado ao aproveitamento da madeira vermelha na marcenaria, criou uma procura enorme no mercado, o que forçou uma rápida e devastadora "caça" ao pau-brasil nas matas brasileiras. Em pouco menos de um século, já não havia mais árvores suficientes para cobrir a procura, e a actividade económica foi deixada de lado, embora espécimes continuassem a ser abatidos ocasionalmente para a utilização da madeira (Lorenzi, H., 1992).

A árvore, que se encontra na lista do IBAMA de espécies ameaçadas de extinção, na categoria vulnerável, alcança entre 10 e 15 metros de altura. Possui tronco erecto, cinza-escuro, coberto de acúleos, especialmente nos ramos mais jovens (*echinata* significa "com espinhos"). As folhas são compostas bipenadas, de cor verde médio, brilhantes (MAPA, 1931).

As flores nascem em racemos erectos próximo ao ápice dos ramos. Possuem quatro pétalas amarelas e uma menor vermelha, muito aromáticas; no centro encontram-se 10 estames e um pistilo com ovário súpero alongado. Os frutos são vagens cobertas por longos e afiados espinhos, contendo de uma a cinco sementes discóides, de cor marrom. Suas folhas são compostas por cinco a seis pares de folíolos, medindo seis a dez cm de comprimento. Cada folíolo é formado por 8 a 10 pares de folíolos secundários medindo 1 a 2 cm de comprimento. Há presença de pequenos acúleos abaixo da ráquis. O fruto é totalmente coberto por acúleos curtos e finos. Possui deiscência explosiva (Aguiar, I.B., et al., 1993; Engel, V.L., et al., 1984) Sua madeira é considerada densa, dura, compacta, muito resistente, de textura fina, com alburno pouco espesso e diferenciado do cerne.

A sua classificação científica é apresentada na tabela 1.5.

Tabela 1.5 – Classificação científica da biomassa – Pau- Brasil

PAU-BRASIL	
Classificação Científica	
Reino:	Plantae
Divisão:	Magnoliophyta
Classe:	Magnoliopsida
Ordem:	Fabales
Família:	Leguminosae
Sub-família:	Caesalpinioideae
Gênero:	<u>Caesalpinia</u>
Espécie:	<i>C. echinata</i> Lam.



Figura 1.8 – Vista geral e das folhas do Pau-Brasil

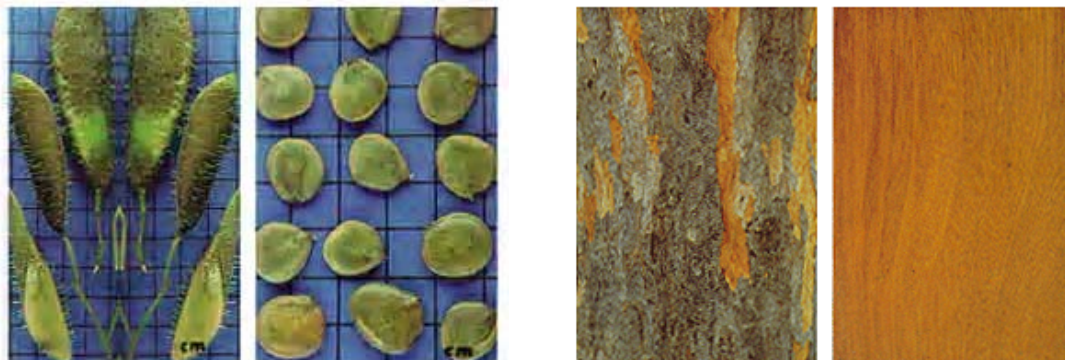


Figura 1.9 – Vista dos frutos, sementes e do tronco do Pau – Brasil

1.5.2 AROEIRA

Aroeira ou Arrueira é o nome popular de várias espécies de plantas da família Anacardiaceae. Podendo ainda ter outros nomes conforme a região brasileira, tais como, aroeira-mansa, aroeira-vermelha, aroeira-precoce, aroeira pimenteira e aroeira-do-campo. A espécie seleccionada é nativa de várias formações vegetais do nordeste, centro-oeste, sudeste e sul do Brasil (MAPA, 1931).

Possui como característica geral ter uma altura que varia entre cinco e dez metros, com um tronco, cujo diâmetro pode variar de diâmetro entre 30 e 60 centímetros. Tem uma fluorescência nos meses de Setembro ao Janeiro e a maturação dos frutos inicia-se nos meses de Janeiro ao Julho (Lorenzi, H., 1992).

A sua classificação científica é apresentada na tabela 1.6.

Tabela 1.6 – Classificação científica da biomassa – Aroeira

Aroeira
Classificação científica
Reino: Plantae
Divisão: Anthophyta
Classe: Magnoliopsida
Ordem: Sapindales
Família: Anacardiaceae
Género: <i>Schinus</i>
Espécie: <i>terebinthifolia</i> Raddi



Figura 1.10 – Vista geral e das folhas de uma Aroeira



Figura 1.11 – Vista dos frutos, sementes e do tronco da Aroeira

1.5.3 PITANGA

É uma árvore ornamental, podendo ser utilizada na arquitectura paisagista, apesar da inconveniência da existência dos frutos em lugares públicos, que podem causar sujeira. É uma planta amplamente cultivada em pomares domésticos, para a produção de frutos, que são consumidos ao natural e na forma de suco. É recomendável seu plantio em reflorestamento heterogêneos, destinados à recomposição de áreas degradadas de preservação permanente, visando proporcionar alimento à avifauna (MAPA, 1931).

Sua madeira é moderadamente pesada, dura, compacta, e resistente com longa durabilidade natural, sendo empregada na confecção de cabos de ferramentas e outros instrumentos agrícolas. Possui uma altura de cerca de seis a doze metros, dotada de copa mais ou menos piramidal. Tronco tortuoso e um pouco sulcado, de 30-50cm de diâmetro, com casca descamante em placas irregulares. Folhas simples, com um comprimento de um a três centímetros de largura. Flores solitárias ou em grupos de dois a três, nas axilas da extremidade dos ramos. Fruto drupa globosa achatada e sulcada, brilhante, vermelha, amarela ou preta quando madura, de polpa carnosa e comestível, contendo uma a duas sementes (Engel, V.L., et al., 1984).



Figura 1.12 – Vista geral e das folhas e flores da Pitanga



Figura 1.13 – Vista dos frutos, sementes e do tronco da Pitanga

A sua classificação científica é apresentada na tabela 1.7.

Tabela 1.7 – Classificação científica da biomassa – Pitanga

PITANGA	
Classificação Científica	
Reino:	Plantae
Divisão:	Magnoliophyta
Classe:	Magnoliopsida
Ordem:	Fabales
Família:	Mirtacea
Género:	Eugénia
Espécie:	Uniflor, L.

1.5.4 URUCUM

A espécie *Bixa orellana* L. pertence à família das Bixaceae, sendo popularmente conhecida como urucum, ou urucu, do tupi uru-ku (vermelho), é uma árvore originária da América Tropical, também designada “annatto” (inglês), “onoto” (espanhol), “roçou” (francês) e “orleansstrauch” (alemão). É uma espécie nativa da América tropical com grandes folhas de cor verde-claro. Produz flores rosadas, com muitos estames. Os frutos são cápsulas armadas por espinhos maleáveis, que se tornam vermelhas quando maduras. Então, abrem-se, revelando pequenas sementes dispostas em série, envolvidas por arilo vermelho. Pode atingir até seis metros de altura e suas sementes de cor avermelhada são comumente usadas como corante natural (Amaral, L.I.V., 1990).

Trata-se de um arbusto grande ou árvore pequena, com três a cinco metros de altura e de copa bem desenvolvida. As folhas são simples, glabras, medindo oito a onze centímetros de comprimento. As flores são levemente rosadas, dispostas em panículas. O fruto é uma cápsula descecente ovóide, com dois ou três carpelos, cobertos por espinhos.

O urucum era, e ainda é, utilizado tradicionalmente pelos índios brasileiros e peruanos como fonte de matéria-prima para tinturas vermelhas, usadas para os mais diversos fins, entre eles, protector da pele contra o sol e contra picadas de insectos; há também o simbolismo de agradecimento aos deuses pelas colheitas, pesca ou saúde do povo (Amaral, L.I.V., 1990). No Brasil, a tintura de urucum em pó é conhecida como *colorau*, e usada na culinária para realçar a cor dos alimentos. Esta espécie vegetal ainda é cultivada por suas belas flores e frutos atractivos (UMA, 2006).

Levado para Europa pelos primeiros colonizadores da América, é mundialmente empregado como corante para diversos fins, principalmente na indústria alimentícia. Com o controlo rígido do uso de corantes alimentícios artificiais na União Europeia, por prováveis efeitos cancerígenos, (por exemplo a anilina), é intensamente importado da América Tropical e África (ISA, 2006).



Figura 1.14 – Vista geral da árvore com as folhas e frutos do Urucum



Figura 1.15 – Vista geral dos frutos do Urucum

Nos últimos anos o potencial do mercado internacional do urucueiro teve um grande impulso. Como produto natural, é substituto para os corantes sintéticos, considerados cancerígenos, e, por isso, proibidos por lei nos Estados Unidos, Japão e alguns países da Europa. Com isto, o urucueiro passou a ganhar mais importância nas regiões produtoras, devido a grande capacidade de expansão da cultura (Amaral, L.I.V., 1990). Este facto serve de incentivo para o aproveitamento da biomassa descartada, proveniente das limpezas e do processo produtivo desta espécie.

A sua classificação científica é apresentada na tabela 1.8.

Tabela 1.8 – Classificação científica da biomassa – Urucum

URUCUM	
Classificação científica	
Reino:	Plantae
Divisão:	Magnoliophyta
Classe:	Magnoliopsida
Ordem:	Malvales
Família:	Bixaceae
Género:	Bixa
Espécie:	<i>orellana</i> L.

1.6. QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA NA MATA ATLÂNTICA

Pretende-se estabelecer uma análise no sentido de medir os valores da produção vegetal dentro de áreas originais da Mata Atlântica, por forma a obter valores indicativos da produção de biomassa. A partir daí far-se-á a Identificação de algumas áreas para a reflorestação da Mata Atlântica, e das suas respectivas produções brutas previsível para futuras implementações de projectos de valorização energética dos resíduos florestais. Serão utilizados os Métodos de Peterson (França, M., et al., 1973), e os modelos de Montreal e de Miami para determinação da produção vegetal expressa em $\text{ton.m}^{-3}.\text{ano}$ de biomassa (Lieth, H. et al., 1975). Todos eles estimam a produção vegetal baseados em valores climáticos relevantes, quanto à produção de biomassa. A escolha foi de quatro áreas dentro da extensão original da Mata Atlântica, nas quais os dados históricos do clima estavam disponíveis. As áreas escolhidas foram quatro capitais brasileiras, a cidade de Salvador da Bahia (região nordeste), a cidade do Rio de Janeiro (região sudeste), a cidade de São Paulo (região sudeste), e a cidade de Recife (região nordeste) em Pernambuco.

1.6.1 MODELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE BRUTA DE BIOMASSA

1.6.1.1 ÍNDICE DE PATERSON

É um índice que relaciona a produtividade potencial de uma dada região com determinados valores climatológicos, nomeadamente a temperatura, a humidade, traduzida pela pluviosidade anual, a duração do período vegetativo e a intensidade das radiações solares, partindo do princípio que são estes os componentes do clima cuja resultante tem maior incidência no maior ou menor vigor da vegetação, segundo o sueco Paterson (França, M., et al., 1973). Os valores deste índice permitem delimitar zonas potencialmente mais favoráveis à instalação florestal, isto é, zonas de produtividade potencial ou de aptidão florestal. O índice é válido para exprimir a capacidade produtiva das florestas endémicas. O índice apresentado por Paterson é determinado pela seguinte fórmula:

$$I = \frac{T_v}{T_a} \cdot P \cdot E \cdot \frac{G}{12} \cdot \frac{1}{100}$$

Na qual os símbolos tem o significado seguinte:

T_v = Temperatura média do mês mais quente, em °C;

T_a = diferença entre T_v e a temperatura média do mês mais frio, (°C);

P = pluviosidade média anual, em mm;

G = duração em meses do período activo da vegetação e

E = quociente entre as radiações globais no pólo e na estação considerada, expressa em %.

De acordo com o auxílio dos dados disponibilizados pela EMBRAPA, expressos nas figuras 1.16 e 1.17, foi realizada a tabela 1.9, abaixo apresentada, considerando que os valores médios obtidos referem-se ao período de trinta anos, 1960-1990, correspondendo ao período mais actualizado dos dados.

Tabela 1.9 – Parâmetros do Índice de Paterson

Localidade	P (mm)	T _v (°C)	E %	G (Nº de meses)	T _a (°C)	I (CVP)
RECIFE	2435	26,5	42,1	11	2,8	8.927
SALVADOR	2110	26,7	42,8	12	2,9	8.315
RIO DE JANEIRO	1175	26,4	43,5	11	5,0	2.474
SÃO PAULO	1470	23,5	45,0	10	8,3	1.561

Para a determinação de G (o número de meses do período vegetativo) Paterson considerou que, nos climas quentes ou temperados – quentes, seria preferível utilizar no cálculo de G, o índice de aridez de De Martone dado por:

$$i = \frac{12p}{t + 10}$$

No qual, p é a pluviosidade mensal, expressa em mm e t a temperatura média mensal, com base na qual se consideram como meses vegetativamente activos aqueles em que $i > 20$.

O índice de Paterson considera a influência da latitude, através do factor E (quociente entre as radiações globais no pólo e na estação considerada, expressa em %), nas radiações globais locais. A deslocação da latitude do habitat natural para o Norte, hemisfério Setentrional, e para o Sul, hemisfério sul, prolonga o período vegetativo, enquanto que o movimento para o equador o encurta. A influência das temperaturas na produção lenhosa parece aumentar à medida que aumenta a latitude, enquanto que a das precipitações se manifesta quando nos aproximamos do Equador. Para a realização dos cálculos foi utilizado o gráfico que relaciona Latitude X $E\%$ (França, M., et al., 1973).

Segundo Paterson, corresponde a cada valor do índice, uma determinada capacidade de produção lenhosa, que se obtém a partir de uma regressão por ele estabelecida. Por outro lado, também indica que a produtividade local aumenta linearmente com a temperatura do mês mais quente, com precipitação, com duração da estação de crescimento e com a proximidade do Equador, decrescendo com a amplitude térmica anual.

A partir dos valores encontrados para o índice I (CVP), calcula-se a produtividade anual a partir da equação:

$$P_A = 5,20 \cdot \log I_{CVP} - 7,25$$

Onde, P_A é a produtividade anual ($m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$).

A tabela 10 abaixo, apresenta-se as produtividades nas regiões em estudo:

Tabela 1.10 – P_A anual calculada, segundo modelo de Paterson.

Localidade	$P_A(m^3.ha^{-1}.ano^{-1})$
RECIFE	13,0
SALVADOR	12,9
RIO DE JANEIRO	10,2
SÃO PAULO	9,1

1.6.1.2 MODELO DE MIAMI E MONTREAL

É de conhecimento geral que factores resultantes do clima, tais como a pluviosidade, a temperatura, o relevo, o solo, a radiação solar, entre outros, são determinantes no crescimento vegetativo. Por outro lado a utilização de todos estes parâmetros de forma directa, para estimar a capacidade produtiva de uma região, pode requerer um procedimento difícil e extenso. Daí ser necessário a utilização de modelos que estimem a capacidade produtiva de qualquer região, através de métodos indirectos. Apresentamos estes dois modelos que permitem prever e calcular as produtividades primárias nas áreas em estudo (Lieth, H. e tal., 1973). O primeiro modelo é o denominado de Modelo de Miami, que se baseia na produtividade a partir da precipitação e da média das temperaturas anuais. Foi apresentado em 1971, no Simpósio de Miami. O segundo modelo, relaciona a produtividade com a evapotranspiração anual e foi apresentado no 22º Congresso de Geografia Internacional, em 1972, Montreal, sendo conhecido como Modelo de Montreal. Portanto, a produtividade primária líquida é expressa pelos modelos citados, através das seguintes fórmulas:

Modelo de Miami

$$P_x = 3000 / (1 + e^{(1,315 - 0,119X)}) \Rightarrow (X = \text{temperatura média anual em } ^\circ\text{C})$$

$$P_z = 3000 * (1 - e^{-0,000664 Z}) \Rightarrow (Z = \text{precipitação em mm/ano})$$

Modelo de Montreal

$$P_e = 3000 * (1 - e^{-0,0009695 (E-20)}) \Rightarrow \quad (E = \text{evapotranspiração em mm/ano})$$

P é o nível de produtividade expresso em g/m²/ano. Abaixo apresenta-se a síntese dos resultados encontrados pela aplicação dos Modelos, expressos pelas fórmulas acima apresentadas, auxiliados pelas figuras de 1.16 à 1.19.

Tabela 1.11 – Produtividade primária calculada, segundo os Modelo de Miami e de Montreal

Localidade	P _x g.m ⁻² .ano ⁻¹	P _z g.m ⁻² .ano ⁻¹	P _e g.m ⁻² .ano ⁻¹	Média das Produtividades g.m ⁻² .ano ⁻¹	Temperatura (média)°C	Precipitação (média)mm/ano	Evapotranspiração (média)mm/ano
RECIFE	2541	2404	2197	2381	25,0	2435	1379
SALVADOR	2534	2261	1834	2210	25,3	2110	995
RIO DE JANEIRO	2460	1625	2033	2040	23,8	1175	1188
SÃO PAULO	2180	1870	1954	2001	19,3	1470	1107

1.6.3 COMPARAÇÕES

Os resultados encontrados através do método de Paterson, mostram que as regiões mais ao norte do país, como descrito no método, têm uma melhor produtividade primária, em relação as regiões mais ao sul. Este índice relaciona a produtividade potencial da região baseado em valores climatológicos como a temperatura, a pluviosidade, o comprimento do período vegetativo e a intensidade das radiações solares. Para as regiões mais ao sul, por terem uma maior variação da temperatura média, uma diferença entre os meses mais quentes e mais frios, e uma média da pluviosidade menor, e partindo do princípio que são estes os componentes do clima cuja resultante tem maior importância no vigor maior ou menor da vegetação, pelo método de Paterson, os resultados indicam uma maior PPB para as regiões mais ao norte. Esta conclusão coincide, em linhas gerais, com os resultados de Produção primária bruta anual em varias regiões de floresta tropical do planeta (Schultz, J., 1995).

Para os resultados do modelo de Miami e Montreal as produtividades conduziram a média superior aos 2000 g.m⁻².ano⁻¹. Este valor coincide com a previsão de produtividade líquida em florestas tropicais de Chapman (Chapman, J.L., et. al., 1992), fixado em 2000 g.m⁻².ano⁻¹, baseado em pesquisas efectuadas em diferentes ecossistemas florestais do mundo. Os resultados são estimativas que consideram como relevante a temperatura média anual, a precipitação e evapotranspiração anuais.

Importa realçar que os valores encontrados são indicativos de produtividade, e não são considerados outros parâmetros relevantes à obtenção das produtividades das regiões em estudos; Parâmetros como estrutura nutricional do solo e a altitude não são considerados e podem ser determinantes nas produtividades de um ecossistema florestal, além das características próprias da cultura.

Fica claro que os métodos utilizados são indicadores da produtividade de uma dada região, auxiliando em pesquisas ou investimentos; Também se percebe que as produtividades das áreas da Mata Atlântica são elevadas, e uma forma de a preservar é a realização de pesquisas e investigação de espécies nativas que apresentem apreciáveis produtividades. Desta forma se poderá fazer um manejo sustentável da Mata com espécies nativas, de acordo com os interesses da sociedade moderna. Numa avaliação real deverão ser considerados todos os elementos envolvidos de clima, de solo e de relevo, entre outros.

1.6.4 DADOS METEOROLÓGICOS DAS REGIÕES ESTUDADAS

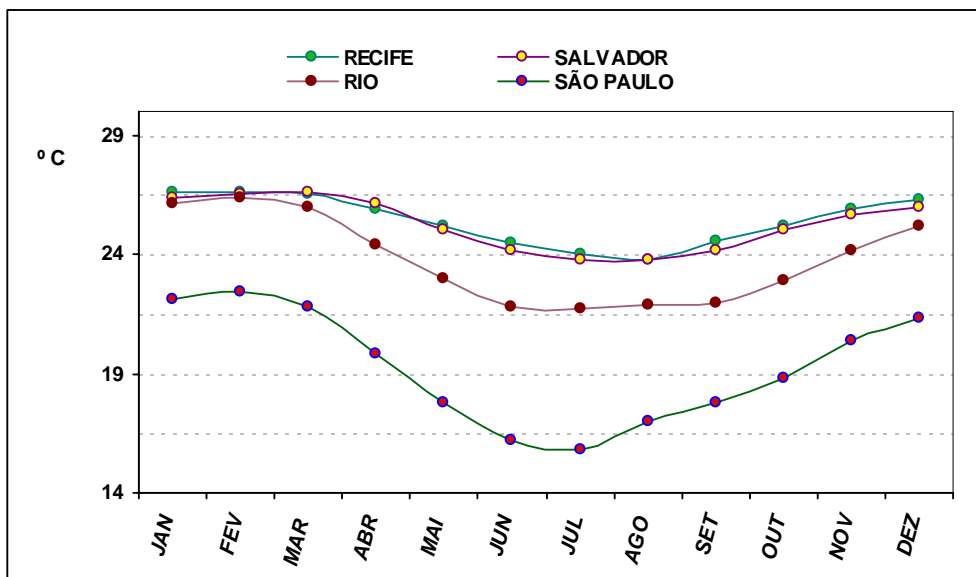


Figura 1.16 – Temperaturas médias mensais, no período de 1960 até 1990, nas cidades em que foram estudadas as produtividades primárias brutas da biomassa

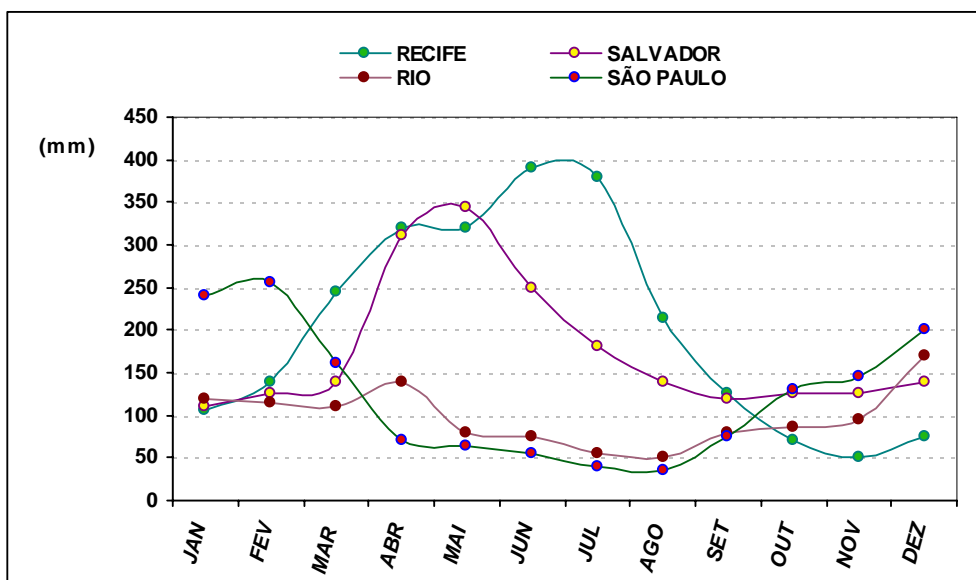


Figura 1.17 – Pluviosidade média mensal, no período de 1960 até 1990, nas cidades em que foram estudadas as produtividades primárias brutas da biomassa

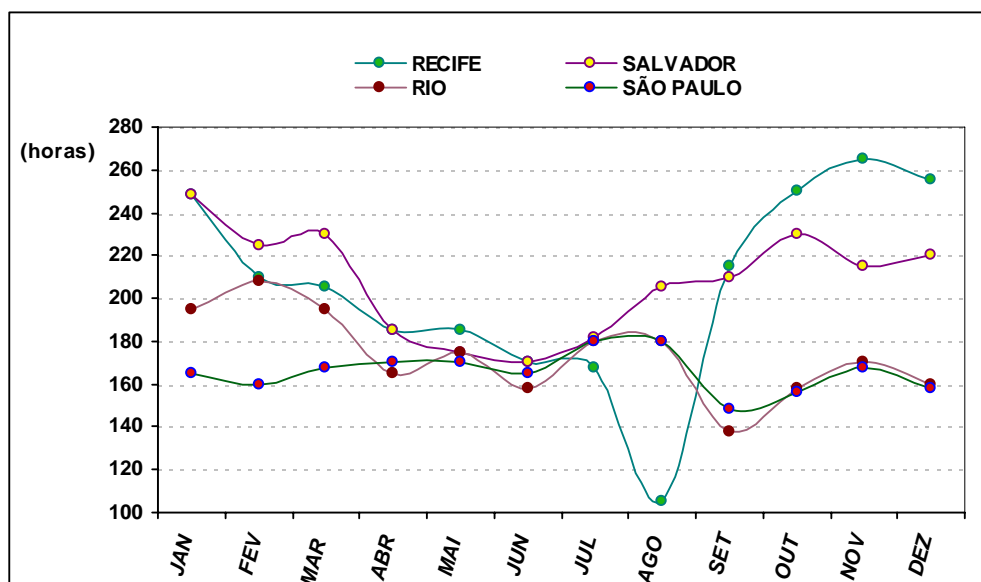


Figura 1.18 – Insolação média mensal, no período de 1960 até 1990, nas cidades em que foram estudadas as produtividades primárias brutas da biomassa

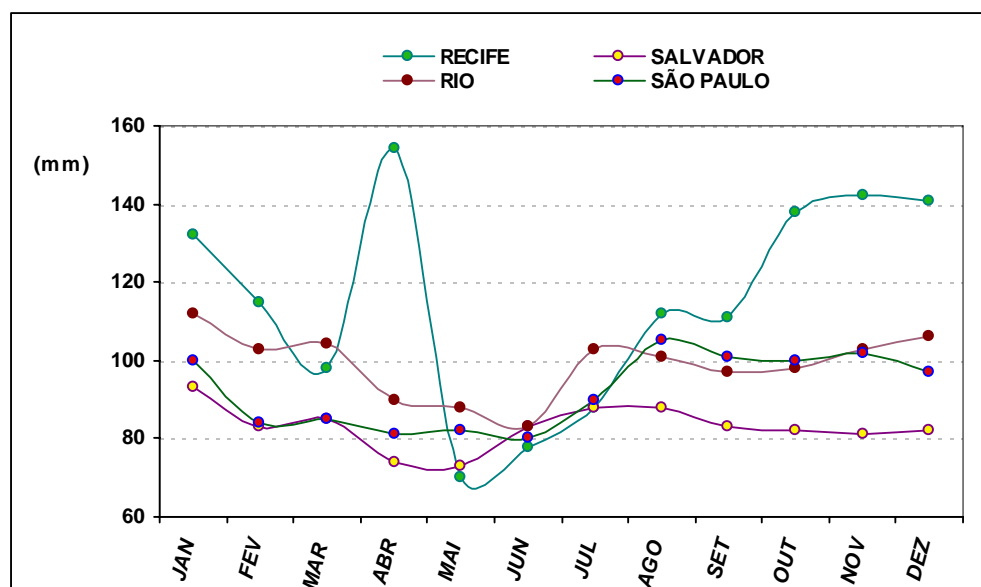


Figura 1.19 – Evapotranspiração média mensal, no período de 1960 até 1990, nas cidades em que foram estudadas as produtividades primárias brutas da biomassa

Tabela 1.12 – Dados referentes à longitude e latitude das regiões nas quais foram estudadas as produtividades primárias brutas da biomassa

Localidade	Latitude:	Longitude:	Altitude:
Recife	08° 03' S	34° 52' W	4m
Salvador	12° 58' S	67° 48' W	8m
Rio de Janeiro	22° 54' S	43° 12' W	2m
São Paulo	23° 32' S	46° 38' W	760m

2.0 CAPÍTULO II

2.1 TECNOLOGIAS DE CONVERSÃO DE BIOMASSA

Os progressos tecnológicos verificadas desde os anos setenta, permitiram uma optimização dos processos de valorização energética, com ganhos nos rendimentos, e um aumento da importância dos aspectos ambientais, nomeadamente a combustão em caldeiras de leito fluidizado (Botterill, J.S.M., 1986). Estes buscam encontrar soluções que promovam a eficiência do processo, o uso de combustíveis renováveis, ou mesmo a redução dos impactes ambientais, aspectos que cada vez mais tem vindo a influenciar a vida dos habitante do planeta.

De facto, se as novas tecnologias trouxerem uma resposta satisfatória às exigências da modernidade, elas também permitirão soluções inéditas que servirão de impulso à própria modernidade. As novas tecnologias de combustão são um desses paradigmas. E a sua utilização para gerar energia a partir da biomassa dos resíduos florestais, nomeadamente combustão com Caldeiras de leito fluidizados, poderá servir de apoio ao programa dos “Corredores de Biodiversidade” (CI, 2000a).

As crescentes necessidades de uso de fontes renováveis de energia e o âmbito de preservação de habitats naturais, face ao desenvolvimento de sistemas comprometidos com o desenvolvimento sustentável, servem de motivação para investigação de soluções modernas.

As soluções para as questões de sustentabilidade passam actualmente por questões económicas que precisam tornar os projectos viáveis e auto sustentáveis. O estudo das características termoquímicas e os ensaios de combustão da biomassa de algumas espécies vegetais endémica na Mata Atlântica, possibilitará uma análise realista do potencial energético. Esta identificação visa permitir a verificação dos ganhos na conversão em energia associados ao ambiente.

Este estudo passa pela determinação e análise do comportamento termoquímico de algumas espécies endémicas da Mata Atlântica; Dentre destas análises estão a determinação do poder calorífico, análise elementar, material volátil, cinzas, e a realização de ensaios de combustão numa caldeira piloto de leito fluidizado, através dos quais pode-se identificar as características e o comportamento termoquímico da biomassa ensaiada (Basu, P. et al, 1999), e verificação das emissões de alguns gases de combustão, tais como o oxido de azoto e de enxofre.

A princípio foi feito a escolha de espécies vegetais da Mata Atlântica que são utilizadas comumente para o reflorestamento, o que não significa serem as melhores espécies ao nível de crescimento de biomassa e, portanto, no âmbito energético.

As tecnologias de conversão da biomassa em energia têm sido pesquisadas e desenvolvidas no Brasil e em vários outros países, mas ainda necessitam de mais estudos para tornar os projecto de usinas térmicas a biomassa competitivas face as usinas convencionais movidas a derivados de petróleo, gás natural e carvão. Entretanto, outros sistemas de co-geração utilizam resíduos de biomassa como combustível e se traduzem, principalmente, em usinas de álcool, no Brasil, e na indústria de papel e celulose (CENBIO, 2005b). Através da queima directa, a biomassa pode ser aproveitada como combustível sólido para conversão energética, técnica essa que é historicamente a mais utilizada.

2.1.1 PROCESSOS DE CONVERSÃO

2.1.1.1 PROCESSO MECÂNICO

Os processos mecânicos não são estritamente processos de conversão, pois não mudam a natureza da biomassa, sendo usados geralmente no tratamento da biomassa e de resíduos. A classificação e a compactação de biomassa e resíduos, o corte da palha e do feno em partes, a extracção do óleo das sementes em prensas, são exemplos de processos mecânicos. Estes processos são usados frequentemente como pré-tratamento da biomassa (CE, 2005).

Para a implementação de um projecto de utilização de biomassa na geração de energia eléctrica, será necessária a disponibilidade de sistemas logísticos adequados, o que representa um conjunto de condições básicas para a utilização das culturas energéticas com fins industriais e energéticos. Entre estas incluem-se (EMBRAPA, 2006):

- Recolha dos resíduos florestais;
- Compactação;
- Transporte;
- Armazenamento.

Cada tecnologia de conversão tem condicionalismos específicos relacionados com:

- O teor em matéria seca;
- A forma;
- O tamanho;

A mecanização da colheita, do transporte e do armazenamento é definida pelos métodos, pelo processamento das matérias-primas e também pela necessidade destas matérias ao longo do ano.

2.1.1.1.1 Recolha

A recolha de resíduos florestais necessita de ser bem alicerçada em procedimentos de desenvolvimento sustentável, uma vez que este vem ajudar a preservação da floresta e de toda a sua biodiversidade. Assim o sistema de recolha passa por critérios daquilo que pode ser recolhido, sua forma, quando e onde pode ser recolhida a biomassa, associada ao manuseamento, ao transporte e ao processamento de volumes muito elevados de material. A Matéria seca total é directamente proporcional ao rendimento energético (EMBRAPA, 2006), e para que nas unidades de processamento da combustão seja eficiente, é necessário que a biomassa a processar tenha de ter quantidades relativamente elevadas, dada a necessidade de rentabilizar a fase mais cara da recolha que é o transporte.

2.1.1.1.2 Compactação

No caso do armazenamento de biomassa cortada em pedaços, o volume necessário, pode ser reduzido de dez vezes através da aplicação de técnicas de compressão de alta densidade (EMBRAPA, 2006). É assim, necessário desenvolver e escolher sistemas apropriados de recolha e compactação da biomassa.

Do ponto de vista da colheita as duas características mais importantes dos resíduos florestais são a humidade e a dureza do caule. A primeira indica a percentagem de água presente na biomassa, que, através dos processos de queima, requererá calor para evaporar, e portanto diminuirá a eficiência do sistema no seu todo. A segunda, indicará a capacidade que a biomassa terá em permitir a penetração de oxigénio para a queima durante a combustão, e permitir que esta se processe de forma rápida e eficiente. O procedimento de compactação é composto por varias fases, ou seja, são necessárias máquinas para o corte, a ceifa, o apanha, a compactação e o enfardamento.

No procedimento de enfardamento podem ter-se fardos circulares, rectangulares ou rolos compactos. Estes dependem do equipamento, e para o caso de resíduos florestais e agrícolas apresentam as seguintes ordens de grandeza:

- Fardos circulares-120Kg/m³
- Fardos rectangulares -120Kg/m³
- Rolos compactos – 350 Kg/m³



Figura 2.1 – Exemplos de “Briquetes” feitos a partir de resíduos florestais

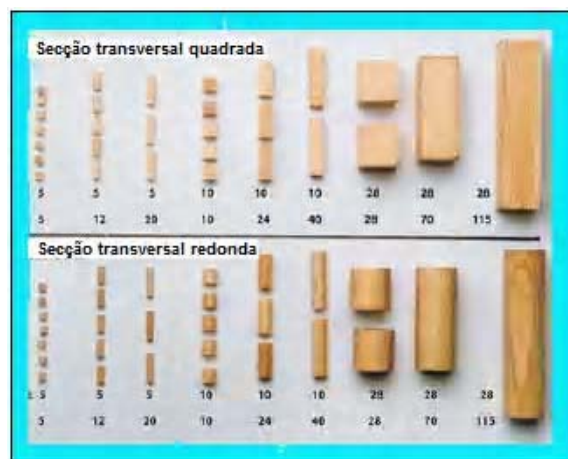


Figura .2.2 – Exemplos de “Pellets” feitos a partir de resíduos florestais



Figura 2.3 – Exemplos de “fardos circulares” feitos a partir de resíduos agrícola

A tecnologia que apresenta uma maior compactação permite diminuir o volume a transportar e a armazenar (o volume do fardo compactado é cerca de 10 vezes inferior ao volume do material cortado no campo). Para uma melhor eficiência da recolha e transporte, em comparação com outros tipos de enfardadeiras, é utilizado o procedimento numa única fase, na qual é necessária apenas uma máquina que cortar, talhar ou lascar os resíduos.

Dependendo do tamanho das lascas, as densidades da matéria seca do produto lascado, a granel, variam entre 70 a 95 kg.m⁻³, para o caso de resíduos agrícolas e ou florestais. Esta baixa densidade é uma desvantagem da linha de corte quando comparada com a linha de enfardar, uma vez que o material cortado e lascado, corresponde a um transporte de maiores volumes e a uma maior capacidade de armazenamento. Além disso, a eficiência do transporte a longas distâncias, é reduzida.

A linha de enfardar tem um processo baseado num tipo de máquina desenvolvido por várias companhias, a que combina a ceifa, colheita, compactação e enfardamento num único passo, produzindo um fardo quadrado ou rectangular muito compactado e de elevada dimensão. Uma vantagem deste processo é o facto das perdas de biomassa serem muito reduzidas durante a recolha. Existem máquinas que consistem numa unidade de ceifa, no equipamento de enfeixar, e numa unidade de depósito/transporte, atrelada a um tractor. A densidade dos feixes é de aproximadamente 140kg.m^{-3} , sendo a máquina de baixo-custo e de fácil manutenção e utilização. (EMBRAPA, 2006)

A linha de aglomeração pode também ser uma alternativa, pois já estão disponíveis máquinas que cortam e aglomeram ao mesmo tempo. Estas máquinas combinam a ceifa, o corte em pedaços e a aglomeração, num único passo, no campo. Após a recolha e o corte, o material é pré-seco, utilizando a energia térmica da máquina. A matéria-prima é compactada, pressionada e aglomerada, sem adição de agentes de ligação. O resultado deste processo é um aglomerado com uma dimensão de 3-10cm, e com uma densidade que varia entre $300\text{-}500\text{ kg.m}^{-3}$ (EMBRAPA, 2006). O aglomerado oferece uma excelente oportunidade para a redução da densidade e, portanto, para as necessidades de transporte e de armazenamento (CE, 2005). Além do mais, as pastilhas são mais fáceis de manejar do que o material cortado.

2.1.1.1.3 Transporte

O transporte é uma das etapas mais onerosas de toda a cadeia produtiva (CE, 2005). Daí que a importância da escolha correcta dos procedimentos de recolha e compactação estará fortemente ligado ao tipo de transporte mais económico com o qual se relacione; Conseguindo compactar melhor a biomassa escolhida podemos transportar mais num mesmo frete. No entanto, é necessário escolher pontos fixos de recolha dos resíduos florestais, uma vez que cada um deverá dispor-se de um sistema de tratamento e compactação adequado àquela realidade. Tem de se levar em conta também a qualidade da matéria prima recolhida, podendo-se optar pelo aglomerado, ou por fados, o que dependerá de uma análise apropriada.

2.1.1.1.4 Armazenamento

Para que possa existir uma distribuição regular de biomassa ao longo do ano, torna-se necessário o seu armazenamento, situação que depende do tipo de material. O método de armazenar poderá ser (EMBRAPA, 2006):

- Material lascado – Para uma armazenagem segura, o teor em humidade deste material não deve exceder os 18%. Para teores de humidade superiores terão de ser armazenados em local ventilado, de preferência com ventilação vinda do chão. Ficará a depender dos estudos de impactos ambientais e das áreas disponíveis para o projecto.
- Fardos – Podem ser armazenados no campo aberto ou cobertos. O armazenamento com cobertura é preferível, porque, como é aberto de lado, permite a circulação do ar e a secagem dos fardos.
- Feixes ou Aglomerado – Podem ser armazenados em campo aberto desde que cobertos com plástico para se protegerem da chuva.

2.1.1.2 PROCESSOS TÉRMICOS

Os processos térmicos são aqueles que convertem a energia, armazenada sob determinada forma, em calor. O exemplo em questão será a energia química armazenada, durante processo de fotossíntese, na biomassa que é convertida em calor através da combustão (INETI, 1991a). Pode-se citar como exemplo destes processos, a combustão, isto é a produção de calor directamente, a gaseificação, isto é produção de um gás combustível, e a pirólise, ou seja a produção de um combustível líquido. Outros processos de conversão possuem também grande utilização, como sucede com os biológicos. Estes usam as actividades de bactérias na conversão de açúcar em etanol, ou biogás. A fermentação e a digestão são exemplos de processos biológicos (CE, 2005).

Os processos térmicos são aqueles onde a conversão da biomassa é conseguida pelo calor, e as tecnologias mais comumente utilizadas são apresentadas na figura 2.4, a seguir:

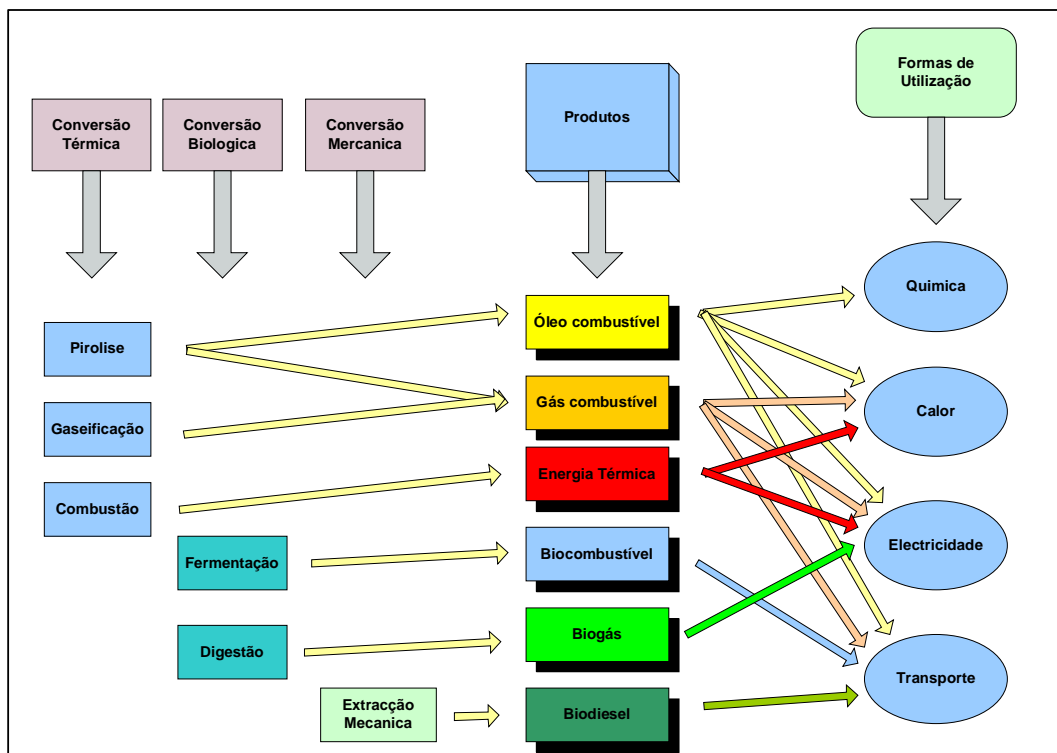


Figura 2.4 –: Esquema de conversão e de tecnologias no uso de bioenergia.

2.1.1.2.1 Combustão

A combustão é a maneira mais antiga e mais aplicada para uso da biomassa como uma fonte de energia, devido ao seu baixo custo, à facilidade da manipulação e elevada fiabilidade. Os factores a serem considerados ao projectar um sistema da combustão de biomassa, devem incluir as características do combustível a ser usado, a legislação ambiental, o custo e o desempenho do equipamento disponível (Botterill, J.S.M., 1986).

Durante a combustão, as partículas de biomassa, num primeiro momento, perdem sua humidade com temperaturas até 100°C, usando o calor proveniente de uma fonte externa. Então, com as partículas secas, o aquecimento continua, e são libertadas as partículas voláteis que contêm hidrocarbonetos, monóxido de carbono (CO), metano (CH₄) e outros componentes gasosos. Estes gases são oxidados libertando calor. No processo da combustão, estes gases contribuem aproximadamente com 70% do valor de calórico da biomassa. Finalmente, após a oxidação, obtêm-se as cinzas (Basu, P. et al., 1999; Botterill, J.S.M., 1986).

2.1.1.3 PROCESSOS TERMOQUÍMICOS

Os processos termoquímicos mais comuns são o da gaseificação e da pirólise. Ambos os processos envolvem o aquecimento da biomassa na presença de menos oxigénio do que é requerido para a combustão completa e produzem uma mistura de gás, líquido e alcatrão. Os rendimentos das várias saídas dependem da natureza da biomassa usada, da taxa de aquecimento, das mais altas temperaturas alcançadas, da forma como os gases reagem com os sólidos quentes, da quantidade de água (humidade) e da presença ou ausência de outras substâncias, que podem agir como catalisadores. No caso extremo, os processos podem ser otimizados para produzir o carvão de lenha. No outro caso, podem ser projectados para produzir uma mistura de hidrogénio e de monóxido de carbono (gás de síntese), apropriado para ser usado na formação catalítica de uma variedade de combustíveis líquidos (CE, 2005).

A gaseificação é um processo termoquímico que opera com temperaturas mais altas, realizado em circunstâncias que conduzem a formação de um gás combustível. Os gaseificadores modernos, podem usar uma variedade grande de biomassa. O processo envolve a combustão parcial da biomassa com uma fonte restrita de ar, vapor ou de oxigénio, sendo temperaturas na escala de 1200- 1400°C (CE, 2005). Idealmente, o oxigénio puro seria o gás que conduziria a um produto final com mais elevado poder calórico, com melhores resultados na obtenção de monóxido de carbono, hidrogénio, dióxido de carbono e metano. Contudo, a maioria dos gaseificadores utilizam ar, por questões económicas. No caso da biomassa, portanto, o gás obtido à saída é diluído com azoto, tendo consequentemente, um poder calorífico mais baixo. Em qualquer dos processos o produto obtido é, após o tratamento apropriado, queimado directamente, ou usado em turbinas ou em motores a gás, para produzir a electricidade ou trabalho mecânico. O processo pode ser orientado para produzir um gás rico em hidrogénio ou um gás de síntese, que pode ser usado para gerir outros produtos combustíveis. Quando for um gás de baixo poder calorífico (4 a 6 MJ/m³), pode ser utilizado na geração de energia em motores de combustão interna (ciclo Otto), caldeiras geradoras de vapor para turbinas (ciclo Rankine) e turbinas a gás em sistemas de geração BIG/GT -

Biomassa Integrated Gasifier/Gás Turbine (ciclo Brayton), ou ainda em ciclos combinados Brayton/Rankine (Botterill, J.S.M., 1986).

A pirólise rápida é um processo de alta temperatura, no qual é usada uma fonte externa do calor, em que as partículas pequenas da biomassa se aquecem rapidamente na ausência do oxigénio, o que faz com que este se decomponha, fornecendo vapores, aerossóis de baixo peso molecular, com elevada capacidade de reacção. Após refrigerar e condensar, obtêm-se um líquido viscoso escuro (bio-óleo) e uma substância carbonosa, que pode ser convertido em carvão activado. Este tem um poder calorífico de cerca da metade quando comparado com o óleo de combustível convencional fóssil, e pode substituir este último em sistemas ou em motores da combustão, para a geração do calor ou de energia (IEA, 1997a).

A liquefacção é um processo termoquímico que opera a baixa temperatura e alta pressão, realizado na fase líquida, que tem o potencial de produzir produtos de qualidade elevada. Requer o uso de um catalisador ou do hidrogénio sob alta pressão. Consiste num processo de produção de combustíveis líquidos por meio da reacção da biomassa triturada em meio líquido, na presença de um catalisador alcalino (CE, 2005). ($P=150-250$ atm, $T=300-350$ °C, $t=10-30$ min), obtendo-se um líquido viscoso, que pode ser utilizado como combustível em fornos.

2.2 CALDEIRAS DE LEITO FLUIDIZADO

2.2.1 CONCEITO

As caldeiras de leito fluidizado usam uma tecnologia de queima, na qual o combustível é queimado em num leito sólido granular não combustível, em suspensão a quente. Este tipo de processo de queima tem se apresentado como uma alternativa viável aos problemas de processamento existentes para as caldeiras de combustíveis fósseis (Basu, P. et al., 1999).

A caldeira de leito fluidizado é um tipo de gerador de vapor no qual o combustível é queimado em condições hidrodinâmicas especiais, chamadas estado fluidizante, e em que a transferência de calor para a superfície da caldeira é feita através de um sólido granular, não combustível. Existem dois tipos principais de caldeiras de leito fluidizado:

1- Borbulhantes

2- Circunlantes

Numa caldeira de leito fluidizado borbulhante, o combustível é queimado num leito de material não combustível (areia), aquecido na gama térmica entre os 750 – 900 °C. O leito, com uma altura típica de 0,5 a 1,5m, é formado pelo sopro de ar que advém de uma grade, designada como distribuidor. As partículas do combustível queimam neste leito e transferem o calor da combustão para o sólido inerte. O leito sólido em movimento, transmite o calor para a superfície da caldeira inserida directamente no leito e para os gases de combustão (INETI, 1991a).

Numa caldeira de leito fluidizado circulante, a velocidade do ar aplicada através do distribuidor é maior. Este dado permite ter um leito menos denso do que no caso do leito borbulhante. No entanto, a área de transferência de calor é estendida até ao topo da fornalha, tendo como resultado a continua emissão de sólidos, na saída da mesma. Estes sólidos são capturados por um sistema de separação de gases e sólidos, que voltam para a base do leito numa razão suficientemente alta. Esta reciclagem de material é realizada por um sistema

hermético de realimentação. Como resultado, a temperatura da fornalha é razoavelmente uniforme, sendo mantida na gama dos 800 e 900°C, que permite uma combustão eficiente e um melhor controlo das emissões gasosas. A superfície de transferência de calor está localizada na parte interna das paredes da fornalha (Basu, P. et al., 1999).

2.2.2 VANTAGENS

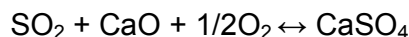
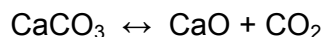
As caldeiras de leito fluidizado têm características únicas que as tornam mais atractivas do que outras caldeiras. Listamos a seguir alguns destas características (Basu, P. et al., 1999):

2.2.2.1 FLEXIBILIDADE DE COMBUSTÍVEIS

Esta constitui uma das maiores vantagens das caldeiras de leito fluidizado, especialmente para o tipo de mercado de combustíveis que se apresenta na situação actual. Podem receber com flexibilidade uma maior variedade de tipos de combustíveis, com menos perda de eficiência, do que qualquer outro tipo de caldeira. Esta característica permite que uma mesma indústria possa mudar de combustível sem ter necessidade de mudar de equipamento, podendo a escolha do combustível assentar no preço ou nas vantagens do combustível. Esta característica permite uma melhor protecção para a nova unidade fabril, dentro de uma realidade de mudanças e de incertezas quanto ao suprimento futuro de combustível, uma vez que o tempo de vida de uma caldeira decorre da ordem dos 20 a 30 anos de durabilidade.

2.2.2.2 EFICIÊNCIA NO CONTROLO DE DIÓXIDO DE ENXOFRE

Por ter um processo de combustão e extracção de calor, simultâneo e contínuo, as caldeiras de leito fluidizado tem a característica de a temperatura dentro da fornalha se manter aproximadamente uniforme. Como resultado, é possível manter a temperatura de combustão dentro da gama dos 800-900°C. Esta faixa de temperatura é ideal para a reacção de absorção de gases SO₂, usando calcite no leito de areia (CaCO₃), como se verifica pelas fórmulas indicadas:



Com o resultado da reacção forma-se sulfato de cálcio sólido, CaSO_4 . Este é um subproduto que pode ser depositado num aterro sanitário, ou usado como gesso. Quando utilizado a areia no leito de uma caldeira fluidizante é possível reter mais do que 90% de todo enxofre do combustível, sob a forma de resíduo sólido. Esse sólido granulado é facilmente manuseado e apresenta menos problemas do que as lamas. A capacidade de captura de enxofre é resultado da uniformidade e das baixas temperaturas proporcionadas pelo leito fluidizados. A caldeira de leito fluidizado não necessita de um limpador de gases para controlo das emissões de SO_x .

2.2.2.3 BAIXA EMISSÕES DE NO_x

Os níveis característicos de emissões de óxido de azoto em caldeiras de leito fluidizados, estão na gama dos 100-300 ppm (volume seco). Os baixos níveis de emissões de óxidos de azoto são resultados directos da baixa temperatura de combustão, da desvolatilização das partículas do combustível numa atmosfera redutora e da existência de uma plataforma de ar dentro do leito fluidizante.

As baixas emissões são propriedades intrínsecas da combustão em leito fluidizado. Nas caldeiras convencionais, a maioria dos óxidos de azoto vem da oxidação do azoto do ar de combustão. Esta reacção é significativa acima dos 1480°C . A temperatura típica de uma combustão em leito fluidizado situa-se na gama dos $800\text{-}900^\circ\text{C}$, na qual esta reacção é insignificante. No entanto, o azoto do combustível pode ser oxidado em NO_x .

2.2.3 FACILIDADE OPERACIONAL

As caldeiras de leito fluidizado possuem um número de conveniências operacionais que tornam a sua operação mais fácil (Kunii, D. et al., 1969). Por exemplo:

2.2.3.1 CONTROLO NA AUSÊNCIA DE CHAMA

As caldeiras convencionais possuem queimadores que operam mediante a pulverização do combustível e sua posterior ignição, possuindo um sofisticado sistema supervisor de controlo de chama. Se por alguma razão a chama é extinta momentaneamente, a fornalha segue um elaborado procedimento de purga antes de uma re-ignição da chama e re-operação da caldeira. Desta forma a saída de operação da caldeira, por ausência de chama, trará uma série de consequências para um sistema de geração de energia através de turbina. As caldeiras de leito fluidizado não têm chama, apresentando uma grande quantidade de massa inerte de sólidos aquecidos. Então é, sempre possível após uma paragem súbita de alimentação do combustível, manter a temperatura interna na caldeira, através dos sólidos inertes do leito fluidizado. Se o combustível é novamente posto em alinhamento para a caldeira, durante um tempo relativamente curto, não serão necessários os procedimentos de re-ignição da caldeira.

A pulverização do combustível nas caldeiras convencionais, a ignição dos combustíveis com baixos teores de voláteis e dos combustíveis com menor capacidade reactiva à combustão, é os maiores problemas deste tipo de tecnologia. Contudo, no caso das Caldeiras de leito fluidizado, a ignição não oferece problema.

2.2.3.2 CONSUMO REDUZIDO DE COMBUSTÍVEL NO ARRANQUE

Os custos de operação das caldeiras convencionais representam frequentemente elevados gastos associados ao arranque e/ou durante a operação a baixa carga, devido à necessidade que esta tecnologia apresenta de passar por um aquecimento suave, para evitar as temperaturas de tensão. Esta baixa intensidade de seu aquecimento inicial é normalmente feito com óleo combustível. Em caldeiras de leito fluidizado, este aquecimento inicial pode ser feito colocando-se uma quantidade do combustível operacional na alimentação da fornalha. Procedimentos alternativos de ignição podem eliminar o uso do óleo combustível.

2.2.3.3 DIMINUIÇÃO DO TEMPO DE INICIO DE OPERAÇÃO

Em algumas situações industriais existe a necessidade de se iniciar os procedimentos de acendimento da caldeira em até oito horas antes do início da marcha do processo. As caldeiras de leito fluidizados podem iniciar num tempo relativamente curto, sem complexos procedimentos de acendimento. Consoante as dimensões da caldeira, após algumas horas, o leito sólido conseguirá reter uma adequada quantidade de energia para a ignição. Então, quando o combustível é injectado dentro do leito durante o próximo acendimento, a ignição é imediata e a caldeira entrará em funcionamento num tempo relativamente curto, quando comparado com as caldeiras convencionais.

2.2.3.4 ESTABILIDADE

As caldeiras de leito fluidizado permitem que as flutuações de operação ocorram sem prejuízos no seu funcionamento, facto que permite um tempo de resposta rápido para oscilações verificadas por parte do processo.

2.2.3.5 REDUÇÃO DAS EROSÕES

As cinzas produzidas nas caldeiras de leito fluidizado são relativamente leves porque não são formadas com baixas temperaturas (800 - 900°C) na fornalha. Esse efeito reduz a erosão dos tubos na área de convecção.

2.2.3.6 PREPARAÇÃO SIMPLIFICADA DO COMBUSTÍVEL

O tamanho da partícula de carvão, por exemplo, na caldeira de leito fluidizado é tipicamente de cerca de 6mm, representando até 70% para a pulverização do carvão nas caldeiras convencionais. Como resultado, as caldeiras convencionais tem um sistema de pulverização. A pulverização não só é custosa quanto mais sofisticada for, como requer um alto nível de manutenção. As caldeiras de leito fluidizado não requerem, a principio, uma pulverização. Desta forma a preparação do combustível é consideravelmente mais simples e tem uma manutenção de menor complexidade do que as caldeiras convencionais.

2.2.4 CARACTERÍSTICAS DA CALDEIRAS DE LEITO FLUIDIZANTE

A escolha do leito fluidizado borbulhante permite a queima de combustíveis "pobres" sem pré-condicionamento e uma rápida resposta às variações de carga. As caldeiras, possuem desta forma, um leito de areia com insuflamento de ar, conferindo ao leito fluidizado a aparência de um líquido em ebulição. As vantagens deste tipo de combustão são as seguintes (INETI, a; Botterill, J.S.M., 1986):

- ❖ Permite a queima de resíduos industriais e agrícolas, que não poderiam ser incinerados por motivos ambientais, devido à possibilidade do controlo das emissões gasosas que esta tecnologia oferece.
- ❖ Permite a queima praticamente completa do combustível, sendo o excesso de ar reduzido. O combustível sólido mantém o contacto com o leito fluidizado a uma temperatura constante, e o excesso de ar é calculado para as condições de queima;
- ❖ Permite um processo de combustão mais eficiente do que nas caldeiras convencionais, queimando os mesmos combustíveis;
- ❖ Permite uma modulação rápida da geração de vapor (variando de 25% a 100%) durante a operação normal, respondendo a caldeira às variações de carga;
- ❖ Permite uma reduzida formação de NOx, pela baixa temperatura do leito e pela injeção do ar primário e secundário;
- ❖ Permite um controlo do processo automatizado, sendo mais vantajoso. Entretanto, apesar destas vantagens, este tipo de equipamento ainda é restrito.

Além destas podem ser citadas outras relevantes vantagens adicionais específicas de uma caldeira de leito fluidizado, nomeadamente as seguintes:

2.2.4.1 DISTRIBUIÇÃO DO AR DE COMBUSTÃO

Nas caldeiras de leito fluidizado o ar primário, que passa através da grelha ou ao redor desta e é o responsável pelo aspecto fluidizado do leito de areia, é menor que a quantidade estequiométrica. O resto de ar de combustão, correspondente a 30% do excesso, é adicionado como ar secundário, logo acima da fornalha. Esta distribuição mantém as emissões de NO_x na gama dos 50 -100ppm.

2.2.4.2 CAPACIDADE DE ACOMPANHAR AS VARIAÇÕES DE CARGA

Numa Caldeira de leito fluidizado a absorção de calor na fornalha pode ser facilmente controlada pela variação da densidade do calor disponível para absorção na parte superior da fornalha. Isto permite uma rápida resposta a uma variação de carga. Desta forma é possível operar uma caldeira em baixa carga sem a necessidade de consumo de combustível auxiliar.

2.2.5 LIMITAÇÕES

2.2.5.1 REQUERIMENTO DE ALTA POTÊNCIA DE AR.

As caldeiras de leito fluidizante requerem uma alta potência na ventilação forçada, uma vez que o ar primário tem de superar a pressão da grelha de entrada e devido à massa do leito sólido dentro da fornalha. Este consumo de energia é necessário para a eliminação da pulverização, e para a fluidização do leito (Basu, P. et al., 1999). Estes valores de consumo variam consoantes a dimensão da grelha e a altura do leito.

2.2.6 CUSTOS DE GERAÇÃO

Em relação aos custos de geração de energia através da biomassa, torna-se necessário a consideração dos seguintes pontos em futuros projectos (CE, 2005):

- A biomassa deve localizar-se nas proximidades da fonte geradora de energia.
- O manuseamento do combustível, o sistema de alimentação da biomassa e o local de armazenamento devem ser cuidadosamente planeados, para evitar

mau cheiro, pragas e fungos. Devem separar-se os contaminantes metálicos e evitar flutuação da humidade da biomassa.

- Há de atender a flexibilidade operacional, levando-se em consideração a sazonalidade da extracção da biomassa dos resíduos florestais, o que exige um sistema projectado para processar diferentes tipos de biomassa. (o que inclui os resíduos agrícolas).
- A localização reflecte o custo do transporte, uma vez que os resíduos de biomassa são combustíveis de baixa densidade, comparados com os fósseis. O transporte pode se tornar muito alto para além de 30km e proibitivo para 150km. Outro aspecto, que deve ser levado em conta, é a vizinhança, devido ao cheiro e ao barulho.

Os custos da armazenagem da biomassa aumentam aproximadamente com o quadrado da distância à central de conversão. Por esta razão, o limite superior do tamanho de uma central de energia, baseada em biomassa, poderá situar-se entre 30MWe e 100MWe, situando-se, em geral, abaixo de 30MWe (CE, 2005). Este tamanho, comparativamente pequeno, favorece sua operação como unidades fabris combinadas de calor e de electricidade. Estas podem ser suficientes para cobrir as necessidades de calor e de electricidade de pequenas comunidades.

Um exemplo da geração de electricidade através do uso de biomassa é o caso da central de Sangüesa, Navarra, Espanha, que entrou em operação em 2002. Com uma capacidade instalada de 25MWe quando operada 8000 horas/ano, consome 160.000 toneladas de palha e 720 ton da grão. Foi projectada para queimar a palha a 100% ou 50% de grãos e 50% de resíduos de madeira(CE, 2005). Os custos de fabricação típicos para a produção de energia baseado em biomassa encontrados variaram, em 2002, entre 7 e 20 € cêntimos por kW, dependendo do sistema de recebimento, armazenagem e as distâncias envolvidas (CE, 2005).

3.0 CAPÍTULO III

3.1 EMISSÕES DE CARBONO

3.1.1 CONCEITO

O conceito de sequestro de carbono foi consagrado pela Conferência de Quioto, em 1997, com a finalidade de conter e reverter a acumulação de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera, visando a diminuição do efeito estufa (Anderson, D. et al., 1999). A conservação de armazenamento de carbono nos solos, florestas e outros tipos de vegetação, a preservação de florestas nativas, a implantação de florestas e sistemas agro-florestais e a recuperação de áreas degradadas são algumas acções que contribuem para a redução da concentração do CO_2 na atmosfera. Os resultados da fixação de Carbono podem ser quantificados através da estimativa da biomassa da planta acima e abaixo do solo, do cálculo de carbono armazenado nos produtos da madeira e na quantidade de CO_2 absorvido no processo de fotossíntese (UNFCCC, 2006). Para se proceder à avaliação dos teores de carbono dos diferentes componentes da vegetação (parte aérea, raízes, camadas decompostas sobre o solo, entre outros) e, portanto, contribuir para estudos de balanço energético e do ciclo de carbono na atmosfera, é necessário, inicialmente, quantificar a biomassa vegetal de cada um dos componentes da vegetação.

A Reflorestação de áreas da Mata Atlântica, tal como a ideia dos Corredores de Biodiversidade, vem aumentar o interesse da promoção de um mecanismo de captura de CO_2 , através dos sumidouros da plantação de espécies nativas, e ao mesmo tempo, promover o desenvolvimento da biodiversidade, além de uma mais valia financeira, e económica nesta actividade, através da valorização energética dos resíduos florestais da limpeza destas Matas.

3.1.2 CONTEXTO

As Mudanças Climáticas Globais representam um dos maiores desafios com os quais a humanidade se defronta actualmente. Além de constituir um problema global, envolve especificamente alguns sectores da sociedade, e necessita de uma tomada de consciência em relação a importância da questão, e exigindo mudanças em muitos hábitos de consumo e de comportamento.

As crescentes emissões de Dióxido de Carbono (CO_2) e de outros gases tais como o metano (CH_4), o óxido nitroso (NO_2), o hexafluoreto de enxofre (SF_6), e os da famílias de gases hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs), na atmosfera têm causado sérios problemas, nomeadamente o efeito estufa (PQ, 1997) Devido à quantidade com que é emitido, o CO_2 é o gás que mais contribui para o aquecimento global. As suas emissões representam aproximadamente 55% do total das emissões mundiais de gases com efeito de estufa. O tempo de sua permanência na atmosfera é, no mínimo, de 100 anos. Isto significa que as emissões de hoje têm efeitos de longa duração, podendo resultar em impactos no regime climático, ao longo dos séculos. Evidências científicas apontam que caso a concentração de CO_2 continue crescendo, a temperatura média da terra vai aumentar entre 1,4 e 5,8 ° C até 2100, causando subida no nível dos mares, efeitos climáticos extremos (enchentes, tempestades, furacões e secas), alterações na variabilidade de eventos hidrológicos (aumento do nível do mar, mudanças no regime das chuvas, avanço do mar sobre os rios, escassez de água potável) e colocando em risco a vida na terra (ameaça à biodiversidade, à agricultura, à saúde e bem-estar da população humana) (Manfrinato, W., 1999).

Historicamente, os países industrializados têm sido responsáveis pela maior parte das emissões de gases de efeito estufa. Contudo, na actualidade, vários países em desenvolvimento, entre eles o Brasil, a China e a Índia, também se encontram entre os grandes emissores (UNFCCC, 2006). No entanto, numa base *per capita*, os países em desenvolvimento continuam tendo emissões consideravelmente mais baixas do que os países industrializados (Manfrinato, W., 1999).

Estima-se que, em 1998, o Brasil tinha emitido, pelo menos 285 milhões de toneladas de carbono, das quais cerca de 85 milhões resultaram da queima de combustíveis fósseis (71% do uso de combustíveis líquidos e 15,6% da queima de carvão mineral, 4% de gás natural) (Manfrinato, W., 1999). Esse número é relativamente baixo quando comparado com as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis de outros países. Isto é devido ao fato de que a matriz energética brasileira ser considerada relativamente limpa, face aos padrões internacionais, uma vez que se baseia na energia hidroelétrica (renovável). A maior parte das emissões do Brasil (2/3) provém de actividades resultantes do uso da terra, tais como a desflorestação e as queimadas, que, actualmente, representam 3% das emissões globais (Manfrinato, W., 1999)

As nações participantes da Convenção de Mudança Climática, que ocorreu em Junho de 1992 na cidade do Rio de Janeiro, comprometeram-se a ratificar uma convenção, com o fim de criar mecanismos que diminuíssem as emissões dos gases causadores do efeito de estufa (UNFCCC, 2006). Estes mecanismos dizem respeito à capacidade das fontes de energia emitirem menores níveis de gases causadores do efeito de estufa, e também das alternativas para absorção de CO₂, através de projectos de sequestro de carbono (PQ, 1997).

Desta forma, os países desenvolvidos e as indústrias criaram uma nova utilidade e um novo mercado para o carbono, que consiste no carbono capturado e mantido pela vegetação (Beil, S., 1999). O interesse e o investimento no sequestro de carbono e a comercialização de créditos de carbono, são a forma através da qual estas indústrias e os países industrializados podem equilibrar as suas emissões e mantê-las a níveis seguros. As quantidades de carbono retidas pela vegetação ainda não são totalmente conhecidas e quantificadas, ressaltando assim a importância dos projectos de pesquisa desenvolvidos nesta área.

3.1.3 ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

A queima de combustíveis fósseis e o desmatamento emitem grandes quantidades de gases, em especial CO₂, para a atmosfera. Quando ocorre o aumento de teores deste gás, verifica-se o aumento da temperatura e da quantidade de vapor de água na atmosfera, ocorrendo o aquecimento da superfície terrestre. As plantas verdes absorvem CO₂ durante a fotossíntese, mas, actualmente tem sido libertada uma quantidade de gás maior do que a capacidade de absorção das plantas. O CO₂ acumulado na atmosfera reduz a saída de radiação quente para o espaço e retém esta radiação, causando o chamado Efeito de Estufa. Emissões de metano, óxido de azoto e os clorofluorcarbonetos (CFC's), contribuem também para o efeito de estufa (PQ, 1997). Os países industrializados são responsáveis por cerca de 71% da emissão global de CO₂. Os países em desenvolvimento, com 80% da população mundial, produzem aproximadamente 18% da emissão total. Os maiores efeitos do aquecimento global considerados por alguns cientistas são os efeitos que a mudança climática causará na produção mundial de alimentos, as mudanças na agricultura e na venda de produtos de consumo (o que poderá modificar a estrutura do comércio mundial) (Manfrinato, W., 1999).

3.1.4 VALORES ECONÓMICOS ASSOCIADOS AO SEQÜESTRO DE CARBONO

No Protocolo de Quioto, foi estabelecido que os países desenvolvidos se comprometeram formalmente a reduzir as suas emissões de gases, para atenuar o efeito de estufa, em 5% abaixo dos níveis de 1990, como objectivo para o primeiro período 2008 – 2012 (PQ, 1997). Tal acção significaria a redução de centenas de milhões de toneladas por ano. Espera-se que estes países, por sua vez, transfiram estes os comprometimentos para os respectivos sectores industriais, através da criação de mecanismos, como, por exemplo, o CELE – Comércio europeu de licenças de emissões, relativo as emissões de gases causadores do efeito de estufa. Estes sectores deverão encontrar alternativas para se adaptarem aos novos custos de produção ou aos limites de emissões. O segundo ponto importante do protocolo, é o de que será aceite o conceito de comercialização de créditos de sequestro ou de redução de gases

causadores do efeito estufa. Sendo assim, os países ou empresas que reduzirem as emissões abaixo de suas metas, poderão vender este crédito para outro país ou empresas, que não atingiram o grau de redução esperado. Um terceiro ponto do acordo diz respeito aos métodos aceites para realizar as reduções das emissões. O protocolo também considera a absorção de CO₂ pela vegetação, através da convenção de Marraqueche, como um método para compensar as emissões (UNFCCC, 2006). Este facto constitui um ponto interessante para países com aptidão florestal, uma vez que podem gerar deste modo recursos do sector florestal, com consequências de ordem económica, ambiental e social. Neste caso, países como o Brasil, poderão desenvolver projectos que contemplem estas acções.

Além das acções de carácter nacional, os países poderão cumprir parte de suas metas de redução, através dos três mecanismos de flexibilização estabelecidos pelo Protocolo de Quioto e que estão descritos a seguir (PQ, 1997).

- Comércio de emissões: este mecanismo permite que dois países sujeitos a metas de redução de emissões (países do Anexo I) façam um acordo pelo qual o país A, que tenha diminuído suas emissões para níveis abaixo da sua meta, possa vender o excesso das suas reduções para o país B, que não tenha alcançado tal condição.
- Implementação conjunta (IP): permitido entre os países do Anexo I, quando um país A implementa projectos que levem à redução de emissões em um país B, no qual os custos com a redução sejam mais baixos.
- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): os países do Anexo I poderão desenvolver projectos que contribuam para o desenvolvimento sustentável de países em desenvolvimento (não pertencentes ao Anexo I) de modo a ajudar na redução de suas emissões. Essas iniciativas gerariam créditos de redução para os países do Anexo I, e ao mesmo tempo ajudariam os países em desenvolvimento, pois estes beneficiariam de recursos financeiros e tecnológicos adicionais para financiamento de actividades sustentáveis e trás a redução de emissões globais. Ressalta-se que as reduções obtidas deverão

ser adicionais a quaisquer outras que aconteceriam sem a implementação das actividades do projecto. Os projectos também deverão oferecer benefícios reais, mensuráveis e a longo prazo, para mitigação do aquecimento global. Contudo, atendendo ao segundo princípio da termodinâmica, recorda-se que não é possível um desenvolvimento limpo, mas apenas mais ou menos poluidor.

O financiamento de actividades sustentáveis pelo MDL, conduziria a uma menor dependência de combustíveis fósseis nos países em desenvolvimento e, portanto, a menos emissões a longo prazo. Os projectos MDL poderão ser implementados nos sectores energético, de transporte e florestal. Dentro do sector florestal, projectos de florestamento e reflorestamento poderão participar deste cenário. Desta forma os corredores de biodiversidade na Mata Atlântica apresentam oportunidades de serem incluídos em projectos de MDL. No entanto, projectos que visam a redução do desmatamento e queimadas, ou a conservação de florestas, estão excluídos deste mecanismo, até o momento.

Nos países em desenvolvimento, os custos relacionados com a implementação de projectos que diminuam emissões de gases de efeito estufa são, em geral, menores do que nos países desenvolvidos. Isto torna o MDL^(d) atractivo para países pertencentes ao Anexo I. Além disso, o MDL busca incentivar o desenvolvimento sustentável, levando à criação de novos mercados que valorizam a redução de emissões de gases de efeito de estufa, e criando oportunidades para a transferência de tecnologia e novos recursos para países em desenvolvimento, como o Brasil. Mesmo assim, as expectativas são de que o MDL seja o menos utilizado dos mecanismos de flexibilização. Isso se deve ao fato dos Estados Unidos, maior investidor em potencial destes mecanismos, ter anunciado que não pretendem ratificar o Protocolo de Quioto antes de 2012, o que provoca uma diminuição da procura de métodos alternativos para a redução de emissões por países do Anexo I.

^(d) A nomenclatura original para este tipo de mecanismo é CDM – Clean Development Mechanism, sendo a tradução para o português dada como MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Entretanto, não existem ainda uma forma de desenvolvimento sustentável tecnologicamente limpa

O Brasil poderá beneficiar do MDL com projectos nos sectores energético, de transporte e florestal. No sector florestal, pode-se falar em projectos de "florestamento" e reflorestamento, os quais permitem que o carbono, pelo crescimento das árvores, seja removido da atmosfera. Assim, a floresta plantada actuará como um sumidouro de carbono ou promoverá, como tem sido usado, o "sequestro de carbono". Esse sequestro é possível porque a vegetação realiza a fotossíntese, processo pelo qual as plantas retiram carbono da atmosfera, sob a forma de CO₂ e incorporam-no a sua biomassa (troncos, galhos e raízes) (CE, 2005).

3.1.5 MERCADO DE CARBONO

Desde a convenção de Quioto, quando mais de 160 países discutiram as mudanças climáticas no planeta, que se verifica que esta preocupação saiu dos cadernos de ciência dos grandes jornais, alojando-se nas páginas de finanças e negócios. As preocupações com o ambiente tornaram-se preocupações económicas. O valor económico da protecção do ambiente surgiu quando os países se comprometeram a reduzir, em média, 5% de emissões de dióxido de carbono em relação aos valores registrados em 1990 (PQ, 1997).

A tributação foi a primeira ideia para a formalização do controlo económico sobre a poluição, mas isto ou afectaria a relação do custo/benefício no sector de produção, ou elevaria o custo final ao consumidor. Assim, para que fossem alcançados os parâmetros globais de poluição, surgiu outro conceito, ou seja, o de que os países poderiam negociar direitos de poluição entre si. Um país, com altos níveis de emissão de gases para atmosfera, poderia pagar a outro país que apresente níveis de poluição abaixo do limite comprometido. A partir de então, além da ideia global da comercialização dos limites de poluição, muitas empresas começaram a sondar esse mercado.

Com a valorização económica, a fiscalização e todos os demais custos operacionais para a redução da poluição, estes acabam por ser assumidos pelo mercado de produtos de consumo, não repensando o impacto financeiro sobre a relação custo/benefício ou no custo final (Manfrido, W., 1999). Esta é a maneira mais económica e eficaz para a fiscalização e diminuição da poluição.

Dentro deste contexto económico, o Brasil encontra-se numa posição extremamente valorizada, já que possui um amplo espaço ambiental. Desta forma, as empresas e os países altamente industrializados, obrigadas a reduzirem o aquecimento do planeta, pela redução da emissão de gases de efeito estufa, poderão participar de projectos de reflorestamento e adopção de tecnologias menos poluentes (Manfrinato, W., 1999).

O Brasil tem no ambiente a sua maior riqueza. A preservação ambiental pode ser a origem da entrada de divisas no País. O Brasil receberia pela sua baixa emissão de gases, valorizando a sua grande capacidade ambiental de absorção e regeneração atmosférica. Desta forma, a associação de recursos oriundos de projectos do Protocolo de Quioto com a implementação dos Corredores de biodiversidade, associados a valorização energética dos resíduos florestais da Mata Atlântica, pode constituir uma forma de promover o desenvolvimento sustentável das regiões abrangido pelos futuros projectos.

4.0 CAPÍTULO IV

4.1 METODOLOGIA DOS ENSAIOS NA CALDEIRA

4.1.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será apresentada a descrição dos ensaios realizados na caldeira piloto de leito fluidizado piloto, existente no DEECA-INETI, utilizada nos ensaios que constam da presente dissertação. Será igualmente descrita a metodologia adoptada, bem como, a instrumentação utilizada. O objectivo é o de avaliar o comportamento de queima da biomassa a nível energético, da qualidade termoquímica dos resíduos florestais utilizados, do desempenho do mesmo na combustão em leito fluidizado, e da caracterização das emissões gasosas. Neste ensaio foram utilizados como combustível diferentes tipos de resíduos florestais provenientes de biomassa existente na Mata Atlântica do Brasil. Os ensaios efectuados permitiram identificar os parâmetros de operação mais adequados, quer quanto ao processo de combustão, quer quanto à minimização da formação de poluentes gerados.

4.1.1.1 DESCRIÇÃO DA CALDEIRA DE LEITO FLUIDIZADO PILOTO

A caldeira de leito fluidizada piloto utilizada é um projecto concebido originalmente pelos técnicos do DEECA – INETI, e construída depois, por uma empresa especializada. Apresenta as seguintes características físicas: 1500 mm de altura, 360 mm de diâmetro exterior e 160 mm de diâmetro interior, (figura 4.1). O sistema é constituído por um leito de areia fluidizado com ar, no qual se dá a combustão a temperaturas entre os 800° e os 900° C. A combustão completa-se ao longo do corpo do reactor, através da introdução de ar secundário. Os gases sofrem despoeiramento num sistema de ciclone, sendo posteriormente escoados para a atmosfera através de conduta de exaustão. O sistema é arrefecido com permutadores de água e monitorizado continuamente, por forma a controlar a eficiência e a estabilidade do processo de combustão. Durante os ensaios foram avaliadas as emissões dos seguintes poluentes de CO, NO_x, SO_x.



Figura 4.1 – Vista geral da Caldeira piloto de Leito fluidizado.

A figura 4.2, apresenta um esquema da caldeira de leito fluidizado piloto, identificando a localização do alimentador de combustível, do painel de controlo de temperaturas, da válvula de remoção de cinzas, do sistema de colecta dos gases de combustão, da entradas de ar primário e secundário, do painel de comando, e dos outros acessórios. O abastecimento de biomassa é feito automaticamente, através de um sistema de alimentação, localizado na parte frontal inferior da caldeira. Este sistema possui um parafuso sem-fim accionado por meio de um motor, controlado por variadores de velocidade com ajuste pré definido.

A biomassa transportada, ao entrar na câmara de combustão, cai por efeito da gravidade sobre o leito fluidizado, cuja temperatura se encontra na gama dos 780 – 820°C, onde se inicia a combustão da biomassa. O aquecimento do leito de areia é realizado através de resistências eléctricas colocadas no seu interior, aumentando a sua temperatura até se atingir a temperatura de ajuste, altura em que ficará incandescente. Por sua vez o aquecimento da biomassa dá-se devido ao contacto com o leito borbulhante, daí resultando a ignição do material combustível, e a consequente propagação da chama à totalidade das biomassa. As cinzas produzidas durante a combustão, ficam depositadas no leito e são retiradas através de uma válvula colocada na parte inferior do reactor, tendo sido retiradas no final de cada ensaio. A extracção dos gases de

dentro da caldeira é realizada através de uma tubagem de exaustão, localizada na parte superior da caldeira, depois de passar também através de um separador centrífugo de partículas. Para o transporte dos gases de exaustão, existe uma tubagem em inox com 200 mm de diâmetro na saída do reactor, o qual está em ligação com o sistema de exaustão de gases do Laboratório do DEECA – INETI. A caldeira piloto esta instalada num ambiente controlado cuja temperatura se manteve constante ao longo dos dias de ensaio, (aproximadamente 23 - 25°C).

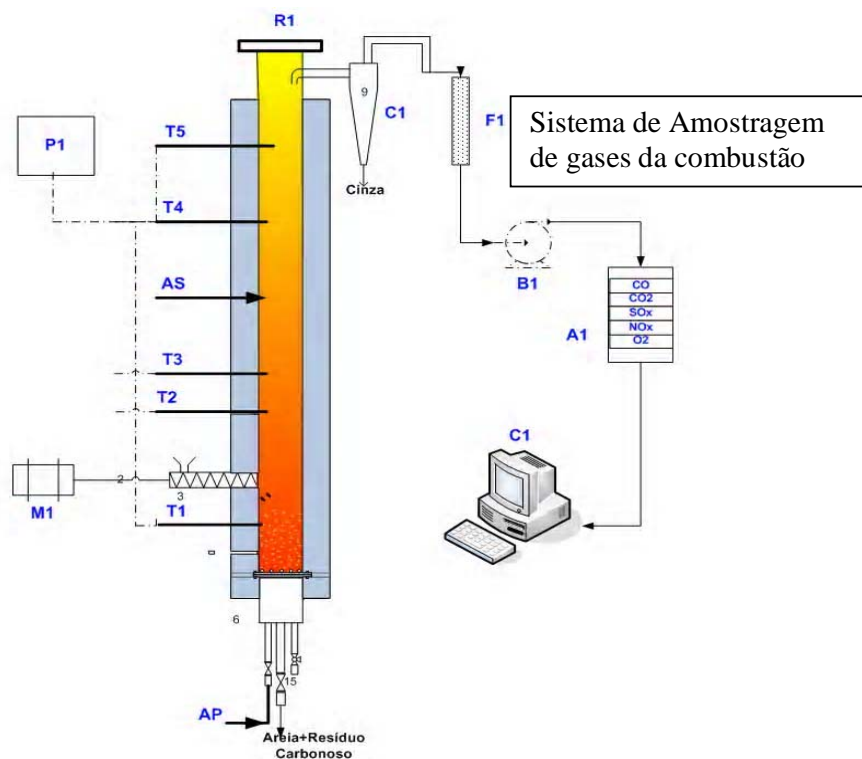


Figura 4.2 – Esquema da caldeira leito fluidizado piloto.

Os símbolos, da figura 4.2, têm os significados seguintes:

T1 – Temperatura do leito fluidizado	A1 – Analisador de gases
T2 – Temperatura da câmara de combustão	B1 – Bomba de amostragem gases
T3 – Temperatura da câmara de combustão	C1 – Computador de colecta de dados
T4 – Temperatura da câmara de combustão	C2 – Ciclone separador de partículas
T5 – Temperatura dos gases de saída	F1 – Filtro
AP – Entrada de ar primário	AS – Entrada de ar secundário
P1 – Registrador e controlo de temperaturas	M1 – Motor do sistema de alimentação
R1 - Reator	

4.1.1.2 CARACTERÍSTICAS DO MATERIAL DO LEITO

O material inerte utilizado no leito consiste em areia de sílica extraída do rio, lavada e classificada numa grama de granulometria, cujo diâmetro médio é igual a $330\mu\text{m}$, em uma massa volumétrica de 2651 kg.m^{-3} . A sua constituição química, é apresentada na tabela 4.1. (Dados do fornecedor).

Tabela 4.1 – Dados das características da areia utilizada nos ensaios.

	<i>Características da areia [%]</i>								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	P.R. ^(*)
%(m/m)	99,40	0,34	0,05	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,09

^(*) P.R. – Perdas ao rubro.

4.1.3 DESCRIÇÃO DA INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA

Para a avaliação do comportamento e das características da biomassa dos resíduos florestais, foram controlados, durante os ensaios, as medições de temperatura no leito e ao longo da câmara de combustão. Foram também realizados as medições dos gases de exaustão, nomeadamente CO₂, CO, NO_x e SO_x.

No circuito da caldeira piloto, as temperaturas ao longo do reactor, designadas como T1, T2, T3, T4, T5, foram registadas através de termopares do tipo K, com 2 mm de diâmetro, enviadas para o controlo e registro das mesmas em P1. Os gases de combustão foram amostrados e enviados para um analisador de gases A1, apresentado na figura 4.3. Os valores analógicos obtidos foram transmitidos através de um conversor A/D para um computador, tendo sido registados valores médios ao longo do tempo, durante a realização dos ensaios. A tabela 4.2 apresenta um resumo das características dos instrumentos e equipamentos utilizados na instalação, de acordo com a figura 4.2.

Tabela 4.2 – Identificação dos instrumentos e equipamentos utilizados nos ensaios

Código	Tipo	Diâmetro	Descrição
T1	K	2mm	Temperatura do leito fluidizado
T2	K	2mm	Temperatura na câmara de combustão do reactor
T3	K	2mm	Temperatura na câmara de combustão do reactor
T4	K	2mm	Temperatura na câmara de combustão do reactor
T5	K	2mm	Temperatura dos gases de exaustão
P1	-	-	Controlo e Registro de temperaturas
A1	-	-	Analizador de gases

Para a medição da temperatura dos gases de exaustão dentro do reactor, foi utilizado a medição do termopar T5. A composição dos gases de exaustão foi continuamente avaliada durante os ensaios, através da colocação de uma sonda na conduta de saída dos gases para a recolha da amostra. A amostra de gás era retirada utilizando o sistema de amostragem, constituído por um filtro e por uma bomba, o qual envia os dados para o analisador. A instrumentação analítica inclui um analisador magnético de pressão (para efectuar as medições de O_2), analisadores infravermelhos não dispersivos de gás (para efectuar as medições de CO_2 e CO), e um analisador de quimioluminiscência (para efectuar as medidas de NO_x e SO_x). Foram realizadas calibrações do zero e da escala, recebendo as misturas padrões antes dos ensaios.



Figura 4.3 – Analisador dos gases de exaustão



Figura 4.4 – Computador e data logger

Foram desenvolvidos esforços no sentido de serem eliminados pontos de fuga de gases enquanto a caldeira piloto estivesse em funcionamento, através da selagem de todas as juntas.

4.1.4 METODOLOGIA DOS ENSAIOS

Nos ensaios em condições operacionais, foram avaliados o comportamento da biomassa, mantendo estável a temperatura do leito fluidizado, assim como a temperatura ao longo do interior do reactor. A gama estabelecida foi dos 780° – 820° C. Os caudais de biomassa, seleccionados para cada ensaio, conduziram a uma emissão de O₂ baixa. O efeito era o de maximizar a eficiência da combustão e controlar, possivelmente, as emissões de CO, NO_x e SO_x. Uma vez que a partição entre o ar primário e secundário, e que as temperaturas controladas no leito fluidizado, na gama dos 780 e 820°C, as condições não permitiram a conversão do azoto atmosférico em NO_x. A menor diluição de O₂, à saída dos gases de combustão, aumenta o aproveitamento energético. Outra motivação para utilizar valores de O₂ pré definidos foi a de se obter uma maior uniformização dos resultados a obter, de uma forma simples, de modo a comparar e obter a partir deles uma discussão coerente. Desta forma os ensaios foram realizados fixando os seguintes parâmetros:

- i) Caudal de alimentação de biomassa;
- ii) Caudal de ar primário e secundário no leito e na câmara de combustão, respectivamente e;
- iii) Temperatura do leito fluidizante e da câmara de combustão.

Nos ensaios em regime estacionário foram tomadas providências para que os resultados obtidos não sofressem influência das variações de condições, pelo que foi estabelecido um tempo mínimo para pré aquecimento da caldeira piloto, nunca inferior as 2 horas, para que a caldeira apresentasse oscilações mínimas. Em cada ensaio foram registados valores no mínimo, em cada 5 seg, tendo sido realizados vários registos para cada ensaio.

Os ensaios referentes à fase de arranque, tal como os ensaios realizados em regime, foram realizados para cada um dos tipos de biomassa, definidas nos capítulos anteriores, com o objectivo de avaliar as características da biomassa das espécies vegetais seleccionadas, bem como, o comportamento da combustão e as suas emissões associadas. Estas espécies são comumente utilizadas nos sistemas de reflorestação da Mata Atlântica do Brasil. Para além da aquisição dos dados referentes a biomassa das espécies estudadas, foram também determinados os respectivos valores médios, em sequências de ensaios. Deverá ser referido que não foram realizadas medições relativas à quantidade de partículas presentes nos gases de exaustão. Foi avaliada regularmente a repetibilidade dos parâmetros da caldeira, para todas as condições de funcionamento monitoradas.

4.1.5 BIOMASSA UTILIZADA

A biomassa utilizada consistiu em quatro lotes distintos de *biomassa*, proveniente das espécies das mais utilizadas na reflorestação da Mata Atlântica do Brasil, conforme foram descritas nos anteriores capítulos. Com o intuito de distinguir as amostras oriundas de Portugal e do Brasil, foi utilizado a designação de P (proveniente de Portugal), obtidas em Lisboa, e a designação B (proveniente do Brasil), obtidas em quintas na cidade de Salvador – Bahia - Brasil.

A *Biomassa* do tipo P, foi obtida de plantas existentes no Jardim Tropical, localizado em Belém na cidade de Lisboa, nomeadamente a Aroeira (*Schinus terebinthifolia* Raddi) e a Pitanga (*Eugenia uniflora*). As amostras foram colectadas dos resíduos produzidos das limpezas da área verde.

A *Biomassa* do tipo B, foi colectada em quintas na cidade de Salvador da Bahia, Brasil, a partir de resíduos florestais, nomeadamente Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) e Urucum (*Bixa orellana* L.). Estas últimas, cresceram no terreno, dentro de condições climáticas endémicas da Mata Atlântica. Durante a realização dos ensaios foi feita uma amostragem de cada um dos lotes de *Biomassa*, sendo realizadas análises em laboratório, com o fim de determinar alguns parâmetros termoquímicos, nomeadamente:

- **Análise elementar:** carbono, hidrogénio, enxofre e azoto;
- **Análise imediata:** material volátil, humidade, carbono fixo e cinza;
- **Poder calorífico;** superior e inferior.

A determinação da análise elementar e imediata dos diferentes lotes e do poder calorífico das *Biomassas*, a humidade, o material volátil, assim como do teor de cinza nos inqueimados, foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Combustíveis (LCC) do Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação na Área Departamental de Engenharia e Controlo Ambiental. A figura 4.5 apresenta uma amostra dos resíduos florestais da pitanga, *Eugenia uniflora*, e reproduz a forma como a biomassa foi introduzida no reactor de leito fluidizado utilizada na combustão.



Figura 4.5 – Aspecto geral da biomassa dos resíduos florestais utilizada nos ensaios

5.0 CAPÍTULO V

5.1 TRABALHO LABORATORIAL

5.1.1 ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

As análises foram realizadas no LCC – Laboratório de Caracterização de Combustíveis, do DEECA – INETI. As amostras caracterizadas, consistiram em oito frascos de amostras de biomassa das espécies seleccionadas, listadas na tabela 5.1. Foi efectuada a caracterização individual de cada uma das amostras, apresentadas nas tabelas 5.2 à 5.7. Os valores médios apresentam-se nas tabelas 5.8 à 5.13. As figuras 5.1 à 5.3 representam graficamente os valores das análises das espécies amostradas. A biomassa utilizada para as determinações laboratoriais foi triturada para permitir uma maior homogeneidade, ficando com uma granulometria inferior a 0,5mm.

As análises foram feitas em 2006, em duplicado consoantes métodos aprovados, onde os resultados apresentados através de uma média entre os valores encontrados. Na determinação dos teores de humidade foi utilizado o método NP 4323 – B, a uma temperatura de 105°C, e o das cinzas pelo método ASTM D 1102 (1990)^(e), a uma temperatura de 500°C. Para a determinação do teor de matérias voláteis foi utilizado o método ASTM D 3175 (2001)^(e), que está de acordo com a norma portuguesa NP 3423 (1987)^(e), utilizado para carvão e coque, comumente usado para caracterização de biomassa, a temperatura utilizada foi de 900°C. Para a determinação do poder calorífico foi utilizado pelo método ASTM D 5865 (2000)^(e), usado para a determinação do poder calorífico de carvão e coque, também, comumente usado para a caracterização da biomassa. A determinação do carbono fixo foi realizada pelo método ASTM D 3172 (2001)^(e), por cálculo. Para a caracterização da análise elementar do CHN (carbono, hidrogénio e azoto), usou-se o método ASTM 5373, e na determinação do S (enxofre), o método ASTM D 4239.

^(e) Ano entre parênteses é o ano da última actualização da publicação do método.

5.1.2 RESULTADOS DAS ANALISES

Tabela 5.1 – Nomenclaturas utilizadas para as amostras de biomassa analisada

BFP1 P	Folhas de Pitanga
BCP2 P	Caulas de Pitanga
BFA P	Folhas de Aroeira
BCA P	Caulas de Aroeira
BFPB B	Folhas de Pau-brasil
BCPB B	Caulas de Pau-brasil
BFU B	Folhas de Urucum
BCU B	Caulas de Urucum

Tabela 5.2 – Resultados da análise imediata – base húmida, da biomassa ensaiada

Método	Parâmetro % (m/m)	BFP P	BCP P	BFA P	BCA P	BFPB B	BCPB B	BFU B	BCU B
NP 4323 - B	Humidade	12,00	13,20	19,12	15,01	20,81	20,61	10,81	9,31
ASTM D 3174	Cinzas a 500°C	11,50	6,41	7,43	6,31	5,01	3,61	9,60	9,52
NP 3423	Matérias Voláteis a 900 °C	62,10	65,43	58,51	62,62	56,52	63,10	62,52	63,70
ASTM D 3172	Carbono Fixo	14,40	15,02	15,11	16,11	17,71	12,71	17,12	17,50

Tabela 5.3 – Resultado da análise imediata – base seca, da biomassa ensaiada

Método	Parâmetro % (m/m b.s.)	BFP P	BCP P	BFA P	BCA P	BFPB B	BCPB B	BFU B	BCU B
ASTM D 3174	Cinzas a 500°C	13,11	7,43	9,10	7,42	6,32	4,50	10,82	10,50
NP 3423	Matérias Voláteis a 900 °C	70,61	75,32	72,30	73,61	71,31	79,50	70,12	70,23
ASTM D 3172	Carbono Fixo	16,42	17,31	18,50	18,92	22,30	16,01	19,21	19,31

Tabela 5.4 – Resultados do poder calorífico – base húmida, da biomassa ensaiada

Método	Parâmetro MJ/kg	BFP P	BCP P	BFA P	BCA P	BFPB B	BCPB B	BFU B	BCU B
ASTM D 5865	Poder Calorífico Superior	15,29	15,99	16,12	15,63	16,45	15,16	17,19	15,98
	Poder Calorífico Inferior	14,12	14,70	14,71	14,27	16,04	13,70	15,93	14,75

Tabela 5.5 – Resultados do poder calorífico – base seca, da biomassa ensaiada

Método	Parâmetro MJ/kg	BFP P	BCP P	BFA P	BCA P	BFPB B	BCPB B	BFU B	BCU B
ASTM D 5865	Poder Calorífico Superior	17,38	18,42	19,92	18,39	20,77	19,10	19,27	17,62
	Poder Calorífico Inferior	16,05	16,93	18,19	16,79	20,26	17,25	17,86	16,26

Tabela 5.6 – Resultados da análise elementar – base húmida, da biomassa ensaiada

Método	Parâmetro % (m/m)	BFP P	BCP P	BFA P	BCA P	BFPB B	BCPB B	BFU B	BCU B
ASTM D 5373	Carbono (C)	40,10	41,20	40,40	40,90	40,60	38,50	42,90	41,10
	Hidrogénio (H)	5,50	6,10	6,60	6,40	7,00	6,90	5,90	5,80
	Azoto (N)	1,30	0,90	1,50	0,50	1,90	0,60	3,50	1,80
ASTM D 4239	Enxofre (S)	0,15	0,10	0,29	0,19	0,22	0,11	0,49	0,46
	Cloro (Cl)	0,09	0,04	0,31	0,14	0,10	0,08	0,12	0,12

[6] Análise realizada por combustão em bomba de oxigénio e detecção por electroforese capilar.

Tabela 5.7 – Resultados da análise elementar – base seca, da biomassa ensaiada

Método	Parâmetro % (m/m b.s.)	BFP P	BCP P	BFA P	BCA P	BFPB B	BCPB B	BFU B	BCU B
ASTM D 5373	Carbono (C)	45,57	47,47	49,94	48,12	51,26	48,49	48,09	45,31
	Hidrogénio (H)	4,72	5,33	5,52	5,55	5,90	5,79	5,26	5,25
	Azoto (N)	1,48	1,04	1,85	0,59	2,40	0,76	3,92	1,98
ASTM D 4239	Enxofre (S)	0,17	0,12	0,36	0,22	0,28	0,14	0,55	0,51
^(f)	Cloro (Cl)	0,11	0,06	0,35	0,16	0,12	0,10	0,15	0,15

^(f) Análise realizada por combustão em bomba de oxigénio e detecção por electroforese capilar.

Tabela 5.8 – Valores médios da análise imediata – base húmida, da biomassa ensaiada

Parâmetro % (m/m)	Folhas ^[7]	Caules ^[8]	Folhas e Caules	Máximo ^[9]
Humidade	15,71	14,52	15,12	20,80
Cinzas a 500°C	8,41	6,50	7,40	11,51
Matérias Voláteis	59,90	63,72	61,82	65,42
Carbono Fixo	16,12	15,31	15,72	17,72

Tabela 5.9 – Valores médios da análise imediata – base seca, da biomassa ensaiada

Parâmetro % (m/m b.s.)	Folhas ^(g)	Caules ^(h)	Folhas e Caules	Máximo ⁽ⁱ⁾
Cinzas a 500°C	9,81	7,42	8,60	13,13
Matérias Voláteis	71,11	74,72	72,90	79,52
Carbono Fixo	19,10	17,91	18,51	19,20

Tabela 5.10 – Valores médios do poder calorífico – base húmida, da biomassa ensaiada

Parâmetro kJ/kg	Folhas ^(g)	Caules ^(h)	Folhas e Caules	Máximo ⁽ⁱ⁾
Poder Calorífico Superior	16,26	15,69	15,98	17,19
Poder Calorífico Inferior	15,20	14,35	14,78	16,04

Tabela 5.11 – Valores médios do poder calorífico – base seca, da biomassa ensaiada

Parâmetro kJ/kg (b.s.)	Folhas ^(g)	Caules ^(h)	Folhas e Caules	Máximo ⁽ⁱ⁾
Poder Calorífico Superior	19,33	18,38	18,86	20,77
Poder Calorífico Inferior	18,09	16,81	17,45	20,26

Tabela 5.12 – Valores médios da análise elementar – base húmida, da biomassa ensaiada

Parâmetro % (m/m)	Folhas ^(g)	Caules ^(h)	Folhas e Caules	Máximo ⁽ⁱ⁾
Carbono (C)	41,00	40,43	40,71	42,90
Hidrogénio (H)	6,25	6,30	6,28	7,00
Azoto (N)	2,05	0,95	1,50	3,50
Enxofre (S)	0,29	0,22	0,25	0,49
Cloro (Cl)	0,16	0,09	0,13	0,31

Tabela 5.13 – Valores médios da análise elementar – base seca, da biomassa ensaiada

Parâmetro % (m/m b.s.)	Folhas ^(g)	Caules ^(h)	Folhas e Caules	Máximo ⁽ⁱ⁾
Carbono (C)	48,72	47,35	48,03	51,26
Hidrogénio (H)	5,35	5,48	5,41	5,90
Azoto (N)	2,41	1,09	1,75	3,92
Enxofre (S)	0,34	0,25	0,29	0,55
Cloro (Cl)	0,18	0,12	0,15	0,35

^(g) Valor médio encontrado em relação aos resultados obtidos nas análises entre todas as amostras de folhas analisadas.

^(h) Valor médio encontrado em relação aos resultados obtidos nas análises entre todas as amostras de caule analisadas.

⁽ⁱ⁾ Maior valor encontrado, entre todos os analisados das folhas e caules das biomassas, que foram ensaiadas

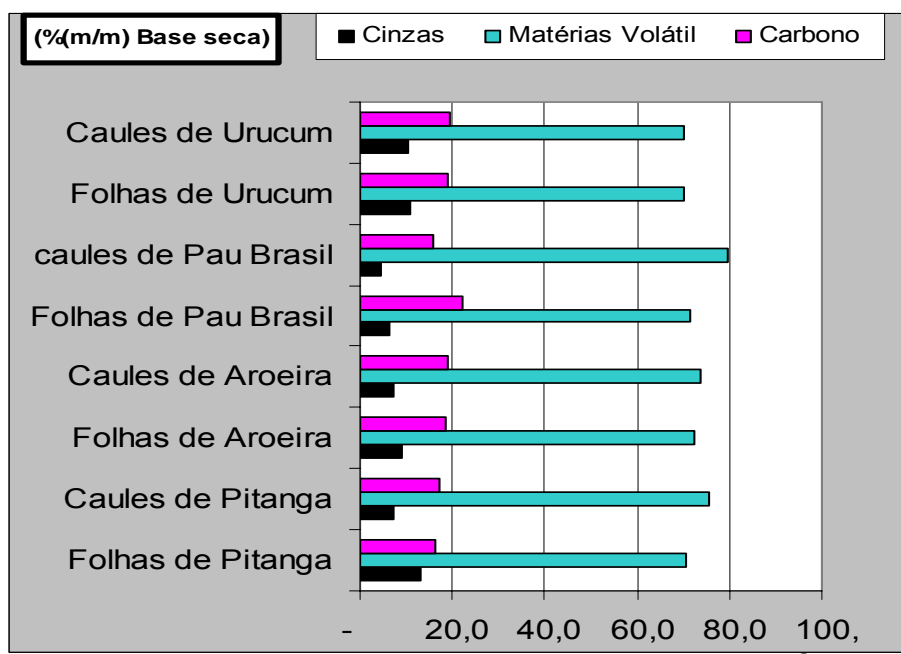


Figura 5.1 – Variação da análise imediata por tipo de biomassa (base seca)

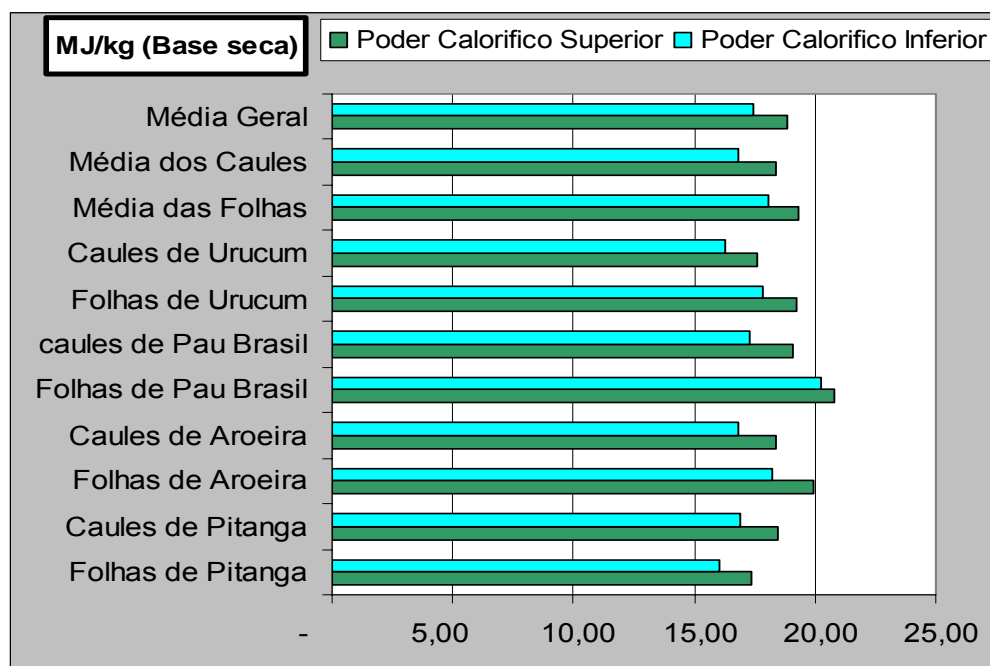


Figura 5.2 – Variação do poder calorífico por tipo de biomassa. (base seca)

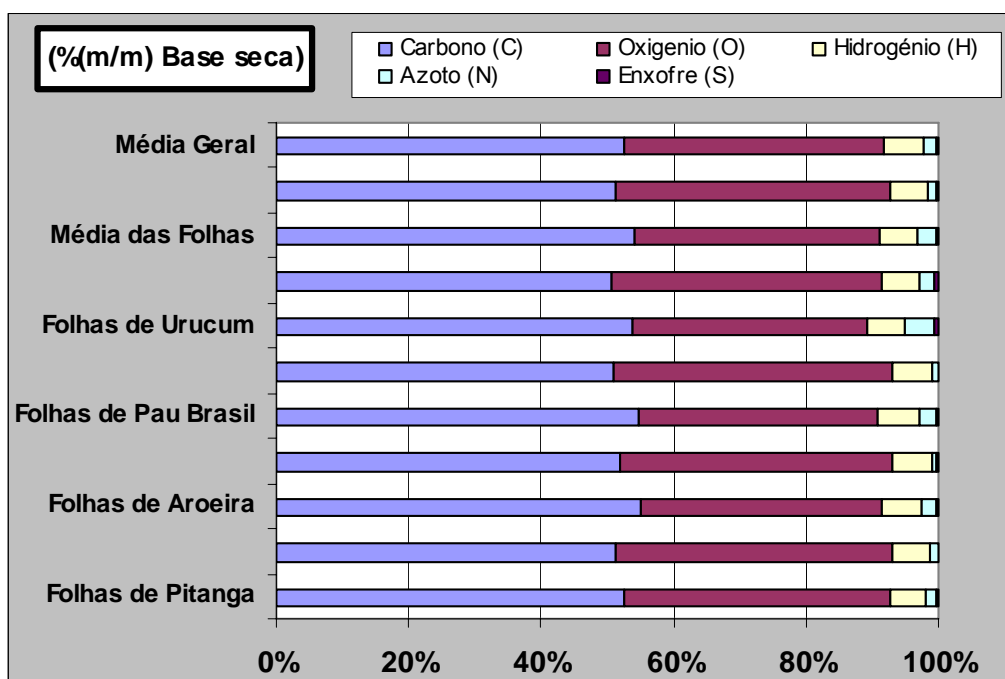


Figura 5.3 – Variação da análise elementar por tipo de biomassa (base seca)

5.1.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DAS ANALISES

As amostras de biomassa apresentam uma variabilidade elevada no que diz respeito aos teores de humidade (entre 9,3 a 20,8%). Este facto pode ser devido às características das espécies vegetais, ao nível de secagem no solo antes da recolha da amostra, ou sistema de transporte que foi utilizado (algumas amostras vieram por via aérea do Brasil). A humidade afecta os valores medidos, pelo que se apresentam os resultados também em relação à matéria seca.

Verifica-se que a biomassa analisada apresenta uma elevada proporção de “*matérias voláteis*” (a 900°C), entre 56,5 e 65,4%. O valor de “*carbono fixo*” é elevado, 38,5 a 42,9%, e o teor de cinzas varia entre 4,5 e 13,1%. O valor médio de carbono é de 40,7% e o de hidrogénio de 6,3%, o que confirma que a matéria volátil é essencialmente formada por matéria combustível. Esta conclusão é resultante do facto destes valores se referirem à matéria húmida.

O poder calorífico inferior, PCI, das folhas e caules, varia de 13,7 a 16,0 MJ.kg⁻¹ nas amostras húmidas, correspondendo a um valor médio de 17,5 MJ.kg⁻¹ na base seca. Com base nos resultados obtidos, pode concluir-se que a biomassa analisada apresenta boas características combustíveis, devendo a sua combustão dar-se preferencialmente na fase gasosa, a alta temperatura.

No que diz respeito à presença de elementos que pode dar origem à formação de poluentes verifica-se:

1) - Azoto

Os teores de azoto, na base húmida, variam desde 0,5 a 3,5%. A presença de azoto no combustível, pode dar origem à formação de algum NO_x. Contudo em sistemas de leito fluidizado, operados a temperaturas inferiores a 900°C e empregando estagiamento de ar por andares, é possível reduzir estas emissões a valores muito baixos. Na comparação entre os resultados obtidos nas análises, verificou-se que as amostras BFU, BCU e BFPB foram as que apresentaram um maior teor de N-biomassa, (3,5%, 1,8% e 1,9% respectivamente). Será portanto de se esperar uma maior emissão de NO_x dos

gases de combustão, nos ensaios de combustão das biomassas de Pau-brasil e Urucum em comparação com as dos demais ensaios.

2) - Enxofre

Os teores de enxofre, na base húmida, são relativamente baixos, variando desde 0,1 à 0,46%. A formação de reduzidas quantidades de óxidos de enxofre, pode ainda ser minoradas na presença das cinzas contendo cálcio, ou, em caso de necessidade, adicionando algum calcário. Na comparação entre os resultados obtidos nas análises identificou-se que as amostras BFU, BCU, BFA e BFPB foram as que apresentaram um maior teor de S-biomassa, (0,55%, 0,51%, 0,36% e 0,28% respectivamente). Será de esperar, portanto, uma maior emissão de SO_2 nos gases de combustão dos ensaios das biomassas de Pau-brasil e Urucum, em comparação com as dos demais ensaios.

3) - Cloro

Os teores de cloro, na base húmida são bastantes baixos, variando desde 0,04 à 0,3%. As biomassas analisadas contêm, portanto, algum cloro, mas apenas em pequenas quantidades. As emissões de HCl não deverão contudo ser significativas, uma vez que esta espécie pode ser absorvida nas cinzas, em conjunto com o SO_x .

6.0 CAPÍTULO VI

6.1 ENSAIOS EXPERIMENTAIS

6.1.1 CONDIÇÕES DE ENSAIOS

O leito fluidizado foi operado sobre o regime borbulhante e as condições de operação de combustão da biomassa, em escala piloto, para cada tipo de biomassa, são apresentadas nas tabelas 6.1 à 6.4. Foram ensaiados os resíduos florestais das espécies seleccionadas, conforme tabela 5.1.

Tabela 6.1 – Condições operacionais do ensaio da biomassa Aroeira (Schinus terebinthifolia Raddi)

<i>Temperatura do leito (°C)</i>	780 - 825
<i>Temperatura na câmara(°C)</i>	850 - 900
<i>Rácio de alimentação (g/h)</i>	300
<i>Velocidade de fluidização(m/s)</i>	0,23
<i>Tempo de ensaio (min)</i>	57
<i>Excesso de ar (%)</i>	30
<i>Caudal de gases (kg/h)</i>	1,57
<i>Caules BCA P (%)</i>	60
<i>Folhas BFA P (%)</i>	40
<i>Partição de ar (%): Primário</i>	70
<i>Secundário</i>	30

Tabela 6.2 – Condições operacionais do ensaio da biomassa Pitanga (Eugenia uniflora L.)

<i>Temperatura do leito (°C)</i>	780 - 825
<i>Temperatura na câmara(°C)</i>	850 - 900
<i>Rácio de alimentação (g/h)</i>	300
<i>Velocidade de fluidização(m/s)</i>	0,31
<i>Tempo de ensaio (min)</i>	58
<i>Excesso de ar (%)</i>	30
<i>Caudal de gases (kg/h)</i>	2,03
<i>Caules BCP P (%)</i>	72,5
<i>Folhas BFP P (%)</i>	27,5
<i>Partição de ar (%): Primário</i>	70
<i>Secundário</i>	30

Tabela 6.3 – Condições operacionais do ensaio da biomassa Pau-brasil (Caesalpinia echinata)

<i>Temperatura do leito (° C)</i>	780 - 825
<i>Temperatura na câmara(°C)</i>	850 – 900
<i>Rácio de alimentação (g/h)</i>	180
<i>Velocidade de fluidização (m/s)</i>	0,23
<i>Tempo de ensaio (min)</i>	58
<i>Excesso de ar (%)</i>	30
<i>Caudal de gases (kg/h)</i>	1,57
<i>Caules BCPB B (%)</i>	32
<i>Folhas BFPB B (%)</i>	68
<i>Partição de ar (%): Primário</i>	70
<i>Secundário</i>	30

Tabela 6.4 – Condições operacionais do ensaio da biomassa Urucum (Bixa orellana)

<i>Temperatura do leito (° C)</i>	780 - 825
<i>Temperatura na câmara(°C)</i>	850 - 900
<i>Rácio de alimentação (g/h)</i>	180
<i>Velocidade de fluidização (m/s)</i>	0,21
<i>Tempo de ensaio (min)</i>	42
<i>Excesso de ar (%)</i>	30
<i>Caudal de gases (kg/h)</i>	1,57
<i>Caules BCU B (%)</i>	59
<i>Folhas BFU B (%)</i>	41
<i>Partição de ar (%): Primário</i>	70
<i>Secundário</i>	30

Foram realizados cálculos para a determinação das análises elementar das misturas utilizadas nos ensaios de cada espécie, os resultados estão apresentados nas tabelas 6.5 à 6.8.

Tabela 6.5 – Análise elementar da mistura da Aroeira ensaiada. (*Schinus terebinthifolia* Raddi)

Carbono	C	40,70%
Hidrogénio	H	4,62%
Azoto	N	0,90%
Enxofre	S	0,23%
Cloro	Cl	0,09%
Oxigénio	O	30,20%
Cinzas	cz	6,73%
Humidade	H ₂ O	16,62%
PCI	-	14,45(Mj/kg)

Tabela 6.6 – Análise elementar da mistura da Pitanga ensaiada. (*Eugenia uniflora* L.)

Carbono	C	40,90%
Hidrogénio	H	4,49%
Azoto	N	1,01%
Enxofre	S	0,11%
Cloro	Cl	0,06%
Oxigénio	O	32,81%
Cinzas	cz	7,80%
Humidade	H ₂ O	12,87%
PCI	-	14,54(Mj/kg)

Tabela 6.7 – Análise elementar da mistura do Pau-brasil ensaiada. (*Caesalpinia echinata*)

Carbono	C	39,92%
Hidrogénio	H	4,65%
Azoto	N	1,48%
Enxofre	S	0,18%
Cloro	Cl	0,23%
Oxigénio	O	28,48%
Cinzas	cz	4,55%
Humidade	H ₂ O	20,74%
PCI	-	15,29Mj/kg)

Tabela 6.8 – Análise elementar da mistura do Urucum ensaiada. (*Bixa orellana*)

Carbono	C	41,83%
Hidrogénio	H	4,73%
Azoto	N	2,43%
Enxofre	S	0,47%
Cloro	Cl	0,21%
Oxigénio	O	31,20%
Cinzas	cz	9,54%
Humidade	H ₂ O	15,23%
PCI	-	15,23 (Mj/kg)

6.1.2 RESULTADO DOS ENSAIOS

6.1.2.1 EMISSÕES

Os comportamentos dos gases de combustão, ao longo dos ensaios, foram monitorizados continuamente. Os gases tiveram, como único tratamento, a separação centrífuga por meio de um ciclone. Nas figuras 6.1 à 6.5, apresentam-se os resultados obtidos nas emissões dos principais gases de combustão, NO_x , SO_x e CO , nos ensaios no reactor de leito fluidizado, para cada tipo de biomassa ensaiada. As emissões foram corrigidas para uma mesma referência de diluição de O_2 . No caso em estudo, foi escolhido o valor percentual de 8%, afim de facilitar as discussões comparativas com as legislações vigentes, que são apresentadas nestas condições.

Os mais importantes gases poluentes monitorizados, nomeadamente NO_x , SO_x , e os valores médios medidos, foram comparados com aqueles regulamentados em relação à directiva EU e às normas brasileiras. É importante notar que não existem limites de imposição para emissões de SO_x no Brasil, quando se trata do caso de biomassa, oriunda de resíduos florestais, utilizado como combustível. Contudo, os níveis de SO_x obtidos durante os ensaios de combustão podem ser considerados muitos baixos.

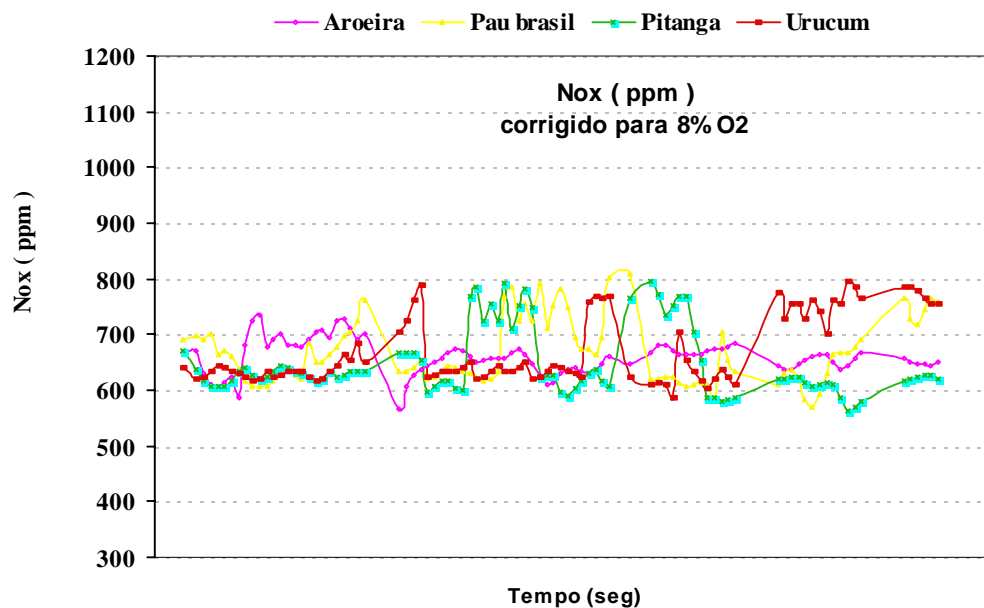


Figura 6.1 – Emissões de NO_x monitorizadas durante os ensaios da biomassa

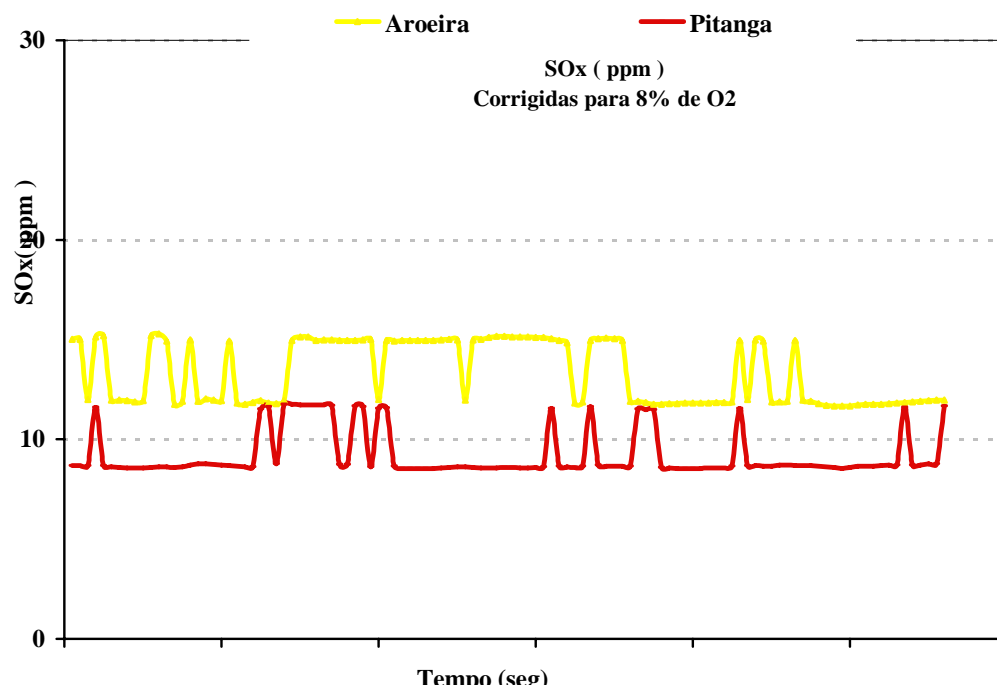


Figura 6.2 – Emissões de SO_x monitorizadas durante os ensaios da biomassa

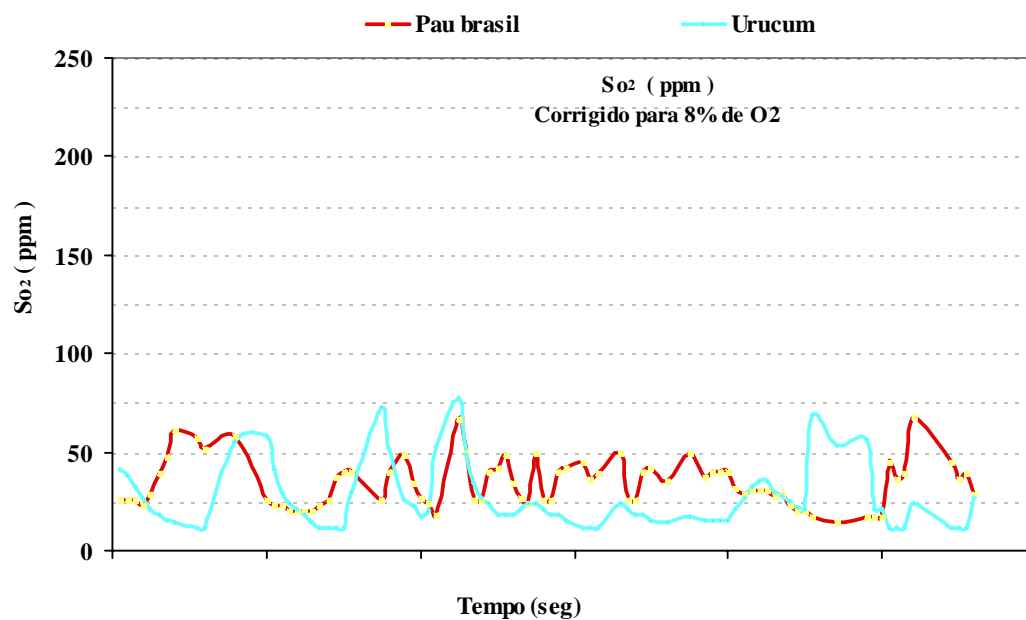
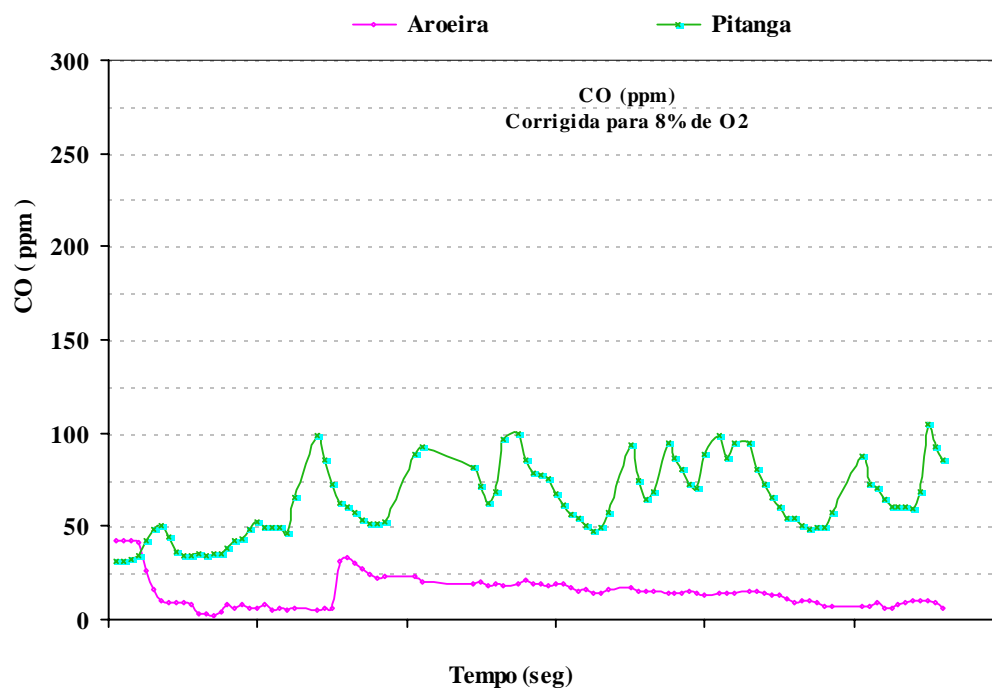
Figura 6.3 – Emissões de SO_x monitorizadas durante os ensaios da biomassa

Figura 6.4 – Emissões de CO monitorizadas durante os ensaios da biomassa

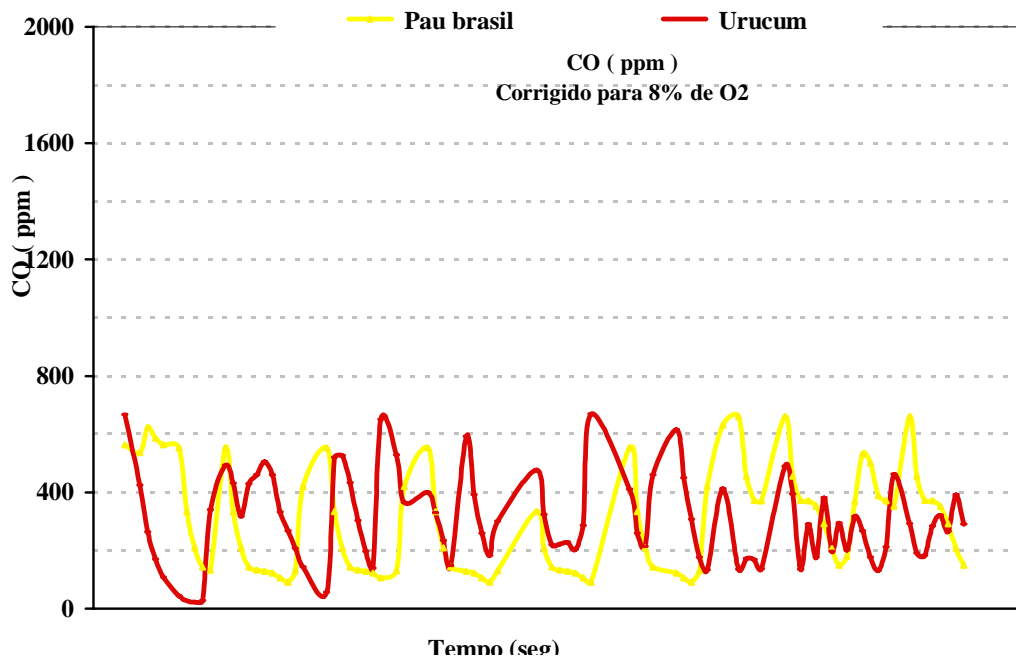


Figura 6.5 – Emissões de CO monitorizadas durante os ensaios da biomassa

6.1.2.2 TEMPERATURAS

Durante os ensaios, as temperaturas do leito fluidizado, da câmara de combustão (Freeboard), e dos gases de combustão, foram monitorizados continuamente e o seu comportamento é apresentado nas figuras 6.6 a 6.8. O leito fluidizado foi posto em operação pelo menos duas horas antes do início dos ensaios, com o intuito de estabilizar as temperaturas no leito dentro da faixa dos 780 a 820°C, afim de se criar as condições estabilizadas de operação.

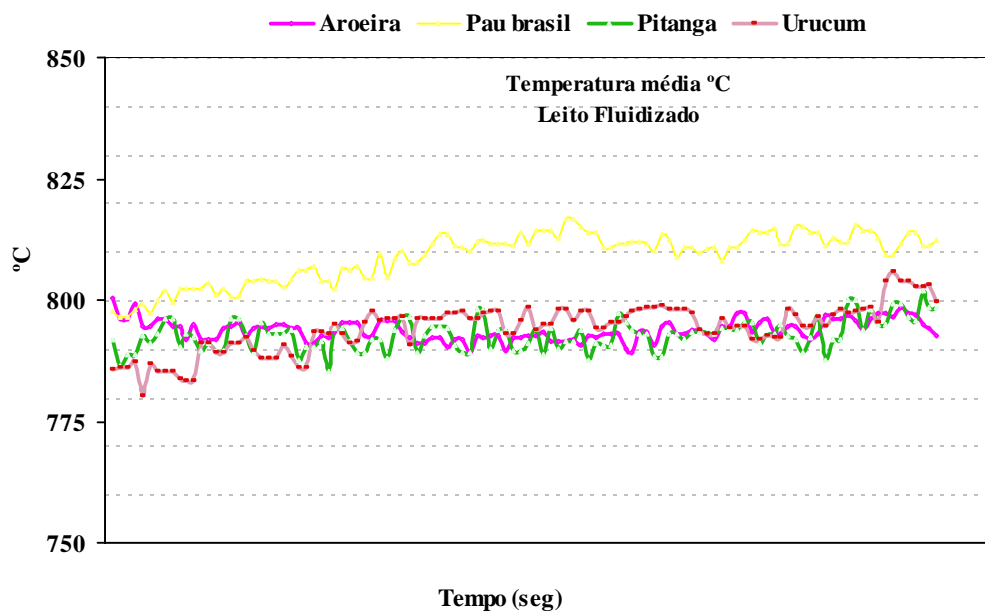


Figura 6.6 – Temperaturas do leito fluidizado monitorizadas durante os ensaios da biomassa

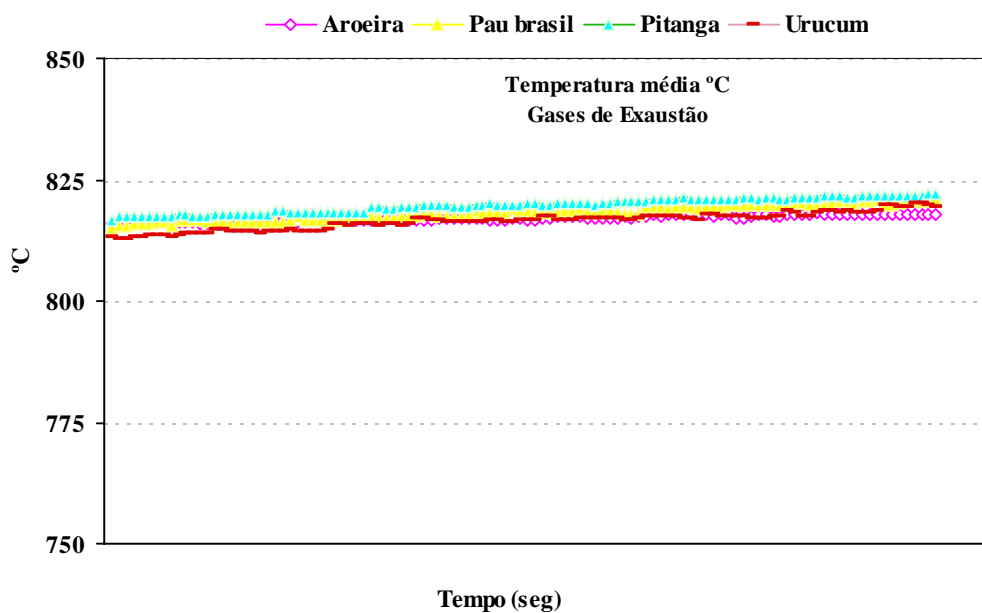


Figura 6.7 – Temperaturas dos gases de combustão monitorizadas durante os ensaios da biomassa

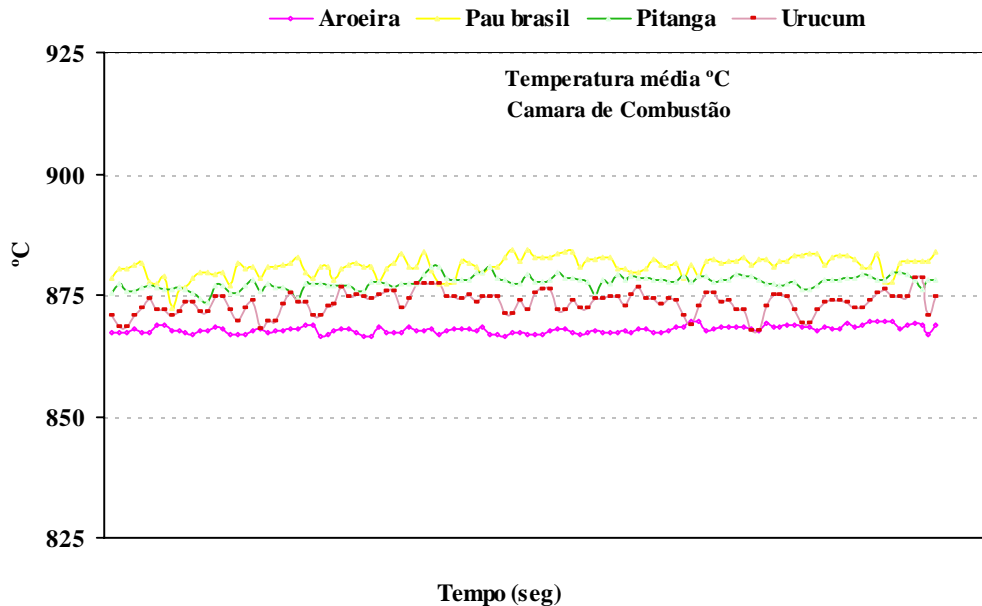


Figura 6.8 – Temperaturas da câmara de combustão (Freeboard) monitorizadas durante os ensaios da biomassa

A comparação das temperaturas do leito fluidizado nos ensaios com as biomassas das espécies Aroeira, Pitanga, Pau-brasil e Urucum não revelaram uma variação média significativa entre si (cerca de 2,0%). As temperaturas dos gases de combustão apresentaram também uma reduzida diferença em relação à média (não superior a 0,4%). As temperaturas da câmara de combustão nos ensaios, também não apresentaram uma variação média grande entre si (cerca de 1,5%). Nos ensaios, apenas a temperatura do leito fluidizado da biomassa da espécie Pau-brasil, apresentou uma média um pouco acima das demais, mas não superior a 2,0%.

Desta forma, poderá ser feita uma comparação entre as emissões gasosas nos gases de combustão obtidos nos quatro ensaios, uma vez que, as condições de combustão da biomassa: temperaturas do leito fluidizado, da câmara de combustão e dos gases de combustão, dos quatro ensaios, não apresentaram uma variação significativa entre si, conforme apresentados na tabela 6.9 (valores médios \pm desvio padrão (SE)).

Tabela 6.9 – Valores médios das temperaturas monitoras ao longo dos ensaios

Ensaio	Temperatura do Leito (° C)	Temperatura dos Gases (° C)	Temperatura da Câmara (° C)
Aroeira	793±4	817±1	867±2
Pau-brasil	808±4	818±1	881±2
Pitanga	793±4	819±1	877±2
Urucum	794±4	816±1	873±2

6.1.3 ESTIMATIVAS DOS ERROS DAS MEDIÇÕES

Para além da aquisição dos dados das espécies e temperaturas, foram ainda determinados valores médios na sequência dos ensaios com as diferentes biomassas. Foi avaliada regularmente a repetibilidade dos parâmetros da caldeira para todas as condições de funcionamento. Para todos os valores medidos, apresenta-se na tabela 6.10, a incerteza dos resultados associada à leitura da escala, enquanto no caso dos termopares optou-se por indicar o valor do desvio padrão médio, conduzindo a uma incerteza calculada de 1 – 4°C.

Foram realizadas calibrações do zero e da escala, com misturas padrão antes e após cada sessão de medidas no registrador de gases de combustão. O valor máximo dos desvios durante a calibração encontrou-se dentro do intervalo $\pm 2\%$ da escala máxima.

Tabela 6.10 – Análise numérica das temperaturas medidas

Grandeza	Simbolo	Estimativa de erro
Termopares	TI1	4 °C ¹
	TI2	2°C ¹
	TI3	2 °C ¹
	TI4	1 °C ¹
	TI5	1°C ¹

¹ Corresponde ao desvio padrão das medições realizadas

6.1.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Para a análise estatística dos dados, aplicou-se, às emissões de gases de combustão dos ensaios (NO_x , SO_2 e CO), uma análise de variância (ANOVA) de factor único, para um nível de confiança de significância de 95% ($p < 0,05$). Baseado nos resultados da ANOVA, utilizou-se o teste de Turkey para a comparação das emissões gasosas dos quatro ensaios, realizados com os diferentes tipos de biomassa. Fez-se uso da simbologia (a) e (b), para assinalar as diferenças nas medições. As diferenças não significativas são indicadas com letras iguais e as diferenças significativas são indicadas com letras diferentes. Em relação aos dados consolidados das medições dos gases de combustão efectuadas, foi apresentada o valor médio das medições obtidas \pm erro padrão associado (S.E.), estão apresentados na tabela 6.11.

6.1.4.1 EMISSÕES GASOSAS

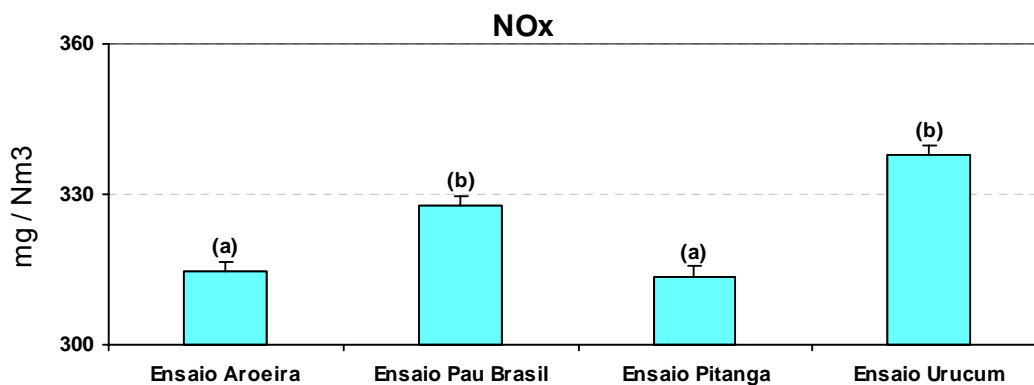


Figura 6.9 – Comparações entre as emissões de NO_x da biomassa das espécies ensaiadas, valores corrigidas para 8% O_2

(As letras diferentes correspondem a diferenças significativas, utilizando o teste ANOVA, para um grau de confiança de 95%).

A comparação das emissões de NO_x , nos ensaios com a biomassa das espécies Aroeira e Pitanga, não apresentou uma variação significativa (cerca de 0,3%). Entre a biomassa das espécies Pau-brasil e Urucum também não se verificou uma diferença significativa (cerca de 3,0%). Porém, quando se comparam estes grupos de ensaios, ou seja, as emissões de NO_x dos ensaios da biomassa das espécies Aroeira e Pitanga com as espécies Pau-brasil e Urucum, registou-se a existência de uma diferença significativa (cerca de 7,7%).

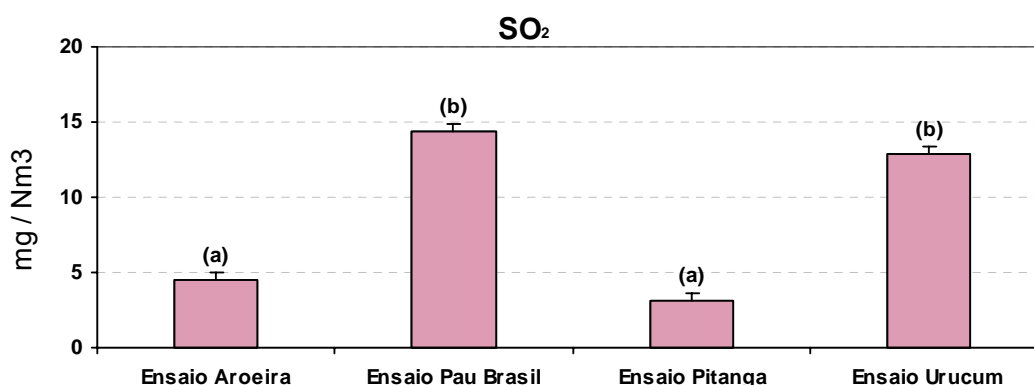


Figura 6.10 – Comparações entre as emissões de SO_x da biomassa das espécies ensaiadas, para uma diluição de 8% O_2

(As letras diferentes correspondem a diferenças significativas, utilizando o teste ANOVA, para um grau de confiança de 95%).

A comparação das emissões de SO_x , nos ensaios com a biomassa das espécies Aroeira e Pitanga, não apresentou uma variação nas emissões de SO_x significativa. Entre a biomassa das espécies Pau-brasil e Urucum também não se registou uma diferença significativa. Porém quando comparamos estes grupos de ensaios, ou seja, as emissões de SO_x dos ensaios da biomassa das espécies Aroeira e Pitanga com as espécies Pau-brasil e Urucum, detectou-se uma diferença significativa.

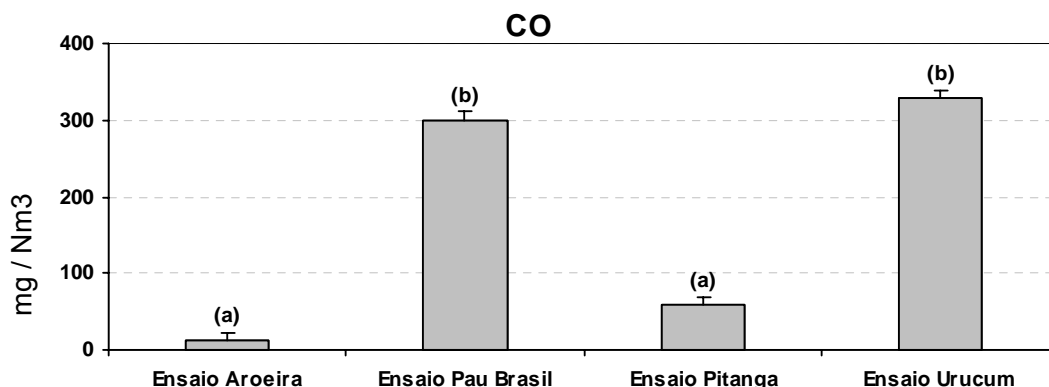


Figura 6.11 – Comparações entre as emissões de CO da biomassa das espécies ensaiadas, para uma diluição de 8% O₂

(As letras diferentes correspondem a diferenças significativas, utilizando o teste ANOVA, para um grau de confiança de 95%).

A comparação das emissões de CO nos ensaios com a biomassa das espécies Aroeira e Pitanga não apresentou uma variação nas emissões de CO significativa. Entre a biomassa das espécies Pau-brasil e Urucum também não se registou uma diferença significativa (cerca de 9,2%). Porém se compararmos estes grupos de ensaios, ou seja, as emissões de CO dos ensaios da biomassa das espécies Aroeira e Pitanga com as das espécies Pau-brasil e Urucum registou-se uma diferença significativa, com uma variação do desvio padrão apresentada na tabela 6.11.

Tabela 6.11 – Valores médios com o erro padrão das emissões dos gases de combustão monitorizados durante os ensaios

Ensaio	NO _x (mg/Nm ³)	SO ₂ (mg/Nm ³)	CO (mg/Nm ³)
Aroeira	314,46±8	4,55±5	11,76±1
Pau-brasil	327,80±8	14,36±5	300,44±6
Pitanga	313,68±8	3,15±5	58,50±3
Urucum	337,71±8	12,93±5	328,17±30

6.1.5 COMPARAÇÃO COM OS VALORES DA LEGISLAÇÃO

Os Valores Limite de Emissão (VLE) de poluentes gasosos fixados, no Brasil, tomadas como referencia neste trabalho, estão de acordo com a proposta de resolução que atribui os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos por fontes fixas. Esta proposta foi aprovada na 26ª Câmara Técnica de Assuntos Jurídicos, em 03 de Maio de 2006, e está a decorrer as etapas legais para ser transposta como resolução (MMA, 2006b). A situação vigente é resultante da Resolução/conama/N.º 008 de 06 de Dezembro de 1990, menos especifica. O anexo IV, da proposta, determina os limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados da madeira. Os resultados são expressos na unidade de concentração mg/Nm^3 , em base seca e corrigidos a 8% de oxigénio. Os Valores Limite de Emissão estão apresentados na tabela 6.12

Os Valores Limite de Emissão (VLE) de poluentes gasosos, são os valores constantes da Portaria n.º 286/93 de 12 de Março, nos seus Anexos IV – Valores Limites de Aplicação Geral. A portaria estipula as taxas de emissão de poluentes a partir das quais existe a obrigatoriedade de monitorização em contínuo. Os valores limite de aplicação geral constantes da Portaria n.º 286/93, de 12 de Março (MIEARN, 2006), são apresentados na tabela 6.12.

Tabela 6.12 – Valores limites de emissão de poluentes gasosos, corrigidos para 8%O, dados em mg/Nm³

Emissões	(mg/Nm ³), corrigidos para 8% de O ₂	
	EU – União Europeia	Brasil
NO _x	1500 ^(j)	650 ^(j)
SO ₂	2700 ^(j)	- ^(m)
CO	1000 ^(j)	1300 ⁽ⁿ⁾

^(j) Os valores apresentados referem-se ao caso geral, esta norma esta em via de sofrer alterações, onde se espera que abranja o caso específico da biomassa.

^(l) O Valor de limite de emissão é aplicado para potências térmicas maior do que 10 MW, para potências menores que 10Mw não há valor de imposição na lei.

^(m) Não há valores atribuídos para aplicação a biomassa ou equivalente.

⁽ⁿ⁾ O Valor de limite de emissão apresentado é o mais rigoroso que é aplicado para potencias térmicas entre > 1,0 e ≤ 10MW.

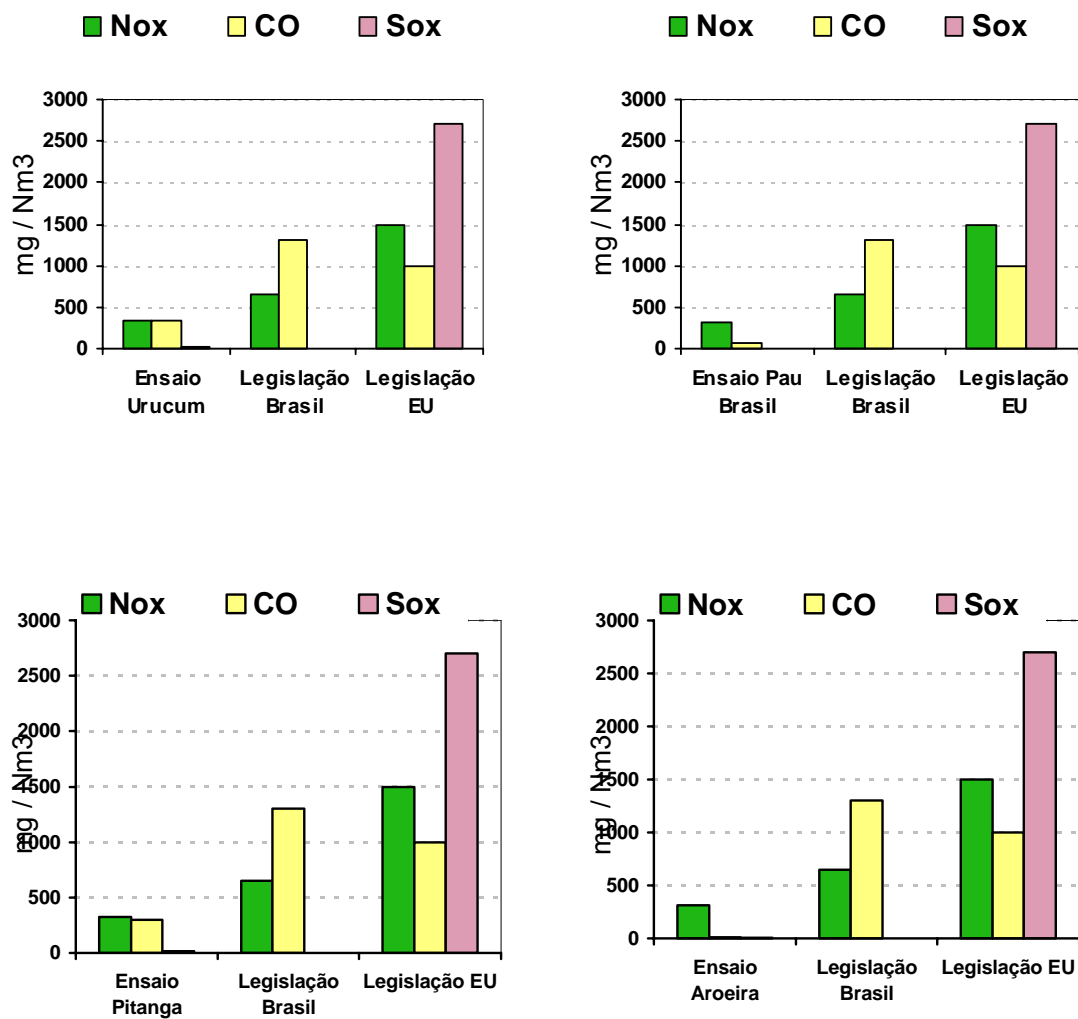


Figura 6.12 – Comparações dos valores médios das emissões gasosas com os VLE, valores corrigidas para 8% O₂.

Ao efectuar a comparação das emissões dos gases libertados nos ensaios da biomassa com as recomendações na Norma europeia e brasileira, eles situaram-se abaixo dos valores impostos, quando expressos em mg/Nm^3 , corrigidos para 8% de O_2 . Na figura 6.12, estão apresentadas as médias das emissões de gases respectivamente dos ensaios da biomassa das espécies Aroeira, Pau-brasil, Pitanga e Urucum comparadas com as Normas europeias e brasileira. Em todos os ensaios as médias apresentadas de NO_x , SO_x e CO mantiveram-se abaixo do que é imposto por lei. Na tabela 6.13 estão apresentadas as médias dos gases medidos, os valores limites das emissões na União europeia e brasileira e a comparação entre os valores encontrados em referencia Normais. Verifica-se que os valores obtidos nos ensaios foram sempre inferiores aos VLE das Normas. Quanto às emissões de SO_x , caso todo o S-biomassa fosse convertido em SO_x , mesmo assim os valores dos ensaios realizados com a biomassa encontrar-se-ão abaixo da recomendação imposta na Norma europeia.

Tabela 6.13 – Tabela resumo dos valores médios das emissões gasosas obtidas durante os ensaios com as biomassas, em (mg/Nm³), corrigidos para 8% de O₂.

	Aroeira			Pau-brasil			Pitanga			Urucum		
	No _x	So ₂	CO	No _x	So ₂	CO	No _x	So ₂	CO	No _x	So ₂	CO
MÉDIAS	314,46	4,55	11,76	327,80	14,37	300,44	313,68	3,15	58,50	337,71	12,93	328,17
VLE EU	1.500,00	2.700,00	1.000,00	1.500,00	2.700,00	1.000,00	1.500,00	2.700,00	1.000,00	1.500,00	2.700,00	1.000,00
VLE BRASIL	650,00	NA	1.300,00	650,00	NA	1.300,00	650,00	NA	1.300,00	650,00	NA	1.300,00
COMPARAÇÕES												
	Aroeira			Pau-brasil			Pitanga			Urucum		
	No _x	So ₂	CO	No _x	So ₂	CO	No _x	So ₂	CO	No _x	So ₂	CO
VLE EU	(@@@)	(@@@)	(@@@)	(@@@)	(@@@)	(@@@)	(@@@)	(@@@)	(@@@)	(@@@)	(@@@)	(@@@)
VLE BRASIL	(@@@)	NA	(@@@)	(@@)	NA	(@@@)	(@@)	NA	(@@@)	(@@)	NA	(@@@)

NA –VLE não atribuído
(@) Diferença inferior a 10% em relação a Norma.
(@@) Diferença entre 10% e 100% em relação a Norma.
(@@@) Diferença superior a 100% em relação a Norma.

6.1.6 CONVERSÃO ENERGÉTICA

Foi realizado o balanço energético, considerando-se, a energia inicialmente utilizada, através do poder calorífico inferior da biomassa ensaiada (INETI, 2004c; INETI, 2004d), os inqueimados encontrados na análise elemental das cinzas recolhidas, em cada ensaio, e o monóxido de carbono, CO, médio, emitido e monitorizado. Na análise elemental, das cinzas colectada nos ensaios, foi determinado o teor de carbono inqueimado. Esta análise está apresentada na tabela 6.14, para cada um dos ensaios. A eficiência da combustão foi calculada, não foi inferior a 99,6%, para todos os tipos de biomassa.

Tabela 6. 14 – Análise imediata das cinzas obtidas da combustão – base húmida

Método	Parâmetro % (m/m)	Biomassa Aroeira	Biomassa Pau-brasil	Biomassa Pitanga	Biomassa Urucum
ASTM D 5373	Carbono (C)	2,4	4,5	2,5	3,3
	Hidrogénio (H)	0,45	0,68	0,93	0,54
	Azoto (N)	0,1	0,13	0,12	0,16
ASTM D 4239	Enxofre (S)	2,06	1,33	0,88	1,68

6.1.6 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

6.1.6.1 TEMPERATURAS

Durante todos os ensaios com a biomassa, o controlo de temperatura do leito fluidizado foi mantida, de forma igual com um ajuste de temperatura média, em torno dos 800°C. Verificou-se, através dos dados contidos na tabela 6.9, que no ensaio com a biomassa do Pau-brasil a temperatura média do leito fluidizado apresentou uma variação, em relação à média dos valores obtidos de todos os ensaios, mais elevada cerca de 2,0%, o que poderá ser um reflexo do maior valor do PCI médio calculado para a mistura utilizada. No mesmo ensaio, do Pau-brasil, também foi observado uma maior temperatura média na câmara de combustão (freeboard), o que poderá ser também devido a uma maior taxa de materiais voláteis, em relação às outras biomassas ensaiadas. Também se verificou que no ensaio da biomassa do Urucum a temperatura média da câmara de combustão foi cerca de 0,22% mais elevado do que o valor médio das temperaturas da câmara ensaiadas, mesmo tendo um caudal de alimentação de biomassa menor, em relação as outras biomassa ensaiadas. Porém o PCI calculado da mistura foi um dos maiores, juntamente com o da biomassa do Pau-Brasil.

6.1.6.2 EMISSÕES SO_x

Durante a combustão com a biomassa, em presença de excesso de ar, o enxofre presente no combustível é principalmente convertido em SO_x (Anthony, E.J. et al., 1998; Zaugg, S.D. et al., 1989). Entretanto, nas cinzas da biomassa de resíduos florestais, detectou-se a presença de Cálcio (Ca) e/ou Potássio (K), que poderão capturar parte do SO_x, gerado, na forma de sulfatos (INETI, 2004d). Em ensaios com resíduos de madeira realizados no INETI (INETI, 2004d), o S-biomassa que se converteu em SO_x nos gases emitidos na combustão, representou cerca de 25% do total, e cerca de cerca de 70% encontrados nas cinzas do ciclone (INETI, 2003f). No actual trabalho, os ensaios com biomassa de resíduos florestais, apresentaram, para a biomassa da Aroeira, Pau-brasil, Pitanga e Urucum, respectivamente, fixação da ordem de 5%, 14%, 5% e 13%. Estes produtos foram encontrados nas cinzas

colectadas no ciclone nos ensaios da biomassa da Aroeira, Pau-brasil, Pitanga e Urucum, respectivamente, cerca de 4%,5%,4% e 5% do S-biomassa. A diferença apresentada nos ensaios para os balanços do S-biomassa pode deve-se em parte a presença de Cálcio (Ca) e Potássio (K) nas cinzas, assim como também a presença de cloro que na presença de humidade pode produzir SO₃ (INETI, 2006e), de acordo com a expressão abaixo indicada:



O produto SO₃ não é detectado pelo equipamento de monitorização utilizado. Outro facto que poderá ter influenciado, na baixa emissão de SO₂, seria alguma condensação no sistema de amostragem, figura 4.2, que consistia nalguns elementos, e num trecho de conduto não aquecido. Isto poderá ter permitido a existência de condensações e conversão do SO₂, em H₂SO₄. Numa operação em escala industrial, e no caso de uma directiva sectorial mais rígida nos valores das emissões de gases, do que aquelas indicadas neste trabalho, poder-se-ia fazer a retenção do SO₂ convertido, com a adição de cálcio ao leito fluidizado.

Verifica-se na tabela 5.6, que as taxas de S-biomassa analisada foram baixas. A maior e menor conversão de SO_x nos gases de emissões gasosas na combustão verificou-se nos ensaios da biomassa das espécies Urucum e Pitanga, respectivamente, correspondendo a uma maior e menor taxa de S-biomassa determinada nestas.

6.1.6.3 EMISSÕES NO_x

Em leito fluidizado para a combustão de carvão, a conversão do azoto do combustível em NO_x pode ser mantida abaixo dos 5% pelo correcto controlo da combustão (INETI, 2003f). Entretanto, durante a combustão de madeira, Leckner and Karlsson (Leckner, B. e tal., 1991), observaram um acréscimo da conversão do azoto do combustível em NO_x para cerca de 18%, quando foi usada somente a madeira. Neste trabalho foi determinado uma conversão do N-biomassa, nos gases emitidos pela combustão da biomassa de Aroeira, Pau-brasil, Pitanga e Urucum, respectivamente, de 3%, 2%, 3% e de 2%. Nas cinzas, foram encontrados valores menores que 0,1%, referentes ao valor do

N-biomassa. Estes resultados estão de acordo com pesquisas apresentadas para a biomassa do bagaço de azeitona, (cujo N-biomassa está na ordem de grandeza das encontradas para as biomassas ensaiadas), que apresentaram uma conversão percentual do NO_x das emissões dos gases de combustão de 4% em relação ao N-biomassa, ou seja, valores considerados normais e baixos (INETI; 2004d)

A alta eficiência obtida na conversão do “C” da biomassa e uma pequena parcela de “N” nas cinzas, permiti sugerir que cerca de 85 – 90% do N-biomassa tenha se convertido em N_2 , facto que está em concordância com pesquisas realizadas no INETI (INETI, 2004d).

Conforme tabela 6.11, foi observada uma maior conversão de NO_x nos gases de combustão nos ensaios das biomassas do Urucum e do Pau-brasil, o que está de acordo com a maior taxa de N-biomassa nestas espécies. A tecnologia de leito fluidizado apresenta, como uma das vantagens, a redução da formação nas emissões gasosas de NO_x .

6.1.6.4 EMISSÕES CO

As emissões de CO, mais elevadas no caso dos ensaios da biomassa do Pau-brasil e do Urucum, poderão ter resultado da irregularidade da alimentação da biomassa do reactor. Uma outra razão, foi a de que para um nível mais elevado de CO, poderá ter sido feito a adição de ar secundário mais frio, que, aparentemente, tem um efeito de arrefecimento parcial na oxidação do CO em CO_2 (INETI, 2004c).

Conforme se pode verificar tabela 6.11, as maiores emissões de CO, nos gases de combustão foram registados nos ensaios da combustão da biomassa das espécies Pau-brasil e Urucum. As biomassas usadas nestes ensaios foram, justamente, as que possuíam um maior PCI calculado, facto que indicia, a necessidade de um maior excesso de ar para efectuar a combustão completa.

7.0 CAPÍTULO VII

7.1 CONCLUSÕES

7.1.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

As conclusões mais importantes extraídas desta dissertação, procuram ser a expressão lógica dos parâmetros mais importantes evidenciados e discutidos. As conclusões foram agrupadas em função destes parâmetros.

7.1.1.1 EFEITO DAS ESPÉCIES DE BIOMASSA

- As espécies de biomassa analisadas, comparativamente, apresentaram, no que se refere a produção de energia, valores de conversão da biomassa em energia acima dos 99%: Considerando os valores do poder calorífico, os valores médios registados das emissões de CO e o teor de carbono inqueimado nas cinzas da combustão, estes valores mostraram-se coerentes com outros resultados, apresentados em publicações científicas (INETI, 2004c; INETI, 2004d).
- As diferenças para os valores de poder calorífico superior, base seca, encontrados entre as misturas de biomassa ensaiada, variaram entre os 14,45MJ/kg e os 15,29 MJ/kg, (variação de 5,5%). Estes valores mostram-se interessantes e suficientemente elevados para justificar o aproveitamento energético dos resíduos florestais da Mata Atlântica. A pequena variação, entre os valores do PCS, também indica, que para outras espécies deste Bioma, os valores dos PCS poderão se encontrar dentro desta faixa. Conclui-se que a biomassa, dos resíduos florestais da Mata Atlântica, apresenta características técnicas adequadas para o seu aproveitamento energético.
- Devido ao facto de experimentalmente se terem registado significativas diferenças nas emissões gasosas da combustão de acordo com a espécie ensaiada, indica a evidente necessidade de se proceder à análise elementar e de medir as cinzas, para o estudo de projectos de aproveitamento energético, destes tipos de resíduos florestais. O

objectivo será o de prevenir a formação de compostos químicos potencialmente agressivos do ambiente, ou que possam danificar a instalação. Embora existam diferenças nas emissões gasosas da combustão registadas, estas ficaram sempre abaixo dos valores máximos fixados pela legislação.

- Os teores médios de azoto, enxofre e cloro (N-biomassa, S-biomassa e Cl-biomassa) entre as misturas de biomassa ensaiada, (respectivamente 1,75; 0,29 e 0,15 % (m/m)), podem corresponder a variações atribuídas a características bióticas das espécies analisadas, bem como, à composição dos solos das regiões em que as mesmas foram recolhidas. Será igualmente importante proceder à análise elementar das amostras de biomassa, representativa da região, afim de se procurar desenvolver tecnicamente a melhor solução no aproveitamento energético dos resíduos florestais da Mata Atlântica.
- O Pau-Brasil foi, das misturas ensaiadas, a que apresentou o valor mais elevado do poder calorífico inferior, na base húmida, indicando uma maior capacidade, em comparação com as demais espécies, para o aproveitamento energético. É também a espécie, de entre as estudadas, que apresenta maior risco de extinção.
- As espécies vegetais estudadas indicam que os resíduos florestais da Mata Atlântica poderão ser utilizados em projectos de valorização energética. A valorização energética destes resíduos florestais, através de áreas utilizadas para os “Corredores de Biodiversidade”, com o auxílio dos projectos de mitigação de CO₂, através da reflorestação, poderá servir de vector para o desenvolvimento sustentável da região. Esse desenvolvimento se dará tanto ao nível tecnológico e ambiental, com a produção de energia através do uso das novas tecnologia de combustão menos agressiva ao ambiente – Leito Fluidizado; como ao nível social e económico, com a realização de projectos de mitigação do CO₂ previsto no Protocolo de Quioto.

7.1.1.2 UTILIZAÇÃO DA CALDEIRA DE LEITO FLUIDIZADO

- A utilização da caldeira de leito fluidizado, para combustão da biomassa das espécies seleccionadas, dos resíduos florestais da Mata Atlântica, apresentou um adequado desempenho ao nível energético, e ao nível das emissões dos gases de combustão. Os valores das emissões, para os gases controlados pela legislação europeia e brasileira, ficaram sempre abaixo dos valores limites.
- A utilização das novas tecnologias de combustão – Leito Fluidizado, em projectos de valorização energética dos resíduos florestais, como outros projectos de preservação ambiental, como os “Corredores de Biodiversidade”, mostra-se capaz de aproveitar a biomassa (Fonte Renovável de energia), para produção de energia, com um menor impacte ambiental, e além destes, incorporando outros benefícios ao nível social, económico e financeiro.

7.1.1.3 TEMPERATURA DO LEITO FLUIDIZADO

- A temperatura do leito fluidizado é um parâmetro fundamental, uma vez que determina a completa oxidação do combustível sólido e os teores dos principais gases poluentes emitidos na combustão. A temperatura e a fluidização do leito têm uma forte influência na eficiência da queima, na qualidade e quantidade dos gases de combustão emitidos para o ambiente. A fixação da temperatura nos ensaios, em cerca de 800°C, permitiu a total conversão da biomassa em energia, e manteve as emissões dos gases de combustão, controlados pela legislação, com os valores abaixo dos limites legais.

7.1.1.4 EXCESSO DE AR E DIVISÃO EM AR PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO

- O parâmetro excesso de ar, para valores dos 30%, conduziu a bons resultados ao nível da conversão energética e no controlo das emissões dos gases de combustão. Este parâmetro não foi alterado ao longo dos ensaios, embora o mesmo possa sofrer variações, numa produção em larga escala, que permita maximizar o aproveitamento energético e

conduzir a uma melhoria no controlo das emissões de gases da combustão ao nível da produção de alguns poluentes.

- A divisão do ar de combustão entre primário e secundário, favoreceu a oxidação das biomassa ensaiadas. A utilização de ar secundário, na câmara de combustão, foi recomendável uma vez que os altos teores médios de material volátil, base húmida, encontrado nas misturas utilizadas, foi de 61,8% (m/m), indicando a ocorrência de parte da oxidação na câmara de combustão, ou seja, acima do leito.

7.1.1.5 ANALISE IMEDIATA

- Dos resultados das análises imediatas realizados nas amostras de biomassa seleccionadas, poder-se-á concluir que o poder calorífico superior médio das espécies analisadas foi de $18,9\text{MJ.kg}^{-1}$, o que representa um alto valor para o aproveitamento energético. Os valores médios do material volátil e de carbono, base húmida, foi 61,8%(m/m) e 15,7%(m/m) respectivamente, sendo valores considerados bons para o uso em combustão em leito fluidizado. Desta forma, existe um forte potencial para o desenvolvimento de projectos em produção de energia através dos resíduos florestais da Mata Atlântica.

7.1.1.6 PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA

- A produtividade primária bruta da biomassa, calculada através dos métodos apresentados neste trabalho, para algumas regiões originalmente abrangidas pela Mata Atlântica, apresentou uma maior produção para as regiões mais ao norte do Brasil. Em todos os métodos houve a comprovação de uma maior produtividade em latitudes mais baixas, levando-se em consideração os aspectos climáticos associados às temperaturas médias, à evapotranspiração, à pluviosidade média, ao período vegetativo e do quociente entre radiações no pólo e na região.
- Os valores encontrados de produtividade primária bruta, para o modelo de Paterson, variaram entre os $9,1$ e $13,0 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, e para os modelos de Miami e Montreal variaram entre 2001 e $2381 \text{ g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$. Estes valores mostram-se coerentes com estudos realizados sobre a

produtividade primária bruta em varias regiões do planeta Chapman (Chapman, J.L. et al., 1992) que previu de $2000\text{g.m}^{-2}.\text{ano}^{-1}$, para a região costeira leste da América Latina.

7.1.1.7 EMISSÕES DE GASES

- Os baixos valores obtidos ao nível das emissões de gases poluentes provenientes da combustão, justificam a utilização da tecnologia de combustão em leito fluidizado aplicada à biomassa.

7.1.1.8 EFEITO DA HUMIDADE DAS AMOSTRAS

- Os teores médios de humidade encontrados (tabela 5.2) nas amostras das espécies de biomassa analisadas não apresentaram influência ao nível da conversão de energia, uma vez que o leito foi estabilizado para trabalhar numa gama de temperatura predefinida, auxiliada por uma fonte de energia externa. Contudo, os teores de humidade possuem particular importância, na medida em que, verificando-se maiores teores de humidade na biomassa, tal corresponderá a uma perda de eficiência na conversão energética.

8.0 CAPITULO VIII

8.1 SUGESTÕES PARA TRABALHO FUTURO

O trabalho a desenvolver no futuro, poderá ser realizado através de duas vertentes:

1) Estudos específicos de viabilidade técnico financeira para implantação de projectos de valorização energética através dos resíduos florestais da Mata Atlântica, com um planeamento voltado para o desenvolvimento das regiões e comunidades em causa.

- Elaboração de estudo com maior abrangência de espécies nativas da Mata Atlântica, afim de se determinarem valores médios mais representativos para a biomassa dos resíduos florestais.
- Elaboração de estudo para identificação das espécies nativas da Mata Atlântica que possuam crescimento vegetativo mais rápido.
- Analise da possibilidade de realização de misturas entre a biomassa dos resíduos florestais com a biomassa dos resíduos agrícolas e/ou resíduos de sobras dos produtos da Mata, como a sobra do bagaço de frutos, sobra de produtos do artesanato, sobras das extracções de ervas e resinas das regiões. Desta forma será favorável promover mecanismos de interligação das actividades florestais desenvolvidas, com a preservação da biodiversidade, e com a geração de energia, voltadas para o desenvolvimento sustentável da região e das comunidades envolvidas.
- Elaboração de estudo que possa determinar a relação de viabilidade técnico económica e financeira para implementação de projectos de valorização energética, para uso de calor, electricidade ou de ambas, através do aproveitamento dos resíduos florestais da Mata Atlântica, cuja biomassa seja de origem da implementação de um projecto de preservação, como os “Corredores de Biodiversidade”, para pequenas comunidades da região.

- Elaboração de estudo técnico que apresente a sazonalidade necessária e de menor impacto antropogênico à biodiversidade, para a retirada dos resíduos florestais proveniente de projectos de preservação, como os “Corredores de Biodiversidade”, da Mata Atlântica.
- Elaboração de estudo sobre a reposição de nutrientes ao solo, nas áreas que se façam a colheita dos resíduos florestais da Mata Atlântica, através do uso das cinzas resultante da combustão dos resíduos florestais.
- Aproveitamento dos resíduos florestais para implementação de projectos específicos de eficiência energética, tais como por exemplo da Cogeração.

2) Possibilidade de integração de projectos de valorização energética dos resíduos florestais da Mata Atlântica, com os mecanismos de desenvolvimento sustentável, para os países em desenvolvimento (Brasil), previsto no Protocolo de Quioto.

- Elaboração de estudo que possa permitir a utilização de projectos previstos no Protocolo de Quioto, ligados a mitigação de CO₂, com projectos de preservação ambiental, como os “Corredores de Biodiversidade” da Mata Atlântica, com outros de valorização energética dos resíduos florestais, afim de promover o desenvolvimento sustentável das regiões e comunidades abrangidas pelos projectos.

9.0 BIBLIOGRAFIA

Aguiar, I.B. et. al., 1993

Aguiar, I.B.; Pinã-Rodrigues, F.C.M.; Figliolia, M.B., Ano – 1993, Sementes Florestais Tropicais. Editora Abrates, Brasília, 350p.

Amaral, L. I. V., 1990

Amaral, L. I. V., Ano – 1990, Germinação e dormência em sementes em desenvolvimento e *Bixa orellana* L., aspectos fisiológicos e estruturais, Universidade Estadual de Campinas, pag. 122, Tese de Mestrado.

Anderson, D. et al., 1999

Anderson, D.; Roland, K.; Schreiner, P.; Skjelvik, J. M., Ano – 1999, “Designing a domestic GHG emissions trading system: the example of Norway”, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

ANELL

(a) ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil), Ano – 2005, Atlas de energia elétrica do Brasil, 2ª ed., Brasília, p 77-92.

(b) ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil), Ano – 2001, Levantamento do Potencial Real de Co-geração de Excedentes no Setor Sucroalcooleiro. Em São Paulo.

Anthony, E.J. et al, 1998

Anthony, E.J., Lu, Y., Ano - 1998, Proc. 27th International. Symposium. Combustion, pag. 3093.

Arouca, M. C et. al.,1983

Arouca, M. C.; Gomes, F. B. M.; Rosa, L. P., Ano – 1983, Estrutura da demanda de energia no setor residencial no Brasil e uma avaliação da energia para cocção de alimentos: área interdisciplinar de energia COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 36p. (Série de publicações – AIE 002/83).

Basu, P. et al., 1999

Basu, P.; Kefa, C.; Jestin; L.; Ano – 1999, Boilers and Burners, Design and Theory, Mechanical engineering series, Ed. Springer, pg. 302-344.

BEIL, S., 1999

Beil, S., Ano – 1999, Evolution and design of an emissions trading market of greenhouse gases. Paper presented at the 2nd Annual Emissions Trading Forum, pag. 30-31.

Bossel, H., 1994

Bossel, H. Umweltwissen: Daten, Fakten, Ano - 1994, Zusammenhaenge, Berlin, Springer Verlag, pg. 169.

Botterill, J. S. M, 1986

Botterill, J. S. M., Ano – 1986, Fluid bed heat transfer, Gas Fluidization Technology, ed. D. Geldart, Wiley, Chichester, capítulo 9.

Brito, J.O. et. al.,1991

Brito, J.O.; Deglise, X., Ano – 1991, States and potencial of using wood for energy in Brazil. Revue Forestière Française, Paris, nº 6, pag.175-79.

Bueno, E. 1998

Bueno, E., Ano – 1998, A viagem do descobrimento. Rio de Janeiro, Editora Objetiva, Coleção Terra Brasilis, vol. 1.

CE, 2005

Comissão Europeia, Ano – 2005, Directorate-General for Research, Community research, Biomass - Green energy for Europe, EU 21350.

CENBIO

(a) CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa (Brasil); Ano -2001, Levantamento do Potencial Real de Co-geração de Excedentes no Setor Sucroalcooleiro. Trabalho realizado para a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica e o MME – Ministério de Minas e Energia, São Paulo,.

(b) CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa; Ano – 2005, Guardabassi, P., Bolognini, M.F., Coelho, S.T., Policies for Electricity Generation from Biomass in Brazil: Current Situation and Proposal of More Efficient Policies.

CI

(a) CI – Conservação Internacional, Ano – 2000, Planejando Paisagens Sustentáveis – Mata Atlântica Brasileira, Centro para Pesquisa Aplicada à Biodiversidade Conservation International e Instituto de Estudos Sócio – Ambientais do Sul da Bahia.

(b) CI - Conservação Internacional, Ano – 2004, Mesquita, C. A. B., Um olhar sobre as reservas particulares dos Corredores de Biodiversidade central e da Serra do Mar, Belo Horizonte – Minas Gerais, M582r.

Chapman, J. L. et al., 1992

Chapman, J. L., Reiss, M. J., Ano – 1992, Ecology principles and applications. Cambridge University Press, pag. 294.

Coelho, S. T., 2002

Coelho, S. T.; Cristiano, O. S.; Consíglío, M.; Pisetta, M.; Monteiro, M. B., Ano – 2002, Projeto BRA/00/029 – Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL. Capacitação do Setor Elétrico Brasileiro em Relação à Mudança Global do Clima, Brasília.

EMBRAPA, 2006

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, endereço electrónico www.cnpms.embrapa.br/, acessado em 2006.

Engel, V.L. et. al., 1984

Engel, V.L.; Moraes, A.L.; Poggiani, F., Ano – 1984, Guia de localização e reconhecimento das principais espécies arbóreas do Parque da Esalq, Relatório de Pesquisa. FEALQ.

França, M. et al., 1973

França A. M., Ano – 1973, Potencialidade de crescimento dos povoamentos florestais, Secretaria de Estado da Agricultura, Direcção geral dos serviços florestais e agrícolas, Numero 268, Lisboa.

Grassi, G. et al., 1988

Grassi, G.; Palz, W., Ano – 1988, O futuro da biomassa na União Europeia. Álcool. & Açúcar, nº 76, p.28-34.

Greenpeace, 2004

Dossiê Energia Positiva para o Brasil, Greenpeace, Ano – 2004, pag. 52-60.

Goldemberg, J., 1998

Goldemberg, J., Energia, Ano – 1998, Meio Ambiente e Desenvolvimento, São Paulo, 2ª ed., Universidade de São Paulo, pag. 125.

Hall, D. O., 1991

Hall, D. O., Ano – 1991, Biomass energy and Energy Policy – Renewables, series, pag. 711-737, Editora.

IBAMA

(a) IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Ano – 2002, GEO Brasil 2002 – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil, Organizado por Thereza Christina Carvalho Santos e João Batista Drummond Câmara, Edições IBAMA.

(b) IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Ano – 2002, Ayres, J.M.; Fonseca, G.A.B.; Rylands, A.B.; Queiroz, H.L.; Pinto, L.P.S.; Masterson, D.; Cavalcanti, R., Abordagens inovadoras para conservação da biodiversidade do Brasil: Os corredores ecológicos das florestas neotropicais do Brasil. Projeto Parques e Reservas, versão 3.0, Brasília, DF.

IBGE

(a) IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Ano – 2004, Mapa Biomas do Brasil.

(b) IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Ano – 2004, Mapa vegetação do Brasil.

(c) IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Ano – 2004, Mapa Climas do Brasil.

IEA

(a) IEA – Agência Internacional de Energia, Ano 1997, Energy Technologies for the 21st Century.

(b) IEA – Agência Internacional de Energia, Benefits of bioenergy, Bioenergy: Exco: 2005, Ed. 01.

(c) IEA – Agência Internacional de Energia, World energy outlook, Ano 2004, Ed. 01.

INE, 2005

INE – Instituto Nacional de Estatística, Portugal, endereço electrónico www.ine.pt, acessado em 2006.

INETI

(a) Gulyurtlu, I., Cabrita, I., Franco, C., Mascarenhas, F., DEC, Ano – 1991, The use of forestry biomass for energy – combustion versus gasification in fluidized bed.

(b) Gulyurtlu, I., Cabrita, I., Costa, M.R., Esparteiro, H., DEC, Ano - 1991, The study of homogeneous and heterogeneous reactions involving N₂O and NO_x during fluidized bed combustion of coal particles.

(c) Gulyurtlu, I., Abelha, P., Cabrita, I., Lopes, H. , Ano - 2004, The burning of Biomass origin Waste Materials Using Fluidised Bed Technology, 2^o World Biomass Conf., Vol. II, pag.1275-1279.

(d) Gulyurtlu, I., Abelha, P., Cabrita, I., Lopes, H., Boavida, D. , Ano - 2004, Considerations for mixing Different Biomass Fuels and Non-Toxic Waste During Fluidised Bed Combustion, 2^o World Biomass Conf., Vol. II, pag. 1297-1300.

(e) Gulyurtlu, I., Crujeira, A.T., Abelha, P., Cabrita, I., Ano - 2006, Measurement of dioxin emissions during co-firing in a fluidised bed, pag. 3.

(f) Boavida, D., Abelha, P., Gulyurtlu, I., Cabrita, I., Fuel, Ano - 2003, Vol 82, pp. 1931.

(h) Gulyurtlu, I., Boavida, D., Abelha, P., Miranda, M., & Cabrita, I., Ano – 1999, Proc, 6th Int. Conf. On Circulating Fluidised Beds, DECHEMA.

INPE, 2000

INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (Brasil), endereço electrónico
<http://www.cptec.inpe.br>, acessado em 2006.

ISA, 2006

ISA – Instituto Sócio Ambiental, endereço electrónico
<http://www.socioambiental.org>, acessado em 2006.

Kunii, D. et al., 1969

Kunii, D.; Levenspiel. O., Ano - 1969, Fluidization Engineering, New York, Wiley.

Leckner, B. et al., 1991

Leckner, B.; Karlsson, M., Ano - 1991, Combustion and Flame, Vol. 85, pg. 94-104.

Lieth, H. et al., 1975

Lieth, H.; Whittaker, H., Ano – 1975, Primary Productivity of the Biosphere, Springer – Verlag New York Inc., pag. 237-263.

Lorenzi, H., 1992

Lorenzi, H., Ano – 1992, Árvores brasileiras – Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil, Nova Odessa. Ed. Plantarum, 352p.

Manfrinato, W., 1999

Manfrinato, W., Ano – 1999, “Mudanças Climáticas: ações e perspectivas para o novo milênio”, Revista – Qualidade de Vida, vol. 1, nº 6.

MAPA, 1931

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, Ano – 1931, Correa, M.P., Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas Cultivadas. Rio de Janeiro.

Mata, H.T.C. et. al., 2000

Mata, H. T. C., Souza, A. L., Ano 2000, Estimativa do consumo residencial de lenha num distrito do Estado de Minas Gerais, Brasil, Revista Árvore, Viçosa, nº 1, pag. 63-71.

McNeely, J.A., 1984

McNeely, J.A., Ano – 1984, Protected áreas are adapting to new realities. In: McNeely, J.A. e Miller, K.R. (eds.). National Parks, conservation, and development: the role of protected areas in sustaining society. USA, Smithsonian.

MCT, 2006

MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia, Efeito de Estufa e a Convenção sobre Mudança do Clima, Ano – 1999, endereço electrónico <http://www.mct.gov.br/clima/quioto/bndes.htm>, acessado em 2006.

MIEARN, 1993

MIEARN – Ministério da Indústria e Energia e do Ambiente e Recursos Naturais, Ano 1993, “Fixa os valores limites de concentrações de poluentes atmosféricos”, Portaria nº 286/93, de 12 de Março.

Miller, J.A. et al., 1999

Miller, J.A., Glaborg, P., Ano – 1999, Int. Journal Chemistry Kinetics, vol. 127, pag. 97.

MMA

(a) MMA – Ministério do Meio Ambiente do Brasil, endereço electrónico, <http://www.mma.gov.br/>, acessado em 2006.

(b) MMA – Ministério do Meio Ambiente do Brasil, Proposta de Resolução: Nº 008, Definição de Padrões de Emissão de Poluentes Atmosféricos por Fontes Fixas, Proposta aprovada na 26ª Câmara Técnica de Assuntos Jurídicos, em 03 de maio de 2006, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

MME, 2006

MME – Ministério de Minas e Energia (Brasil), Balanço Energético Nacional 2006: Ano base 2005, Empresa de Pesquisa Energética, 28p., endereço electrónico <http://www.epe.gov.br>.

Oliveira, A.D. et. al.,1998

Oliveira, A.D.; Leite, A.P.; Botelho, S.A.; Scolforo, J.R.S., Ano – 1998, Avaliação económica da vegetação de cerrado submetido a diferentes regimes de manejo e de povoamentos de eucalipto plantado em monocultivo. CERNE, v.4, n.1, pag. 34-56.

PQ, 1997

PQ – Protocolo de Quioto, Tratado Internacional estabelecido no âmbito da UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change

Revista N.G., 2004

Revista N.G., Ano – 2004, Revista National Geographic, Edição – Portugal, Março, pag. 2-22.

Sanderson, J. et al., 2003

Sanderson, J.; Alger, K.; Fonseca, G.A.B.; Galindo-Leal, C.; Inchausty, V.H.; Morrison, K., Ano – 2003, Biodiversity conservation corridors: planning, implementing, and monitoring suitable landscapes. Conservation International, Washington, DC,.

Schultz, J., 1995

Schultz, J. Die Oekozonen der Erde.20 Ed. Stuttgart: Ulmer, Ano - 1995, pag 535.

Siqueira, J.O.,1994

Siqueira, J.O., Ano – 1994, Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental. Brasília: EMRAPA-SPI, pag.7-81.

SOS M.A. et. al.

(a) SOS M.A. – Fundação SOS Mata Atlântica, Fundação Biodiversitas, Instituto de Pesquisas Ecológicas, Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, SEMAD/Instituto Estadual de Florestas-MG., Ano – 2000, Avaliação e acções prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos/por: Conservation International do Brasil, 40p. Edição: Heleine Heringer e Magda Maciel Montenegro.

(b) SOS Mata Atlântica – Fundação SOS Mata Atlântica, INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais (Brasil), Ano 2006, Atlas dos Remanescentes Florestais de Mata Atlântica.

(c) SOS Mata Atlântica – Fundação SOS Mata Atlântica, endereço electrónico (<http://www.sosmatatlantica.org.br>), Observatório Parlamentar Mata Atlântica; acessado em 2006.

Tolmasquim, M. T., 2004

Tolmasquim, M. T., Ano – 2004, Fontes Renováveis de Energia no Brasil, Rio de Janeiro: COPPE, CENERGIA.

UMA, 2006

UMA – Universidade Livre da Mata Atlântica, endereço electrónico <http://www.wwiuma.org.br>, acessado em 2006.

UNFCCC, 2006

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change, endereço electrónico, <http://unfccc.int/2860.php>, acessado em 2006.

Zaugg, S.D. et al., 1989

Zaugg, S:D:, Blackham, A.U; Hedman, P:O; Smoot, L:D., Ano – 1989, Fuel, Vol. 68, pag. 346.