
Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Grupo de Disciplinas Ecologia da Hidrosfera

MBE
MESTRADO EM BIOENERGIA

**Análise do balanço entre sequestro e emissão de CO₂
resultante do circuito de produção e consumo de biomassa
florestal numa central de co-geração**

MARIA TERESA CÂNDIDO DA SILVA

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

Orientadores: Professor Doutor Nuno Lapa (FCT-UNL)
Professor Doutor Carlos Alegria (IST-UTL)

LISBOA
2009

Agradecimentos

Ao Prof. Nuno Lapa, pela disponibilidade na orientação da tese, pelo acompanhamento, interesse e dedicação na concretização deste trabalho.

Ao Professor Carlos Alegria, pela motivação, incentivo e pela disponibilidade manifestada durante a orientação do presente estudo.

À Eng.^a Fátima Matos, pela colaboração e interpretação dos resultados obtidos neste estudo.

Ao Eng. Fernando Martins, pela atenção e auxílio na realização do trabalho.

Aos meus Pais por acreditarem e transmitirem a importância do estudo e da dedicação a cada tarefa que desempenhamos.

Ao Pedro, pela paciência, pelos fins-de-semana sacrificados, pela experiência e insistência na dedicação à tese.

Índice Geral

	Pág.
Agradecimentos	ii
Resumo	ix
Abstract	x
Abreviaturas	xi
Introdução	1
1. Enquadramento	3
1.1 A problemática do consumo de energia	3
1.2 Consumo de energia na Europa	5
1.3 Consumo de energia em Portugal	5
1.4 A produção de energia e as alterações climáticas	6
1.5 A Política Energética da UE	10
1.5.1 A biomassa no contexto da UE	11
1.6 A Política Energética em Portugal	13
1.6.1 A biomassa em Portugal	18
1.6.2 As centrais de biomassa	19
2. A Biomassa Florestal como Sumidouro de CO₂	26
2.1 A Biomassa	26
2.2 A biomassa florestal como combustível	31
2.3 Origens da Biomassa Florestal Primária	35
2.4 Disponibilidade de biomassa florestal em Portugal	37
2.4.1 Disponibilidade de biomassa florestal na área em estudo	41
2.5 Tipos de Biomassa	47
2.5.1 Propriedades e parâmetros da BFP	48
2.6 BFP como sumidouro de CO ₂	55
3. Emissões dos Processos de Produção e Logística de	63
3.1 Tecnologias de aproveitamento da biomassa nas florestas	63
3.1.1. Recolha e transporte de biomassa nas matas	64
3.1.2. Processamento da biomassa no local	65
3.1.3. Parques de pré-tratamento	66
3.1.4. Enfardamento da biomassa	67
3.1.5. Aproveitamento da árvore inteira	67
3.1.6. Aproveitamento de cepos	69

3.2 Metodologia de contabilização de emissões	70
3.3 Cálculo das emissões de cada operação	74
3.3.1 Recolha de Biomassa de Exploração Florestal – Ramas, Folhas e Bicadas	74
3.3.2 Recolha de Biomassa Lenhosa – Rolaria Pinho	77
3.3.3 Recolha de Biomassa Lenhosa – Rolaria Eucalipto	79
3.3.4 Recolha de Biomassa Lenhosa – Cepos Eucalipto	81
4. Emissões no processo de produção de energia a partir de biomassa	85
4.1 A caldeira de Biomassa	86
4.2 Os consumos no Centro Fabril (ano de 2008)	89
4.3 Contabilização das emissões no Centro Fabril	91
4.3.1 Metodologia de cálculo	91
4.3.2 Cálculo das emissões pelos dados de actividade	94
4.3.3 Cálculo das emissões da biomassa a partir de medições	98
5. Balanço de CO₂	101
5.1 Balanço de CO ₂ por tipo de biomassa	101
5.2 Balanço anual de CO ₂ da biomassa florestal exterior	106
6. Conclusões	107
Bibliografia	110
Anexos	

Índice de Figuras

Capítulo 1.

Figura 1. Evolução do consumo de energia eléctrica a nível mundial	3
Figura 2: Origem da energia eléctrica consumida pela economia mundial em 2005.	4
Figura 3: Reservas de recursos e consumo de energia a nível mundial	4
Figura 4. Produção de energia eléctrica em Portugal	6
Figura 5: Evolução da concentração de CO ₂ na atmosfera ao longo dos anos	7
Figura 6. Questões-chave envolvidas no futuro da energia	8
Figura 7: Evolução da contribuição do sector da biomassa na produção de energia	13
Figura 8. Evolução das emissões de gases de efeito de estufa	16
Figura 9. Concurso de centrais de biomassa	20
Figura 10. Localização actual e futura das centrais de biomassa	21
Figura 11: Potência total disponível para centrais de biomassa florestal	22
Figura 12. Evolução do processo de construção e licenciamento das centrais de biomassa	23

Capítulo 2.

Figura 13. O Ciclo do Carbono	27
Figura 14. Previsão de produção de electricidade por fonte em (TWh)	28
Figura 15. Percentagem de utilização de biomassa como matéria-prima/energia em diversos sectores	29
Figura 16. Estrutura química da Lenhina, Hemicelulose e Celulose	32
Figura 17. Constituição percentual da biomassa florestal	33
Figura 18. A produção de biomassa no ciclo de produção florestal	35
Figura 19. Desbastes com triagem da madeira e dos sobrantes	36
Figura 20. Área de potencial recolha de biomassa para a central	44
Figura 21. Fracções de aproveitamento de uma árvore	47

Figura 22. Distribuição percentual de cada fracção numa árvore	48
Figura 23. O efeito do teor de humidade no poder calorífico da biomassa	49
Figura 24. Casca de pinho (A) e casca de eucalipto (B) triturada	51
Figura 25. Biomassa Exploração Florestal triturada de pinho (A) e eucalipto (B)	52
Figura 26. Estilha de pinho (A) e estilha de eucalipto (B)	52
Figura 27. Biomassa Lenhosa - Cepos de Eucalipto Triturado	53
Figura 28. Produtividade Primária Líquida para o pinhal e eucaliptal	58
Figura 29. Carbono fixado para o pinhal e para o eucaliptal	60
Capítulo 3.	
Figura 30. Recolha de sobrantes florestais	65
Figura 31. Trituração de sobrantes florestais na mata	65
Figura 32. Trituração de sobrantes florestais em parque (A) trituração facas; (B) trituração martelos	66
Figura 33. Enfardamento de biomassa (A) enfardamento (B) colocação em pilha (C) transporte de fardos	67
Figura 34. Aproveitamento de árvore inteira (eucalipto ardido) (A) <i>feller-buncher</i> (B) <i>skidder</i> (C) trituração com facas	68
Figura 35. Aproveitamento de árvore inteira (pinheiro manso) (A) <i>feller-buncher</i> (B) trituração móvel	69
Figura 36. Aproveitamento de cepos (A) arranque de cepos (B) trituração de cepos (C) separação inertes	70
Capítulo 4.	
Figura 37. Organigrama da central de grelha da unidade fabril	87

Índice de Quadros

Capítulo 1.

Quadro1. Metas indicativas para a produção de energia eléctrica a partir das FER.	14
Quadro 2: Potencial disponível de resíduos da floresta e da transformação da madeira (ITM), para produção de energia	24
Quadro 3: Previsão de consumo de biomassa em 2010	24

Capítulo 2.

Quadro 4. Processos de conversão de biomassa em produtos energéticos	34
Quadro 5. Áreas Florestais por Espécies (10 ³ ha), Portugal Continental	39
Quadro 6. Estudos de potencial de Biomassa Florestal em Portugal (Mt/ano)	40
Quadro 7. Utilização da madeira de pinho por diâmetro	41
Quadro 8. Produtividade média do pinheiro bravo para a região centro-litoral	42
Quadro 9. Biomassa anual produzida em povoamentos de pinheiro bravo na região centro-litoral	42
Quadro 10. Produtividade média de eucalipto para região centro	43
Quadro 11. Biomassa anual produzida em povoamentos de eucalipto	44
Quadro 12. Disponibilidade anual de biomassa para Pinheiro bravo	45
Quadro 13. Disponibilidade anual de biomassa para Eucalipto	45
Quadro 14. Características básicas dos vários tipos de biomassa	54
Quadro 15. Teor de carbono da biomassa seca de pinho e eucalipto	59

Capítulo 3.

Quadro 16. Factores de emissão	73
Quadro 17. Consumo e produtividade na recolha e processamento de ramas e bicadas na mata por operação e por máquina	75
Quadro 18. Consumo de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de ramas e bicadas em bioparque	76

Quadro 19. Consumo de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de fardos em bioparque	77
Quadro 20. Consumo de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de rolaria de pinho na mata	78
Quadro 21. Consumo de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de rolaria de pinho em bioparque	79
Quadro 22. Consumo de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de rolaria de eucalipto na mata	80
Quadro 23. Consumo de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de rolaria de eucalipto em bioparque	81
Quadro 24. Consumo de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de cepos de eucalipto na mata	82
Quadro 25. Quadro comparativo das metodologias de recolha e processamento de cada tipo de biomassa, relativamente aos consumos e emissões	83
Capítulo 4.	
Quadro 26. Consumos totais e mensais de biomassa e fuel-óleo referente ao ano de 2008	90
Quadro 27. Valor calorífico, factores de emissão e oxidação	93
Quadro 28. Emissões de CO _{2eq} da caldeira provenientes de diferentes tipos de biomassa e fuel-óleo, para o ano de 2008	95
Quadro 29. Emissões de CO _{2eq} fóssil, não-fóssil e total (fuel-óleo + biomassa) da unidade fabril referente ao ano de 2008	97
Quadro 30. Valores estatísticos da caldeira de biomassa no ano de 2008	98
Capítulo 5.	
Quadro 31. Quantidades, emissões e proveniência de cada tipo de biomassa florestal consumida na central	102
Quadro 32. Dados base para o cálculo do balanço de CO _{2eq} de cada tipo de biomassa florestal	103
Quadro 33. Estimativa de área de produção e capacidade de sequestro relativa à quantidade de biomassa consumida na unidade fabril no ano de 2008	104

Resumo

A satisfação das necessidades crescentes de energia, a escassez dos combustíveis fósseis e as alterações climáticas têm potenciado a procura de fontes alternativas de energia.

A biomassa é uma importante fonte renovável de produção de energia, para a produção de combustíveis, calor ou electricidade, dado que a sua queima devolve à atmosfera o CO₂ retido pelas plantas e árvores, que mantêm o ciclo do carbono atmosférico em equilíbrio, através da reabsorção deste CO₂. Este ciclo de carbono “zero” ou neutro pode ser repetido indefinidamente, desde que a biomassa seja permanentemente regenerada.

Este princípio verifica-se desde que não sejam contabilizadas emissões de CO₂ de origem fóssil provenientes dos processos de produção e transporte de biomassa.

Este estudo visa analisar o balanço entre o carbono sequestrado da atmosfera e o impacto das emissões de CO₂ resultante dos processos de recolha e processamento de biomassa e da sua posterior queima para produção de energia em conjunto com o combustível auxiliar.

O presente trabalho centrou-se na região Centro-Norte do país, adoptando, como caso de estudo, as operações de fornecimento de biomassa numa central de co-geração, relativamente ao ano de 2008.

Os resultados obtidos permitem concluir que a recolha de biomassa florestal e o seu processamento contribuem para o aumento das emissões de CO₂, nomeadamente de origem fóssil, para a atmosfera, adulterando a premissa de ciclo de carbono neutro da biomassa florestal. A necessidade de adição de um combustível fóssil auxiliar, no processo de queima, agrava esta contribuição.

Palavras-Chave: energia renovável; biomassa florestal; ciclo neutro; dióxido de carbono (CO₂); processos de produção biomassa; balanço de emissões; co-geração.

Abstract

The satisfaction of growing demand of energy with the depletion of fossil fuels and the climate change heightens the use and development of alternative renewable energy sources.

Due to its potentially neutral carbon cycle, biomass will play a major role in energy, heat and fuel production. The use of biomass as an energy source returns to the atmosphere the CO₂ once held by plants and trees. Therefore, this specific carbon cycle shall only remain neutral as long as the equivalent biomass is permanently restored back in nature.

However, the biomass carbon cycle can only be considered neutral if the fossil CO₂ is not contemplated in the emissions coming from biomass transformation and transportation.

This thesis pretend to analyze the balance between stored carbon and carbon emissions resulting from all operations required to use biomass, namely its collection, transformation and burning, combined with auxiliary fuel.

The present thesis was based on the Mid-Northern region of Portugal, focusing on a co-generation biomass power plant, by using data from the year of 2008.

The results obtained allow to conclude that biomass transformation and transportation further increase CO₂ emissions, namely from fossil source, into the atmosphere, thus compromising the assumption of a biomass neutral carbon cycle. The additional carbon emissions of burning auxiliary fossil fuel strongly influence these balance.

Key-words: renewable energy sources; forest biomass; neutral carbon cycle; carbon dioxide (CO₂); biomass production processes; emissions balance; co-generation

Abreviaturas

AFN	Autoridade Florestal Nacional
AEA	Agência Europeia do Ambiente
AEE	Agência Europeia de Energia
AIE	Agência Internacional de Energia
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
BS	Base Seca
BF	Biomassa Florestal
BFP	Biomassa Florestal Primária
CH ₄	Metano
C	Carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CDR	Combustível Derivado de Resíduos
DGGE	Direcção Geral e Energia e Geologia
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FER	Fonte de Energia Renovável
GEE	Gases com Efeito de Estufa
IFN	Inventário Florestal Nacional
Mt	Milhões de toneladas
Mtep	Milhões de toneladas equivalentes de petróleo
NH ₃	Amónia
N	Azoto
N ₂ O	Óxido nitroso
NO _x	Óxidos de azoto
O	Oxigénio
PCS	Poder Calorífico Superior
PCI	Poder Calorífico Inferior
PRE	Produtores em Regime Especial
RCM	Resolução de Conselho de Ministros
S	Enxofre
SO ₂	Dióxido de enxofre

Introdução

A procura de energia tem aumentado e, conseqüentemente, a sua produção tem vindo igualmente a sofrer um aumento ao longo dos anos, principalmente no que respeita à energia eléctrica. A energia eléctrica, consumida em todo o mundo, provém, fundamentalmente, da queima de combustíveis fósseis (carvão mineral e gás natural), cujas reservas energéticas estão longe de fazer frente a este consumo crescente.

Constata-se, para além disso, que o sector energético é responsável por diversos impactes ambientais. As alterações climáticas surgem como o impacte mais significativo, traduzindo-se numa grave ameaça para o ambiente a nível global. Neste sentido, observa-se que o clima tem sofrido uma grave influência, causada por mudanças nas concentrações atmosféricas de diversos gases que capturam a radiação infravermelha da superfície da Terra (“efeito de estufa”).

A racionalização dos consumos, o aumento da eficiência energética e a utilização de fontes renováveis surgem, então, como objectivos a atingir a curto e médio prazo, na tentativa urgente de solucionar este problema complexo.

A biomassa constitui uma fonte renovável de produção de energia, para a produção de electricidade, calor ou combustível, sendo muito variado o leque de produtos utilizáveis para este fim, oriundos em larga medida da actividade agrícola, silvícola, e respectivas fileiras industriais. O aproveitamento da biomassa florestal constitui uma das prioridades, não só no âmbito energético, mas também na minimização do risco de incêndios florestais.

As plantas e as árvores removem o dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera e convertem-no em compostos orgânicos que constituem as suas estruturas, através do processo da fotossíntese. A queima de biomassa na produção de energia eléctrica devolve à atmosfera o CO₂ retido. O crescimento de novas plantas e árvores mantém o ciclo do carbono atmosférico em equilíbrio, através da reabsorção deste CO₂. Este ciclo de carbono “zero” ou neutro pode ser repetido indefinidamente, desde que a biomassa seja regenerada nos próximos ciclos e colhida para utilização.

No entanto, este ciclo neutro sofre uma distorção, quando são incorporadas as emissões de origem fóssil dos processos de produção e transporte de biomassa, bem como, as emissões dos combustíveis auxiliares da queima de biomassa.

No sentido de aferir qual o impacto destas emissões, foram recolhidos dados para a análise do balanço de emissões. Tendo como base um estudo sobre o sequestro de carbono realizado pela Universidade de Trás-os-Montes, efectuou-se a observação e contabilização das emissões de várias técnicas de recolha de biomassa na região Centro-Norte de Portugal, para as espécies de eucalipto e pinheiro bravo, predominantes nesta região. Os valores das emissões resultantes da queima de biomassa foram recolhidos numa central que efectua a co-geração numa caldeira de grelha.

O presente trabalho encontra-se dividido em seis capítulos distintos, onde são abordados os seguintes temas: 1. Enquadramento; 2. A biomassa florestal como sumidouro de CO₂; 3. Emissões dos processos de produção e logística associada; 4. Emissões no processo de produção de energia a partir de biomassa; 5. Balanço material; 6. Conclusões.

1. Enquadramento

1.1 A problemática do consumo de energia

A partir do século XIX, durante a revolução industrial, deu-se início a um elevado consumo de energia. Até então, a madeira era o principal recurso para produção de vapor, mas foi rapidamente substituída pelo carvão e por outros combustíveis fósseis, na medida em que estes permitiam obter rendimentos superiores (Costa, 2006). Hoje em dia, os combustíveis fósseis são a fonte de energia mais utilizada para produção de energia a nível global.

Devido à importância que a energia tem na qualidade de vida das populações, a procura de energia tem-se tornado cada vez maior, e conseqüentemente a sua produção tem vindo igualmente a aumentar ao longo dos anos, principalmente no que respeita à energia eléctrica.

A **Figura 1** apresenta a evolução do consumo de energia eléctrica a nível mundial.

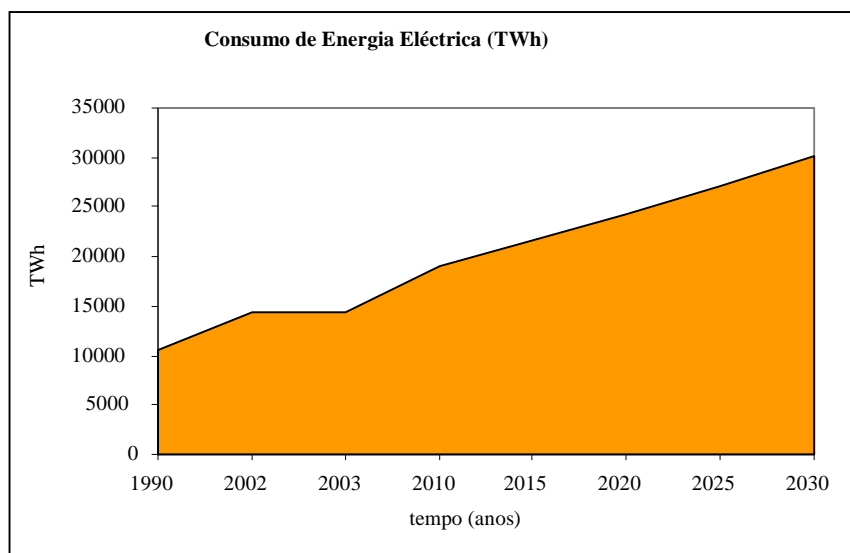


Figura 1. Evolução do consumo de energia eléctrica a nível mundial (AIE, 2006)

Cerca de dois terços (66,1%) da energia eléctrica consumida em todo o mundo provêm da queima de combustíveis fósseis (carvão mineral e gás natural), sendo que quase 40% do total é obtido a partir de carvão mineral, como mostra a **Figura 2**.

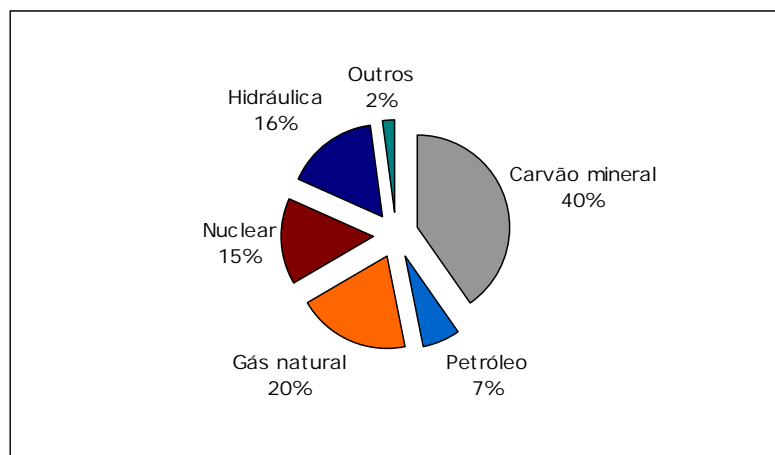


Figura 2: Origem da energia eléctrica consumida pela economia mundial em 2005. (AIE, 2007)

Além do acréscimo do consumo de energia verificado nos últimos anos, a nível mundial, tem-se tornado evidente que as reservas energéticas estão longe de fazer frente a este consumo exagerado (ver **Figura 3**). As reservas energéticas relativas a combustíveis fósseis tornaram-se, nas últimas décadas, a nível mundial, uma crescente preocupação para os países desenvolvidos.

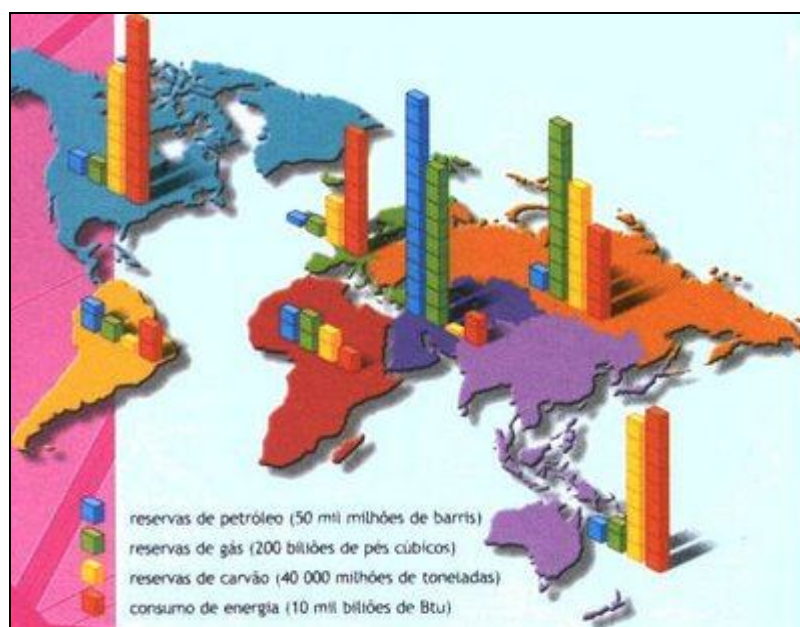


Figura 3: Reservas de recursos e consumo de energia a nível mundial (AIE, 2007)

1.2 Consumo de energia na Europa

A União Europeia é considerada, actualmente, como um dos maiores consumidores de energia do mundo, sendo os combustíveis fósseis a sua principal fonte para produção de energia. Este facto tem-se traduzido numa crescente preocupação, principalmente no que respeita à satisfação das necessidades energéticas, por parte dos países desenvolvidos.

Segundo a Agência Europeia do Ambiente, os 25 Estados-Membros da União Europeia (UE-25) constituem um grupo que é o segundo maior consumidor de energia do mundo. A necessidade de energia primária cresceu, em média, cerca de 0,8% entre 1990 e 2003, apresentando um crescimento acelerado nos últimos anos. Relativamente a esta necessidade de energia, em 2003, o petróleo representava mais de 38%, o gás natural cerca de 24%, a energia nuclear menos de 15 % e, por fim, o carvão tinha um peso de cerca de 18%. No que respeita à energia produzida através de fontes renováveis, o seu consumo primário cresceu cerca de 8,4% entre 2002 e 2003 (DGGE, 2006).

1.3 Consumo de energia em Portugal

Actualmente, Portugal é um país fortemente dependente de recursos energéticos importados, em valores que atingem cerca de 85% da energia primária, expressa quase na sua totalidade em combustíveis fósseis.

No final de 2007, a potência total instalada era cerca de 14 041 MW, repartidos por centrais termoeléctricas, cuja potência era de 5 820 MW, centrais hidroeléctricas com 4 582 MW e centrais de recursos renováveis, cuja potência era de 3 639 MW (REN, 2008).

A produção bruta de energia eléctrica em 2007, no valor de 50 590 GWh/ano, era assegurada pelo funcionamento das várias centrais, cabendo às térmicas 46,3% do abastecimento do sistema pela queima de combustíveis fósseis. A restante produção de energia era satisfeita pela produção de origem hídrica (18,8%) e por outras fontes (20,1%), tais como a energia da biomassa, a energia eólica, a energia geotérmica e a energia fotovoltaica (REN, 2008). Na **Figura 4** está representada a distribuição das diversas fontes de produção de energia eléctrica.

Nesta análise exclui-se a bombagem na produção hídrica e os resíduos sólidos urbanos considerados não renováveis. O total de energia produzida em 2007 corresponde à produção bruta de energia eléctrica + saldo importador.

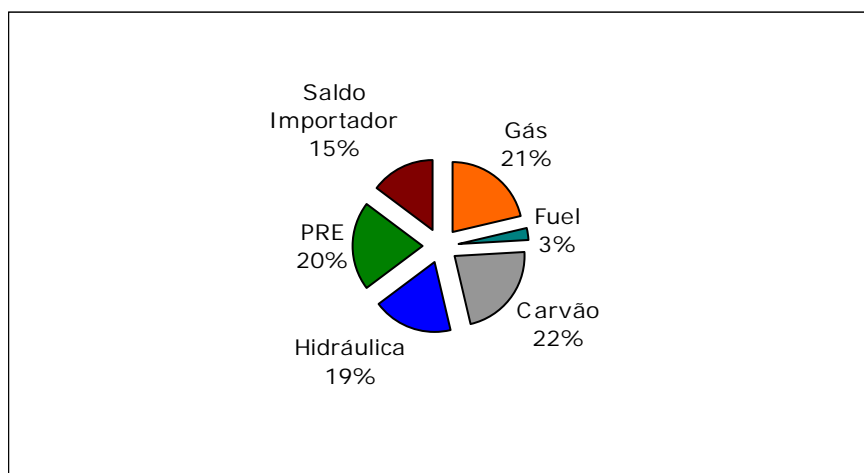


Figura 4. Produção de energia eléctrica em 2007 em Portugal (REN, 2008)

O parque de centrais térmicas tem vindo a crescer principalmente pela construção de centrais a gás natural, e no âmbito das renováveis, é destacado o desenvolvimento da grande hídrica e da energia eólica.

1.4 A produção de energia e as alterações climáticas

Actualmente, o sector energético é responsável por diversos e significativos impactes ambientais, sobretudo os associados à actividade de produção, nomeadamente as emissões atmosféricas.

Segundo um relatório da ERSE, realizado em 2000, no âmbito do estudo dos impactes ambientais do sector energético, é importante focar o estudo dos problemas ambientais originados não só durante a produção de energia, mas também considerar os impactes originados durante todo o ciclo de vida da tecnologia associada a essa produção. Devem assim ser tidas em conta as fases de instalação da indústria, de extracção e transporte dos recursos e processamento dos materiais.

As alterações climáticas surgem como o impacte mais significativo, traduzindo-se numa grave ameaça para o ambiente a nível global. Neste sentido, observa-se que o clima tem sofrido uma grave influência, causada por mudanças nas concentrações

atmosféricas de diversos gases que potenciam o “efeito de estufa”. O vapor de água e o dióxido de carbono (CO₂), para além de outros gases como o metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e compostos halogenados, são os principais responsáveis pelo aumento exagerado do efeito de estufa (ERSE, 2000).

A queima de combustíveis fósseis, originando emissões de CO₂, é, hoje em dia, a principal causa do efeito de estufa. A concentração atmosférica do CO₂ é continuamente medida desde a década de 50 e juntamente com outros dados, demonstra-se um aumento contínuo (ver **Figura 5**): estima-se que a concentração pré-industrial terá sido de cerca de 280 ppm, enquanto que em 1990 essa concentração terá sido de 360 ppm e, em 2050, poderá atingir um valor de 560 ppm.

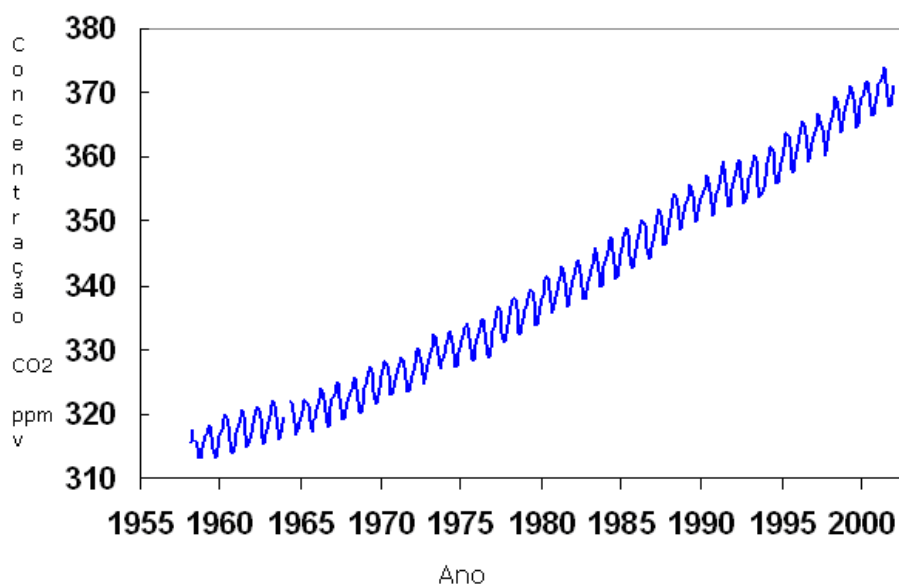


Figura 5: Evolução da concentração de CO₂ na atmosfera ao longo dos anos (<http://earthobservatory.nasa.gov>)

Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), as emissões de CO₂, relacionadas com a produção de energia, deverão aumentar cerca de 1,7% por ano, entre 2002 e 2030. Estima-se que estas emissões atinjam, em 2030, o valor de 38 mil milhões de toneladas, o que representa um aumento de 62% em relação aos níveis apresentados em 2002. Neste aumento tendencial, o carvão representa cerca de 33% (AIE, 2004).

Outro aspecto importante a ter em conta são as emissões de dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de azoto (NO_x) e amónia (NH₃), provenientes da utilização de

combustíveis fósseis, nomeadamente o carvão, para a produção de energia eléctrica. A conversão destes compostos, na atmosfera, em ácidos de enxofre e azoto e o seu transporte para os compartimentos solo e águas continentais leva à sua acidificação e eutrofização (ERSE, 2000).

Por força das alterações climáticas a nível global e das previsíveis turbulências nos mercados de aprovisionamento de combustíveis fósseis, devidas à volatilidade de preços, incertezas nos equilíbrios geopolíticos e riscos de esgotamento destas fontes de energia primária, impõe-se a adopção de soluções que garantam maior eficiência no uso da energia e apostem no aproveitamento de fontes de energia renováveis.

A **Figura 6** esquematiza as questões-chave relacionadas com a problemática da produção de energia, na actualidade, e os principais desafios para atingir a sustentabilidade.

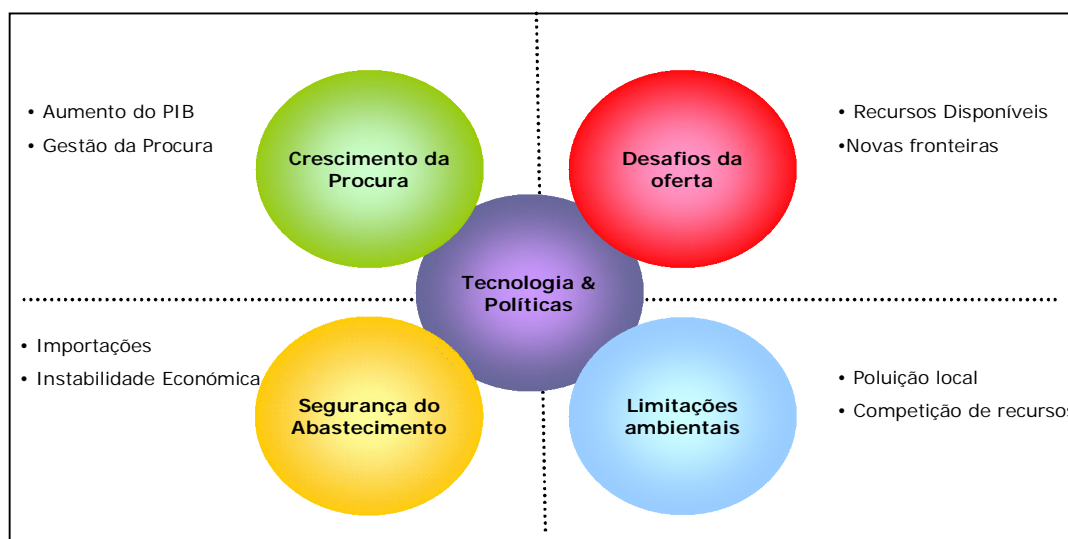


Figura 6. Questões-chave envolvidas no futuro da energia (Cabrita, I., *et al*, 2006)

O crescimento dos consumos de energia, num contexto de desenvolvimento sustentável, tem obrigado os países à formulação de políticas e à aplicação de estratégias de acção no domínio da oferta e da procura de energia cujos resultados, nos próximos 10-30 anos, constituirão importantes rupturas tecnológicas e necessariamente padrões de utilização da energia mais racionais, relativamente à situação actual.

Os resultados obtidos na Conferência do Rio, em 1992, na Convenção das Alterações Climáticas e nos acordos do Protocolo de Quioto, em 1997, contribuíram de uma forma relevante para a sensibilização da sociedade no que diz respeito aos impactes do consumo de energia, directamente relacionados com as suas emissões de gases com efeito de estufa (GEE), um dos principais factores responsáveis pelo aquecimento global e consequente alteração climática.

O Protocolo de Quioto estabeleceu metas mundiais e nacionais para a emissão deste tipo de gases. A ratificação deste protocolo pelos Estados Membros da UE levou à adopção de políticas comuns de redução de emissões de CO₂, bem como à criação de um Sistema de Comércio Europeu de Emissões (CELE – Comércio Europeu de Licenças de Emissão).

A Directiva Comunitária das Emissões de GEE estabelece, para a Europa, a meta de redução em 8% das emissões de GEE no período 2008-2012 (coincidente com o período de cumprimento do Protocolo de Quioto), em relação aos valores de 1990. O esforço de redução das emissões de GEE deve ser efectuado, em primeira instância, à custa da redução das emissões por parte do sector da indústria, energia e transportes, que são os principais emissores destes gases. Outras oportunidades de controlar as emissões deverão ser estudadas, como por exemplo, a maximização do serviço de sumidouro de carbono pelas florestas.

No Protocolo de Quioto estão contemplados três Mecanismos de Flexibilidade para as licenças de emissões entre os países:

- 1 - Comércio de Emissões - Transacção de créditos de emissão entre Estados;
- 2 - Implementação Conjunta - Possibilidade de transferência de quotas de emissão, entre países com objectivos quantificados, por via da concretização de projectos - públicos ou privados - que contribuam para a redução de emissões;
- 3 - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - Possibilidade de obtenção de créditos de emissão, por via da concretização de projectos - públicos ou privados - que contribuam para a redução de emissões em países em vias de desenvolvimento.

Os artigos 3.3, 3.4, 6 e 12, do Protocolo de Quioto, referem especificamente a possibilidade de contabilizar o crescimento das florestas no balanço líquido nacional de GEE através de acções de florestação, reflorestação e aflorestação e ainda de gestão florestal e do solo. Ao abrigo dos mecanismos de *Implementação Conjunta* e *Desenvolvimento Limpo* (Artigo 26, n.º3), o conjunto das acções elegíveis deverão

ser implementados em áreas geográficas específicas (*Projectos Florestais*), onde seja possível medir, monitorizar e verificar as emissões/remoções de GEE antes e após a implementação da acção (*Critério da Adicionalidade*). Estas áreas são passíveis de gerar créditos de carbono, isto é, unidades adicionais de carbono sequestrado reconhecidos como activos financeiros no CELE. Os projectos de investimento em novas áreas florestais ou na gestão de áreas existentes, em 1990, no âmbito do Protocolo de Quioto, surgem como uma oportunidade de valorização económica da propriedade florestal em alternativa à tradicional exploração lenhosa.

A racionalização dos consumos, o aumento da eficiência energética e a utilização de fontes renováveis surgem, então, como objectivos a atingir a curto e médio prazo na tentativa urgente de solucionar este problema complexo.

1.5 A Política Energética da UE

A estratégia de desenvolvimento da União Europeia (UE), a nível energético, pretende fundamentalmente garantir o abastecimento, proteger o ambiente, diminuindo os impactes ambientais associados ao ciclo energético, e favorecer a competitividade industrial, associada a uma liberalização do sector energético.

Para tal, a sua política tem como objectivos principais o cumprimento dos compromissos do Protocolo de Quioto, o aumento da taxa de penetração das energias renováveis e a manutenção da segurança no abastecimento (Enersilva, 2007).

Do ponto de vista histórico, os principais marcos da UE, no âmbito da Política Energética e das Energias Renováveis, intrinsecamente ligadas à biomassa, são:

- Em 1997, com o Livro Branco sobre “Energias para o Futuro: fontes de energia renováveis”, estabelece-se o objectivo geral de duplicar a participação das energias renováveis aumentando de 6 % para 12% a produção interna de energia renovável bruta, em 2010, relativamente ao ano de 1997, assumindo duas áreas estratégicas de actuação – produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis e a utilização de biocombustíveis.

- A Directiva 2001/77/CE (JO L 283 de 27.10.2001) do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno da electricidade, fixa uma quota indicativa

de 22,1% de electricidade produzida a partir de fontes renováveis no consumo total de electricidade da Comunidade até 2010.

- A Directiva 2003/30/CE (JO L 123 de 17.5.2003) do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes, fixa como meta uma quota de 5,75% de biocombustíveis utilizados nos transportes, colocados no mercado até 31 de Dezembro de 2010.

- Em 2005, o Plano de Acção para a Biomassa (PAB) representa um primeiro passo para a coordenação comunitária nesta área, onde se definem medidas para a promoção da utilização da biomassa para aquecimento, para a produção de electricidade e nos transportes, acompanhadas de medidas transversais que afectam o abastecimento, o financiamento e a investigação no domínio da biomassa.

- Em Dezembro de 2008, o Parlamento Europeu aprovou, o pacote clima-energia (Directiva RES). O objectivo da nova legislação é o de que a União Europeia reduza em 20% (ou em 30%, se for possível chegar a um acordo internacional) as emissões de gases com efeito de estufa, eleve para 20% a quota-parte das energias renováveis no consumo de energia e aumente em 20% a eficiência energética até 2020. O pacote fixa também uma meta de 10% de energias renováveis no sector dos transportes, até essa data.

Desde 1997, que a produção de energia renovável na UE aumentou 55%. No entanto, este acréscimo não é suficiente para cumprir a meta delineada para 2010. Este facto deve-se entre outras razões ao custo superior das fontes de energia renovável, quando comparado com as fontes de energia “tradicionais” (Energy Policy for Europe, 2007).

1.5.1 A biomassa no contexto da UE

Perante os objectivos estabelecidos pela UE (uma quota global de 12% para as energias renováveis, uma quota de 21% no sector da electricidade e uma quota de 5,75% para os biocombustíveis, até 2010, visando atingir o objectivo máximo de redução das emissões de GEE em 8%, entre 2008-2012), a biomassa aparece como um recurso fundamental para a concretização dos objectivos fixados.

A **biomassa** constitui uma fonte renovável de produção energética para a produção de electricidade, calor ou combustível, sendo muito variado o leque de produtos utilizáveis para este fim, oriundos em larga medida da actividade agrícola, silvícola e respectivas fileiras industriais: produtos e subprodutos da floresta, resíduos da indústria da madeira, culturas e resíduos de culturas agrícolas, efluentes domésticos e de instalações de agro-pecuária, efluentes e resíduos de indústrias agro-alimentares, como por exemplo lacticínios, matadouros, lagares ou indústrias de transformação de frutos secos e resíduos sólidos urbanos. Estima-se que a disponibilidade de biomassa, na UE, ascenda a 150-180 Mtep (Plano de Acção para a Biomassa, 2005).

Em 2005, a biomassa na UE satisfazia 4% das suas necessidades energéticas. De acordo com o seu potencial, poder-se-ia mais do que duplicar a utilização da biomassa até 2010 (de 69 Mtep, em 2003, para cerca de 185 Mtep, em 2010) – sem deixar de respeitar as boas práticas agrícolas, de salvaguardar a produção sustentável de biomassa e não afectando de forma significativa a produção interna de produtos alimentares (Plano de Acção para a Biomassa, 2005).

A Comissão Europeia considera que as medidas previstas no Plano de Acção para a Biomassa poderão levar a um aumento da utilização de biomassa até cerca de 150 Mtep, em 2010, ou pouco depois disso, repartidos em 55 Mtep para geração eléctrica, 75 Mtep para produção de calor e 19 Mtep para transportes. Este cenário foi delineado a partir da Comunicação de 2004, “A quota das Energias Renováveis na EU-25”. Sendo um valor inferior ao potencial total, completa os objectivos indicativos para as energias renováveis (Plano de Acção para a Biomassa, 2005).

Ao longo dos últimos anos registou-se um aumento significativo do sector da biomassa na produção de energia primária.

No ano de 2005, verificou-se um crescimento de 5,6%, para 72,1 Mtep, o que supõe um aumento da produção de energia de mais de 3 Mtep face ao ano anterior, sendo o aproveitamento de resíduos florestais e agrícolas correspondente a 59,3 Mtep.

Em 2006, registou-se uma produção de 82,0 Mtep, com uma participação de resíduos florestais e agrícolas de 65,7 Mtep. No ano de 2007, o sector da biomassa

aumentou a sua contribuição para 86,1 Mtep, com a biomassa florestal e agrícola a atingirem um valor de 66,4 Mtep (Figura 7).

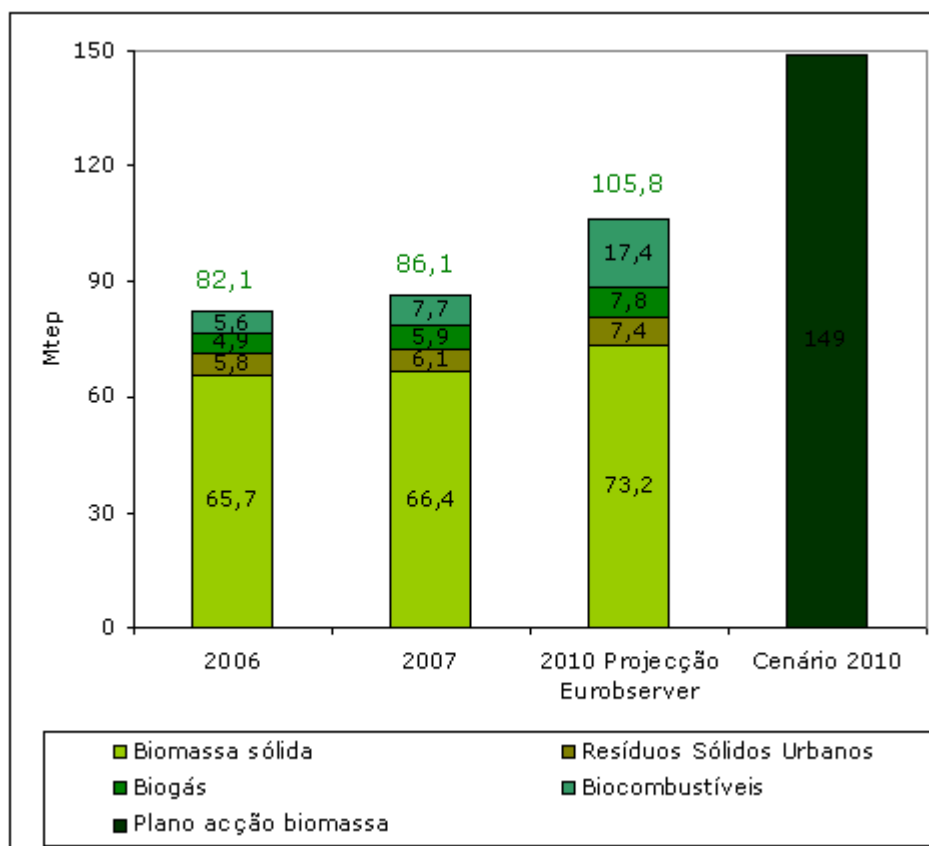


Figura 7: Evolução da contribuição do sector da biomassa na produção de energia (Adaptado de EurObservER, 2008)

Nota: No PAB, o cenário de 2010 contabiliza as importações, enquanto que nas projecções do EurObservER, as importações não são contempladas.

Para o ano de 2020, a AEBIOM (European Biomass Association) estabelece um cenário de consumo de energia a partir da biomassa de 220Mtep (incluindo 25 Mtep de importação), dividido entre 120 Mtep para produção de calor, 60 Mtep para geração eléctrica e 40 Mtep para transportes. Esta previsão está em linha com os objectivos traçados para a UE, em atingir 20% de fontes de energia renováveis no consumo energético, em 2020.

1.6 A Política Energética em Portugal

Seguindo o quadro orientador da política energética europeia, Portugal estabeleceu um conjunto de estratégias e medidas no sector da energia, nomeadamente na promoção das fontes renováveis.

A nível da política energética nacional, a RCM nº 63/2003, de 28 de Abril, estabeleceu as orientações, que assentam em 3 eixos estratégicos:

- a) Assegurar a segurança do abastecimento nacional;
- b) Fomentar o desenvolvimento sustentável;
- c) Promover a competitividade nacional.

Para atingir um conjunto de grandes objectivos, entre os quais se encontra a diversificação das fontes e o aproveitamento dos recursos endógenos, são estabelecidas algumas metas, como, por exemplo, as seguintes: a utilização de 5,75% de biocombustíveis líquidos nos transportes rodoviários e a promoção da produção de electricidade a partir de FER, em função das metas apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Metas indicativas para a produção de energia eléctrica a partir das FER (Política Energética Portuguesa, RCM 63/2003)

Recursos Endógenos	Capacidade instalada em 2001 (MW)	Capacidade a instalar até 2010 (MW)
Eólicos	101	3750
Pequenos aproveitamentos hídricos	215	400
Biomassa	10	150
Biogás	1	50
Resíduos sólidos urbanos	66	130
Ondas	0	50
Fotovoltaico	1	150
Hídricos	4209	5000
Total	4603	9680

Em 2005, a Resolução de Conselho de Ministros nº 169/2005 de 24 de Outubro, determina a Estratégia Nacional para a Energia, que tem como principais objectivos:

- I) Garantir a segurança do abastecimento de energia, através da diversificação dos recursos primários e dos serviços energéticos e da promoção da eficiência energética na cadeia da oferta e na procura de energia;

II) Estimular e favorecer a concorrência, de forma a promover a defesa dos consumidores, bem como a competitividade e a eficiência das empresas, quer as do sector da energia quer as demais do tecido produtivo nacional;

III) Garantir a adequação ambiental de todo o processo energético, reduzindo os impactes ambientais às escalas local, regional e global, nomeadamente no que respeita à intensidade carbónica do PIB.

De acordo com os objectivos anteriores, é também necessário:

- Reduzir a dependência energética face ao exterior, aumentando a capacidade de produção endógena. Tal implica, inevitavelmente, um aumento do investimento nas energias renováveis;
- Aumentar a eficiência energética e reduzir as emissões de CO₂, com diminuição do peso dos combustíveis fósseis nas fontes primárias de energia e através de medidas que, dos transportes à construção de edifícios e à procura pública, insiram a variável energética na escolha dos consumidores;
- Reduzir o custo da energia e aumentar a qualidade de serviço, através do aumento da concorrência nos segmentos da produção e comercialização do sector eléctrico, da regulação e da antecipação do calendário de liberalização do sector do gás natural.

A concretização destes objectivos implica a definição de uma estratégia global e coerente para o sector energético, que, sem prejuízo da linha de continuidade quanto a muitas das políticas que vêm do passado, espelhe as novas prioridades e materialize os novos objectivos e o cumprimento das directivas.

Com a adesão ao Protocolo de Quioto (1998), Portugal assumiu uma contenção no crescimento das suas emissões, para o período de 2008-2012 (ano médio 2010), de um máximo de mais 27% relativamente a 1990. O acréscimo dessas emissões, à data actual, ultrapassa significativamente este limiar, o que implica um esforço acrescido na redução da intensidade carbónica da economia portuguesa (ver **Figura 8**).

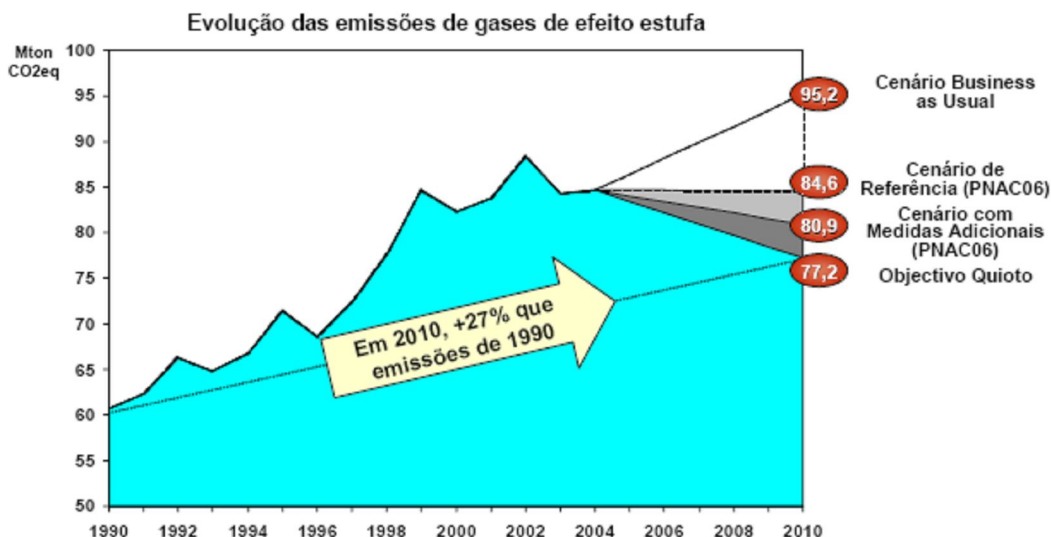


Figura 8. Evolução das emissões de gases de efeito de estufa (PNAC, 2006)

Os instrumentos de planeamento em vigor, designadamente o PNAC (Plano Nacional para as Alterações Climáticas) e o PNALE (Plano Nacional para a Atribuição de Licenças de Emissão), integram medidas e instrumentos de mercado aplicáveis aos processos energéticos.

O PNAC, ao prever um défice remanescente em relação às metas nacionais de emissões de GEE, coloca a necessidade de o colmatar através de novas políticas e medidas, que vão para além do comércio de licenças de emissão.

Na prática, as medidas base propostas no PNAC de 2006 prevêm uma redução das emissões de CO₂ em 10,6 Mt, projectando, para 2010, um nível total de emissões 84,6 Mt. Portugal teve necessidade, por isso, de recorrer a medidas adicionais e mecanismos alternativos para cobrir o *deficit* previsto de 7,4 Mt de CO₂.

Neste sentido, a Resolução do Conselho de Ministros 104/2006 introduziu um conjunto de acções para cumprir Quioto, que passam por um novo reforço de medidas e pela criação de um Fundo Português de Carbono ágil e robusto. Estima-se que cada uma destas novas medidas terá um impacte de redução de emissões de 3,7 Mt (Energia e Alterações Climáticas, MEI, 2007).

Dada a importância do sector energético e o seu impacte no cumprimento dos objectivos na vertente das alterações climáticas e na redução das emissões de GEE, as medidas na área da energia representam cerca de 70% das medidas previstas no PNAC de 2006. Estas medidas permitirão reduzir 9,9 Mt CO₂/ano, até 2010, com

destaque para a área das energias renováveis (introdução da directiva dos biocombustíveis e aumento de eficiência do parque eólico) e para as medidas adicionais propostas na eficiência da procura.

As medidas e políticas do PNAC atendem à Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho nº 2001/77/CE, de 27 de Setembro de 2001, onde Portugal assumiu o compromisso de produzir, em 2010, 39% da electricidade final a partir de fontes renováveis de energia. Esta meta tem-se revelado difícil de atingir, dado que a taxa de crescimento anual dos consumos de electricidade (5% a 6% por ano, em média) tem superado a capacidade de incremento da produção baseada em fontes renováveis de energia, tanto mais que a variabilidade da hidraulicidade afecta seriamente esses resultados. No entanto, as novas medidas implementadas até 2010/2012, focando-se na área das renováveis, sobretudo energia hídrica, eólica, biomassa e biocombustíveis, vêm dar mais confiança ao cumprimento das metas de Quioto, estimando-se que o volume de investimento em produção de energia eléctrica, a realizar até 2010, seja superior a 7 mil milhões de euros, cabendo a maior parte às energias renováveis (Estratégia Nacional para a Energia, RCM 169/2005).

Mais recentemente, no dia 24 de Janeiro de 2007, na Assembleia da República, o Governo reforçou ainda mais a aposta nas energias renováveis, visando superar a meta estabelecida na Directiva e atingir os seguintes objectivos: 45% do consumo bruto nacional, em 2010, assegurado exclusivamente por fontes de energia renovável (FER); incorporar 10% de biocombustíveis no consumo dos combustíveis rodoviários; cinco a dez por cento do carvão utilizado nas centrais eléctricas ser substituído por biomassa ou resíduos.

Para atingir este conjunto de grandes objectivos, a diversificação das fontes, o aproveitamento dos recursos endógenos e o incentivo às energias renováveis constitui uma das medidas adoptadas, fixando novos objectivos para as várias FER na produção de energia eléctrica.

- **Energia Eólica:** Aumentar em 1950 MW a capacidade instalada, até 2012, perfazendo um total de 5100 MW (em que 600 MW serão por renovação do equipamento existente que se encontra obsoleto), e investimento num "cluster" tecnológico associado à energia eólica;

- **Energia hídrica:** Reforço de potência em infra-estruturas hidroeléctricas existentes, de forma a atingir 5575 MW de capacidade instalada (mais 575 MW que

o previsto anteriormente), em 2010, e atingir, a prazo, 70 por cento do aproveitamento do potencial hídrico nacional;

- **Biomassa:** Atribuição de mais 100 MW de capacidade para produção eléctrica até 2010, para um total de 250 MW, promovendo uma articulação com o recurso florestal e com a política de combate ao risco de incêndios, de modo a que a biomassa florestal represente um contributo de 5%, do consumo bruto nacional;

- **Solar:** Construção da maior central fotovoltaica do mundo – central de Moura – e ligação com as políticas e metas de microgeração e água quente solar;

- **Ondas:** Criação de uma zona piloto com potencial de exploração total até 250 MW para desenvolvimento tecnológico de novos protótipos em fase industrial e pré-comercial;

- **Biocombustíveis:** Atingir, em 2010, a meta de 10 por cento de biocombustíveis a incorporar nos combustíveis (antecipando em dez anos o objectivo da União Europeia) e promover fileiras agrícolas nacionais para biocombustíveis;

- **Biogás:** Meta de 100 MW de potência instalada em unidades de tratamento anaeróbio de resíduos;

- **Microgeração:** Promover a instalação de 50000 sistemas, até 2010, com incentivo à instalação de água quente solar nos edifícios.

As energias renováveis constituem um motor de desenvolvimento económico, social e tecnológico. Estão na base da promoção de importantes investimentos, da criação de emprego e de desenvolvimento regional, sendo de realçar o desenvolvimento de clusters tecnológicos e de investigação, a promoção de fileiras agrícolas nacionais, a criação de infra-estruturas para reservas de água e controlo de cheias, a introdução de políticas concertadas para a redução de risco de incêndios e o aumento da vida útil dos aterros (DGGE, 2006).

1.6.1 A biomassa em Portugal

Desde 2003 (Política Energética Portuguesa, RCM 63/2003), Portugal definiu os seus objectivos em relação à produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis, onde, para a biomassa, se colocava a meta de instalação de 150 MW adicionais, até 2010.

Um dos eixos de actuação, da anteriormente referida Estratégia Nacional para a Energia (RCM 169/2005), é também a valorização da biomassa florestal, apontando para o aumento da potência instalada, sendo este objectivo concretizado através da abertura do concurso público para a instalação de 15 centrais termoeléctricas a biomassa florestal, com uma potência conjunta de 100 MW. O documento defende

igualmente a adopção de medidas de valorização da biomassa florestal, em regime a compatibilizar com as indústrias da madeira e da pasta de papel e medidas de avaliação de critérios de remuneração da electricidade produzida, tendo em conta as especificidades tecnológicas e critérios ambientais (Enersilva, 2007).

O Decreto-Lei nº 33-A/2005, de 16 de Fevereiro, veio estabelecer uma tarifa favorável para a energia produzida em centrais de biomassa florestal (cerca de 109 €/MWh). Este diploma refere ainda que as remunerações aplicáveis à electricidade produzida a partir de biomassa florestal serão garantidas durante os primeiros 15 anos, a contar desde o início do fornecimento de electricidade à rede (Enersilva, 2007).

O aproveitamento da biomassa florestal constitui uma das prioridades, não só no âmbito energético mas também dado o seu impacte na revitalização e dinamização da actividade económica da fileira florestal, bem como na minimização do risco de incêndio.

Deste modo, a actual política energética estabelece uma nova meta de 250 MW de energia eléctrica produzida através da biomassa, em 2010, com a criação de uma rede descentralizada de centrais e em articulação estreita com os recursos e potencial florestal regional e com políticas de combate ao risco de incêndio.

A garantia da tarifa a aplicar à energia produzida em centrais de biomassa florestal é prolongada para 25 anos, com possibilidade de renovação por mais 10 anos.

1.6.2 As centrais de biomassa

Em Fevereiro de 2006 foi lançado o concurso para 15 novas centrais de biomassa florestal, que representam uma potência de 100 MW e um investimento total estimado em 225 milhões de euros.

Foram privilegiadas duas tipologias de centrais:

- Até 12 MW, permitindo economias de escala na produção de energia eléctrica e garantindo um maior raio de recolha de biomassa florestal;
- Até 6 MW, permitindo o desenvolvimento de unidades locais de pequena dimensão numa óptica de desenvolvimento local.

A localização das futuras centrais foi pré-seleccionada, tendo em conta a disponibilidade de biomassa florestal e o risco estrutural de incêndio (ver **Figura**

9). As novas centrais a biomassa possibilitarão a retirada de 1 milhão de toneladas de resíduos das florestas nacionais e a criação de novas dinâmicas de inovação na gestão e exploração florestal. O aproveitamento da biomassa florestal para fins energéticos é encarado não só como uma oportunidade de negócio e de criação de emprego em zonas rurais, mas também como um dos instrumentos de luta contra os incêndios, através da limpeza das florestas.

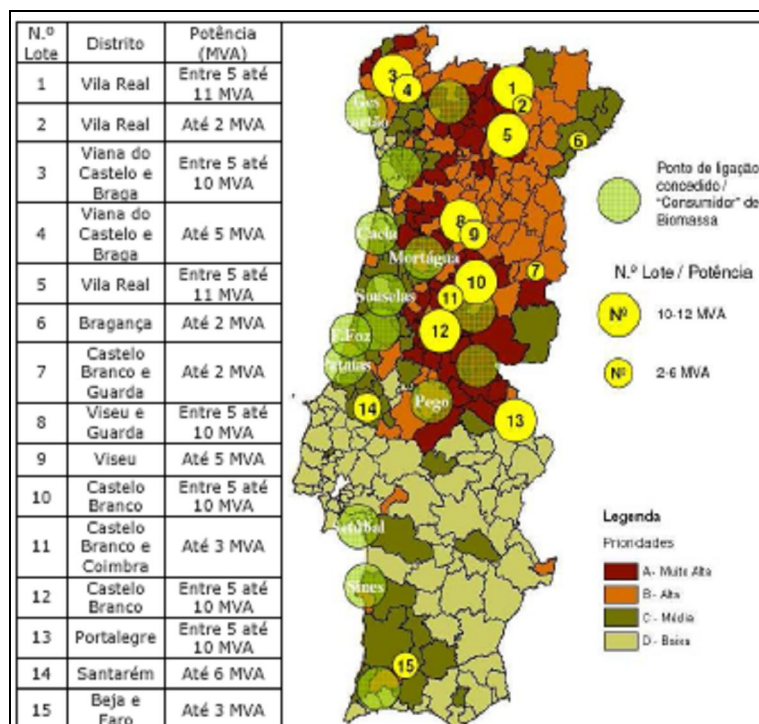


Figura 9. Concurso de centrais de biomassa (Mateus, 2007)

Em Setembro de 2006, a lista de concorrentes foi divulgada, sendo que para os lotes de Bragança e Vila Real, com 2 MVA cada um, não foram apresentadas propostas. Deste modo, prevê-se um total de potência adjudicada a instalar resultante do concurso de 96 MW.

No final do ano de 2008 existiam em Portugal duas centrais termoelétricas ligadas à rede elétrica que utilizam a biomassa florestal como principal combustível - a Central da EDP, em Mortágua e a Centroliva, em Vila Velha de Ródão. E ainda, nove centrais de cogeração instaladas nas indústrias do sector florestal, que fazem aproveitamento de biomassa para produção de calor, como a Portucel, Amorim Revestimentos, Celbi, Soporcel, SIAF (Sonae), Companhia de Celulose do Caima e Celtejo (Biomassa e Energias Renováveis, DGRF, 2005).

De acordo com informação disponibilizada pela DGGE, para além dos projectos já em funcionamento e do concurso público de 2006, já existem outros processos em licenciamento para cerca de 140 MW (ver **Figura 10**).

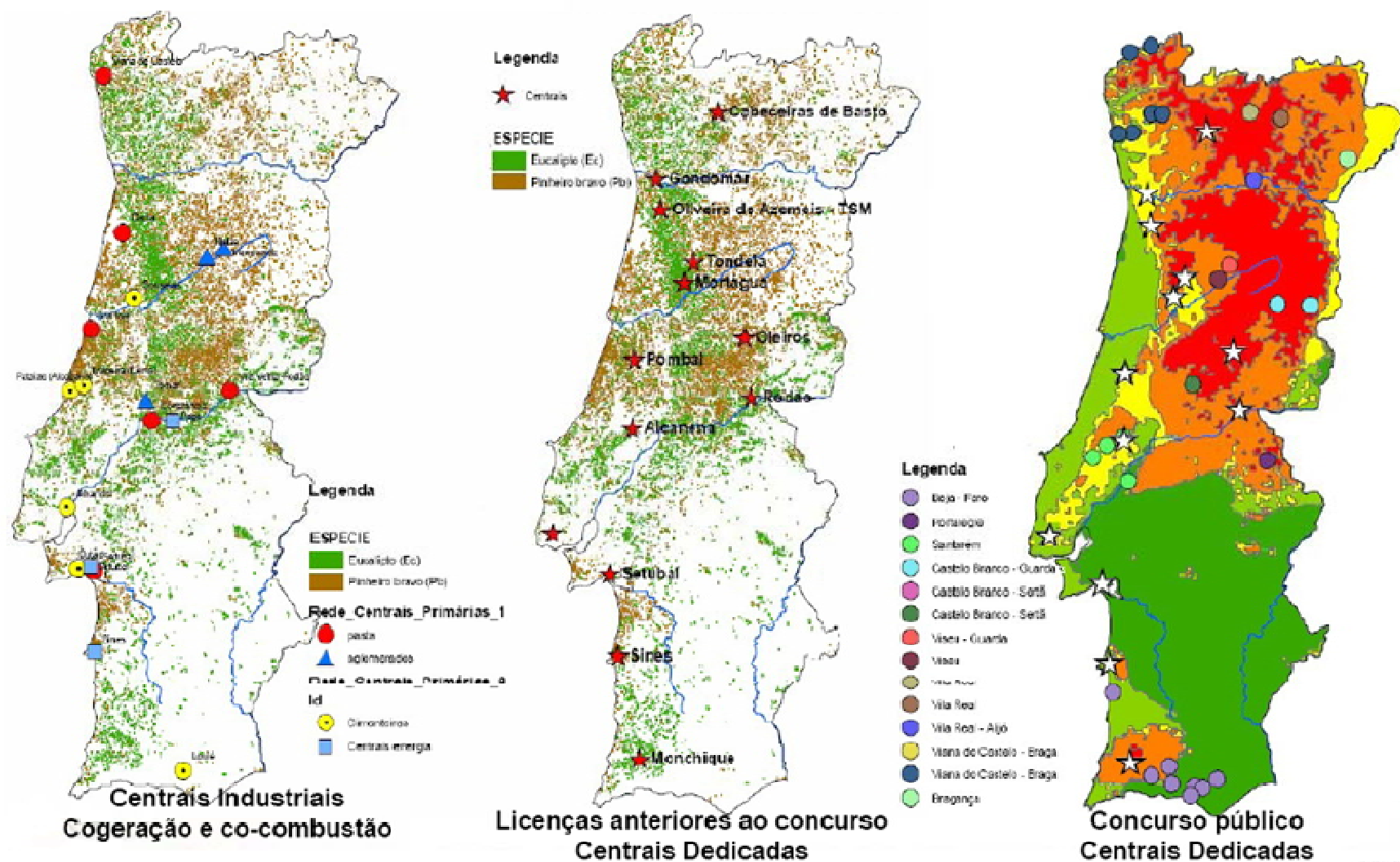


Figura 10. Localização actual e futura das centrais de biomassa (Santos, 2008)

De acordo com o planeamento apresentado, a potência a instalar, até 2010, permitirá atingir a meta de 250 MW.

Na última década, a utilização da biomassa como fonte de calor e electricidade aumentou ao nível industrial, diminuindo ao nível da utilização doméstica. É de realçar o contributo das indústrias da fileira florestal, que através do Programa PRIME e da medida MAPE, concretizaram projectos de aproveitamento energético, utilizando os resíduos florestais associados à produção deste sector.

No entanto, verifica-se que de 2003 a 2008 (ver **Figura 11**), a potência instalada evoluiu muito pouco, apesar de todas as medidas tomadas. Em Outubro de 2008, apenas as três centrais dedicadas já existentes se encontravam em funcionamento.

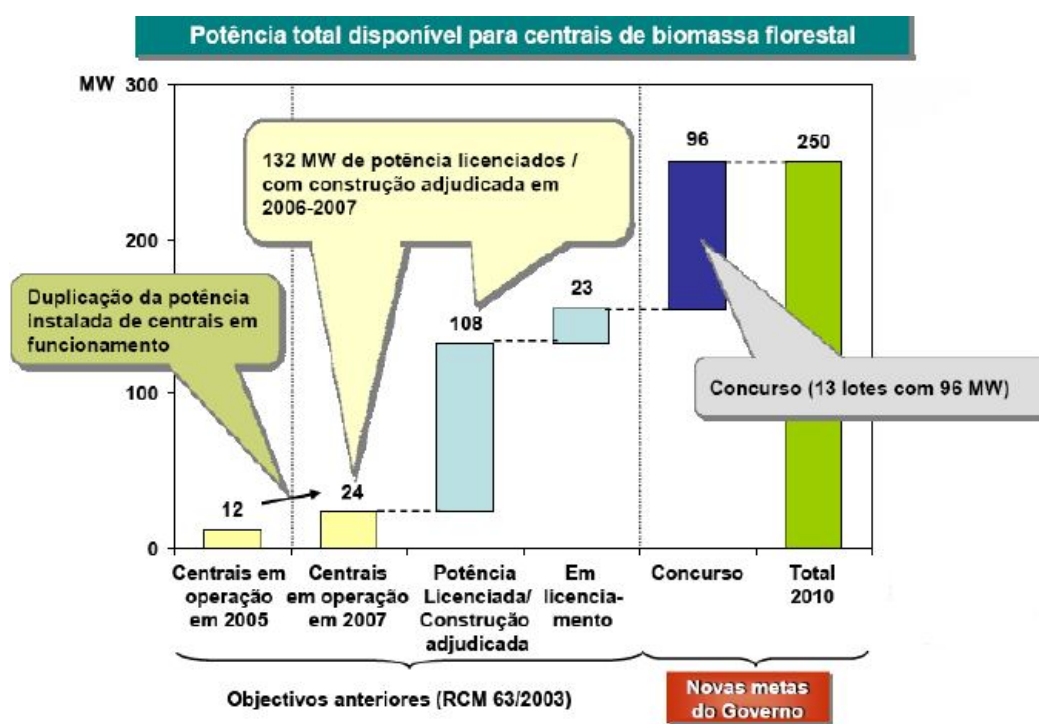


Figura 11: Potência total disponível para centrais de biomassa florestal (Santos, 2008)

Esta dificuldade deve-se em parte, à demora na tramitação dos processos de licenciamento.

Deste modo, constata-se que as medidas propostas em teoria, se encontram, na prática, longe de ser alcançadas, com se pode verificar na **Figura 12**.

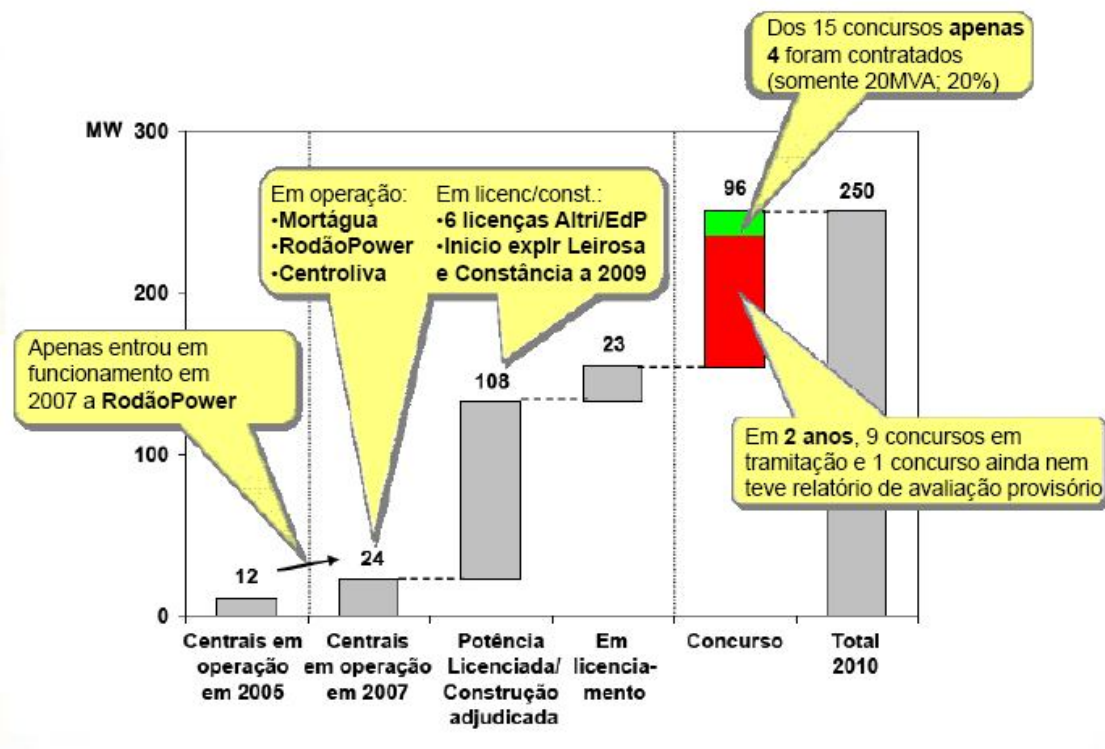


Figura 12. Evolução do processo de construção e licenciamento das centrais de biomassa (Santos, 2008)

Existem outras questões que merecem relevo no âmbito da produção de energia a partir de biomassa. Uma delas prende-se com o abastecimento das centrais e a tarifa aplicada.

A DGGE considera que as centrais de biomassa atribuídas por concurso têm condições de viabilidade. No entanto, a falta de uma rede logística no País para recolher a biomassa florestal tem sido um dos problemas apontados pelos promotores, que receiam também a escassez de matéria-prima.

Os 2,2 milhões de toneladas de biomassa florestal disponíveis em Portugal (**Quadro 2**, Fórum das Energias Renováveis, 2001), só deverão cobrir metade das necessidades nacionais, tendo em conta os vários projectos em curso.

Quadro 2: Potencial disponível de resíduos da floresta e da transformação da madeira (ITM), para produção de energia (ADENE/INETI, 2001)

Proveniência dos Resíduos	Quantidade (10⁶ t/ano)
Floresta	2,0
Indústria Transformadora de Madeira	0,2
Total	2,2

Só para as 13 unidades em concurso, com uma potência total de 96 MW, e para os 140 MW já atribuídos à EDP, são necessárias 2,5 milhões de toneladas de biomassa por ano. A agravar o problema estão as centrais a carvão de Sines e do Pego. Até 2010, as centrais a carvão irão substituir entre cinco por cento e dez por cento do carvão por biomassa ou resíduos, sendo necessárias mais 1,21 milhões de toneladas, ou seja, cerca do dobro das disponibilidades existentes (ver **Quadro 3**).

Quadro 3: Previsão de consumo de biomassa em 2010 (Carvalho, 2006)

Destino	Biomassa Necessária (t/ano)
Centrais Biomassa (1ºConcurso e anteriores PIPs)	1.100.000
Centrais Biomassa (2ºConcurso)	1.500.000
Outros consumidores (Ind. Cel. e Mad.)	150.000
Cimenteiras	300.000
Pego e Sines (5 a 10%)	1.210.000
Procura Total	4. 260 000

Caso avancem também as quatro unidades de peletes projectadas, serão necessárias ainda mais 1,1 milhões de toneladas de biomassa.

É importante notar que, os bagaços de azeitona e de uva, as cascas de frutos secos, os serrins, as podas de vinhas e oliveiras, os “verdes urbanos”, etc., poderão constituir uma importante fonte alternativa de biomassa que melhore a eficiência ambiental e não crie excessiva pressão sobre a floresta.

Adicionalmente à escassez de matéria-prima, tem-se também a exportação de biomassa a partir dos portos de Aveiro, Figueira da Foz, Sines e Portimão para países como Itália, Inglaterra ou Bélgica, onde a sua remuneração é mais elevada.

Em suma, o aproveitamento do recurso biomassa constitui um desafio prioritário da política energética do nosso país, para a produção de formas de energia final (electricidade, calor e/ou biocombustível). Sendo simultaneamente, um importante vector de desenvolvimento que vai ao encontro dos objectivos nacionais de reforço da segurança e da diversificação do abastecimento de energia, de protecção ambiental e de coesão social e económica. Mas, existem prováveis problemas de aprovisionamento que têm que ser equacionados com urgência para que não se gerem pressões ambientalmente desajustadas sobre a floresta nacional.

2. A Biomassa Florestal como Sumidouro de CO₂

2.1 A Biomassa

A Biomassa, a mais antiga forma de energia renovável, tem sido utilizada desde há milhares de anos. Contudo, a sua taxa de utilização relativa decresceu com o aumento da utilização de combustíveis fósseis, como o carvão. Actualmente, cerca de 13% do abastecimento mundial de energia primária é garantido pela biomassa, mas existem grandes diferenças regionais: nos países desenvolvidos, cerca de 3% das suas necessidades energéticas são garantidas pela biomassa, enquanto que no continente africano, a taxa varia entre os 70 e os 90% (WBCSD, 2007).

Com o crescente protagonismo dos efeitos dos combustíveis fósseis no ambiente, tais como as alterações climáticas, o Homem está a redescobrir as vantagens da biomassa. Os potenciais benefícios incluem:

- A redução das emissões de carbono, se geridas (durante a produção, transporte e utilização) de forma sustentável;
- O aumento da segurança energética pela diversificação das fontes de energia e utilização de fontes locais;
- A criação de proveitos adicionais para os sectores agrícola e florestal;
- A redução da produção de resíduos perigosos.

No contexto da produção de energia, entende-se por "*biomassa*" a fracção biodegradável de produtos e resíduos provenientes da agricultura (incluindo substâncias vegetais e animais), da silvicultura e das indústrias conexas, bem como a fracção biodegradável de resíduos industriais e urbanos (Directiva 2001/77/CE).

De acordo com a definição anterior, a biomassa pode subdividir-se em biomassa sólida, líquida e gasosa. A biomassa sólida tem como fontes os produtos e resíduos sólidos provenientes da fileira agro-florestal e das indústrias conexas, assim como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos. A biomassa líquida, isto é, os biocombustíveis, têm a sua origem principal em culturas agrícolas. Os principais biocombustíveis são o biodiesel, o biometanol e o biometanol, podendo ser utilizados na substituição total ou parcial dos combustíveis fósseis usados em veículos automóveis. A biomassa gasosa, ou biogás, tem origem nos efluentes agropecuários, agro-industriais e urbanos (ex. lamas das ETAR's e aterros de Resíduos Sólidos Urbanos). O presente trabalho, centra-se na fracção sólida da biomassa,

mais especificamente da biomassa florestal (BF). As fracções líquida e gasosa da biomassa encontram-se fora do âmbito deste trabalho.

A Biomassa é toda a matéria orgânica produzida e acumulada num ecossistema, essencialmente é: “Energia solar armazenada” (Berggren, *et al*, 2000).

As plantas e as árvores removem o dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera e armazenam-no sob a forma de compostos orgânicos enquanto crescem, através do processo da fotossíntese. Neste processo a luz, a água, os sais minerais do solo e o CO_2 , são utilizados como matérias-primas. A fotossíntese decorre enquanto estiver disponível luz, água e CO_2 . A queima de biomassa em habitações, em processos industriais, para a produção de energia eléctrica, devolve à atmosfera o CO_2 retido. O crescimento de novas plantas e árvores mantém o ciclo do carbono atmosférico em equilíbrio, através da reabsorção deste CO_2 (ver **Figura 13**).

Este ciclo de carbono “zero” ou neutro pode ser repetido indefinidamente, desde que a biomassa seja regenerada nos próximos ciclos, colhida para utilização e replantada de novo. A gestão sustentável das fontes de biomassa é de extrema importância para garantir que o ciclo do carbono não seja interrompido.

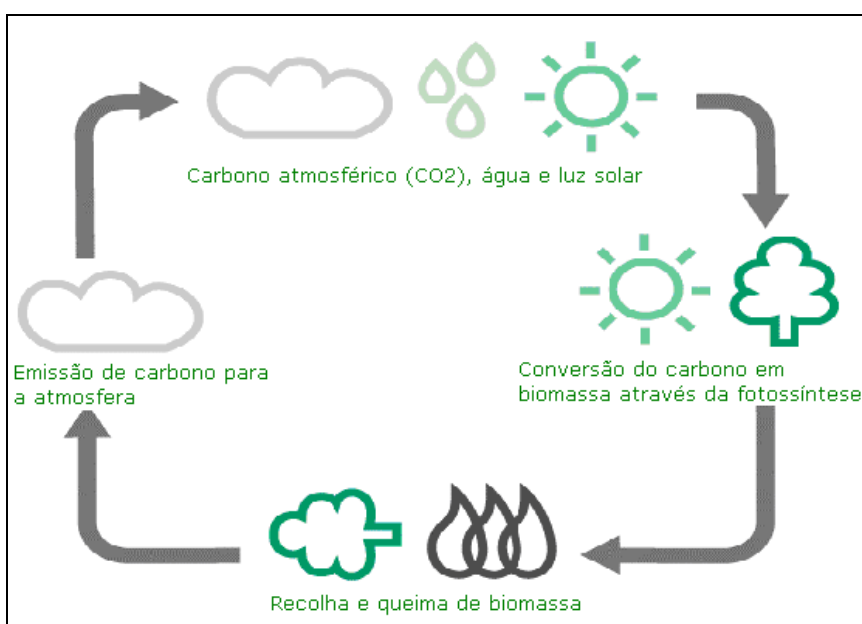


Figura 13. O Ciclo do Carbono da biomassa (adaptado de www.sywoodfuel.com, 2009)

No entanto, esta condição apenas se verifica se se excluir, para efeitos de análise, as emissões adicionais de CO_2 fóssil libertadas na recolha, pré-tratamento e transporte da biomassa. De qualquer forma, o balanço global do CO_2 neste sistema

é menos negativo do que o balanço de CO₂ num sistema de produção de energia eléctrica a partir de um combustível fóssil, como, por exemplo, o carvão.

Os combustíveis fósseis, tais como o gás, o petróleo e o carvão, não são considerados neutros em carbono, visto que libertam o CO₂ que foi armazenado durante milhões de anos e não possuem qualquer capacidade de armazenamento ou sequestro de carbono.

No ano 2000, a biomassa foi a segunda fonte de energia renovável para a produção de energia eléctrica, logo a seguir à hídrica, produzindo cerca de 1% da electricidade mundial, o que corresponde a 167 TWh. Esta percentagem é baixa, e vai continuar a ser, em comparação com as fontes de energia de origem fóssil.

É expectável que o contributo relativo da biomassa para a produção de energia decresça, quando comparado com outras fontes renováveis, devido ao grande crescimento das energias eólica e solar. É esperado que a utilização de biomassa para a produção de energia eléctrica triplique até 2030, enquanto que a energia eólica aumentará 17 vezes, alcançando uma capacidade de produção próxima da biomassa (ver **Figura 14**). Contudo, a produção de electricidade por energia eólica é menos previsível, devido à sua própria natureza, quando comparada com a capacidade de produção das unidades a biomassa abastecidas de forma sustentada e mais regular.

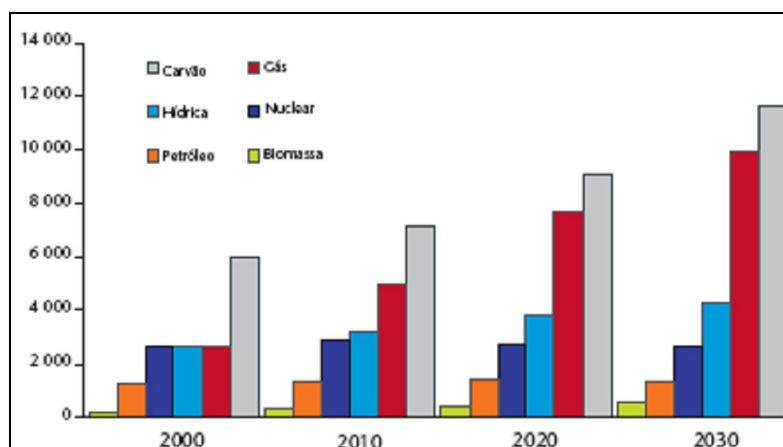


Figura 14. Produção de electricidade por fonte (em TWh) no ano 2000 e previsões para os anos 2010, 2020 e 2030 (AIE, 2002)

Os principais utilizadores industriais de biomassa são as indústrias de madeira e seus produtos derivados, bem como as indústrias de pasta de papel e embalagens. Estas utilizam quantidades significativas de biomassa para satisfazer as suas

necessidades em matérias-primas e energéticas. Estes sectores têm elevadas taxas de utilização relativa de biomassa (ver **Figura 15**), uma vez que esta está bastante acessível, próxima dos seus fluxos habituais de matérias-primas.



Figura 15. Percentagem de utilização de biomassa como matéria-prima/energia em diversos sectores (WBCSD, 2005)

A indústria dos produtos florestais obtém grande parte dos seus requisitos energéticos a partir da biomassa, mais do que qualquer outra indústria. Nos países desenvolvidos, em média, o sector dos produtos florestais obtém mais de metade da sua energia a partir da biomassa.

Os custos são uma questão fundamental para a expansão da produção de energia eléctrica a partir de biomassa. A estrutura de custos depende da localização geográfica, tipo de biomassa e tecnologia aplicada. O total de custos de investimento, no caso da co-incineração, tende a ser inferior ao caso da combustão.

As tecnologias de co-geração podem ser consideravelmente mais eficientes do que as tecnologias de geração simples (apenas de electricidade).

No que respeita às fontes de abastecimento, os custos são geralmente minimizados quando a produção e utilização de biomassa ocorrem em locais próximos.

A produção de biomassa tem de ser conseguida de uma forma sustentável para manter o ciclo do carbono intacto e em equilíbrio, de forma a garantir que o impacto ambiental da sua produção seja socialmente aceite. Isto implica que a biomassa consumida seja reposta por reflorestação, replantação ou actividades similares. A biomassa produzida por práticas florestais ou agrícolas insustentáveis, ou a permanente conversão da floresta em áreas de plantação agrícola quebrará o ciclo do carbono, visto que a biomassa removida não é substituída pelo crescimento de novas plantas e árvores.

Tanto o sector agrícola como o florestal, fornecedores de biomassa, seriam positiva e negativamente afectados pela procura acrescida de biomassa, estimada pela AIE.

Positivamente por:

- Proveitos suplementares para o sector agrícola;
- Maior ênfase na gestão sustentável para fornecer biomassa para energia;
- Proveitos suplementares ou alternativos da utilização de biomassa à base de madeira para uso como combustível, bem como para produtos florestais tradicionais.

Negativamente por:

- Uma possível substituição da produção de alimentos pela produção de biomassa;
- Competição pela fibra de madeira no sector de produtos florestais;

As necessidades de solo para satisfazer a crescente procura de biomassa são difíceis de estimar e tendem a ser muito variáveis dependendo do tipo de biomassa a produzir. A melhor utilização dos recursos (por exemplo, utilizando fertilizantes e explorando os resíduos de biomassa existentes) e a investigação e desenvolvimento, especialmente em países em desenvolvimento, aumentaria a produção agrícola e de biomassa, evitando desse modo a ocorrência de potenciais conflitos entre estas duas actividades e a debilitação das florestas.

De forma similar a outras alternativas de energia, a biomassa não é a solução ideal. Por si só, não pode satisfazer todos os desafios energéticos, em particular na segurança energética e nas alterações climáticas.

No entanto, pertence a um grupo de fontes de energia alternativas, as quais, se aplicadas em conjunto, garantem que o sector da energia caminha rumo à sustentabilidade. Para que seja possível a obtenção de reduções adicionais de custos e de emissões de GEE, serão necessários mais esforços de investigação e

desenvolvimento, com os consequentes resultados de evolução tecnológica. A maior limitação da biomassa é a sua disponibilidade e quão ampla pode ser a sua utilização como fonte de energia (WBCSD, 2007).

2.2 A biomassa florestal como combustível

A Biomassa Florestal é o material florestal resultante das operações silvícolas de condução dos povoamentos, cortes finais ou cortes fitossanitários (ramos, bicadas, árvores pequenas, etc.) e resíduos de unidades de transformação de madeira (Carvalho, 2006).

O termo biomassa florestal pode ser dividido em:

a) *Biomassa florestal primária* (BFP), a fracção biodegradável dos produtos gerados pela floresta e que são processados para fins energéticos, nomeadamente os materiais vegetais procedentes das operações silvícolas como: podas, selecção de toças, desbastes, cortes fitossanitários, controlo de vegetação espontânea, bem como, cortes finais ou cortes intermédios, lenhas de podas e desramações e material vegetal proveniente de culturas energéticas, lenhosas ou herbáceas, instalados em terrenos florestais;

b) *Biomassa florestal secundária*, é a matéria orgânica residual, composta por costaneiros, serrins, retestos, licores negros, recortes, aparas, fitas, etc., que é gerada nos processos da indústria de transformação de madeiras, tal como as serrações, fábricas de celulose, tábuas e contraplacados, carpintarias e indústrias de mobiliário, bem como, restos de madeiras oriundos de outras actividades industriais como paletes, embalagens e resíduos urbanos de demolições.

Esta divisão nem sempre é consensual, havendo diferentes definições para esta nomenclatura (Enersilva, 2007).

Os principais componentes da biomassa incluem: celulose, hemi-celuloses e lenhina, perfazendo 99% do seu peso. A celulose e as hemi-celuloses são formadas por cadeias longas de hidratos de carbono (ex: glucose). A lenhina é um polímero irregular, ramificado, de unidades de fenilpropano. A lenhina é rica em carbono e hidrogénio, os quais são os elementos mais energéticos (ver **Figura 16**). Deste modo, a lenhina tem um poder calorífico superior aos hidratos de carbono.

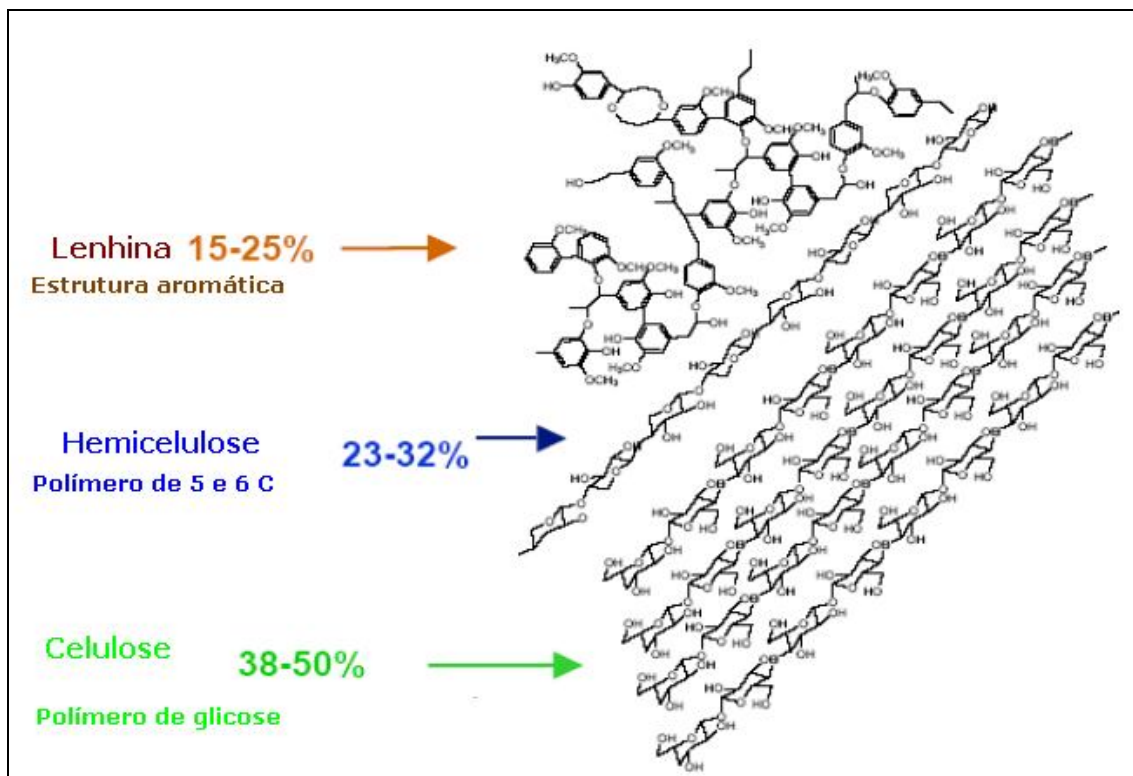


Figura 16. Estrutura química da Lenhina, Hemicelulose e Celulose (adaptado de Gulyurtlu I., 2006)

Além dos componentes referidos, a biomassa é ainda constituída por lípidos, proteínas, açúcares simples, amido, água, hidrocarbonetos, cinzas e outros compostos orgânicos (terpenos e fenóis). A concentração de cada componente depende da espécie, tipo de tecido, estado de crescimento e condições de crescimento.

De um modo geral considera-se que metade do peso fresco de uma árvore é aproximadamente água, variando sensivelmente com tipo de tecido, estado de crescimento e condições de crescimento. A outra metade é composta por matéria seca, da qual 85% são materiais voláteis, 14,5% de carbono e 0,5% de cinzas (Berggren, *et al*, 2000).

Devido ao facto de ser essencialmente constituída por hidratos de carbono, a biomassa tem muito mais oxigénio que os combustíveis fósseis convencionais, incluindo o carvão, correspondendo a cerca de 30 a 45% da matéria seca.

No entanto, tal como nos combustíveis fósseis, o principal constituinte é o carbono, cerca de 30 a 60% da matéria seca, seguido do oxigénio. O hidrogénio é o terceiro maior componente, com cerca de 5 a 6% da matéria seca. O azoto, enxofre e cloro encontram-se em quantidades normalmente inferiores a 1% da matéria seca, sendo no entanto responsáveis pela formação de emissões poluentes (Dias, 2002) (ver **Figura 17**).

Quando se dá a combustão da biomassa, os seus componentes transformam-se em vapor de água (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de azoto (NO_x), óxidos de enxofre (SO₂) e cinzas (Berggren, *et al*, 2000).

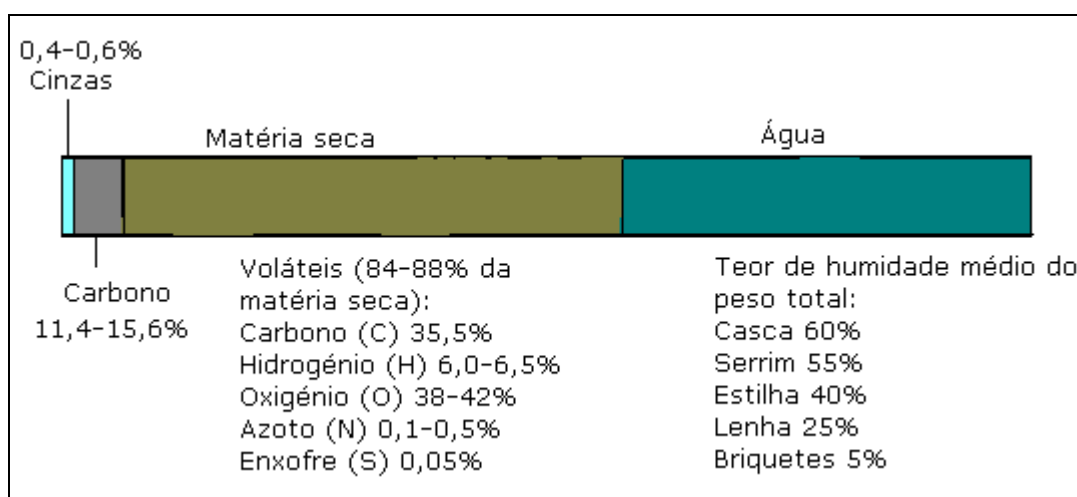


Figura 17. Constituição percentual da biomassa florestal (adaptado de Berggren, *et al*, 2000)

Existe, actualmente, um espectro alargado de processos destinados à preparação e à conversão de diferentes tipos de biomassa em energia, destinada à produção de calor e geração eléctrica. Os processos em uso integram fenómenos termoquímicos e bioquímicos e ainda recorrem a processos físicos. A utilização da biomassa pode ser feita de forma directa, ou através da sua conversão num produto intermédio, através de um vasto conjunto de tecnologias, como explicitado no **Quadro 4**.

Quadro 4. Processos de conversão de biomassa em produtos energéticos (adaptado de Araújo, 2008)

Biomassa (Recurso)	Processos	Produto Bioenergético	Aplicações Energéticas
Material residual agro-florestal	Densificação Esterificação	Pellets Briquetes Biodiesel	Calor Electricidade Transportes
Culturas energéticas: biomassa, açúcares, óleos	Combustão Gaseificação Pirólise Fermentação / Destilação	Carvão vegetal / Carvão activado Gás combustível Bio-óleo Bio-etanol	Calor Electricidade Transportes
Resíduos do processamento de biomassa	Digestão Hidrólise	Biogás Bio-etanol Solventes	Transportes
Resíduos municipais	Digestão Combustão Gaseificação	CDR (Combustível Derivado de Resíduos) Biogás	Calor Electricidade

Dentro das tecnologias de conversão destinadas à produção térmica e eléctrica, a combustão é actualmente a mais utilizada, dada a sua fiabilidade.

As propriedades físicas mais relevantes dos combustíveis derivados de biomassa são o teor de humidade, poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI), teor em cinzas, densidade, porosidade, granulometria e forma do material, que dependem intrinsecamente da matéria-prima de origem, bem como, de outros métodos de preparação e pré-tratamento do combustível.

A análise elementar determina os parâmetros com maior influência no comportamento de determinado material combustível, (teores de C, H, O, N, S, F, Cl, Na e K), encontrando-se, para biomassa de diferentes origens, valores consideravelmente distintos para estas variáveis.

De um modo geral, a biomassa face aos combustíveis fósseis (ex: carvão), caracteriza-se por apresentar maiores teores em humidade, menor teor de cinzas, menor poder calorífico, menos carbono e mais oxigénio e azoto, maiores teores em sílica e potássio, menos alumínio e ferro, menor densidade e friabilidade, menores teores em enxofre e, em alguns combustíveis derivados de biomassa, teores superiores em cloro (Araújo, 2008).

Apesar da heterogeneidade associada aos diferentes tipos de biomassa, da sua composição típica infere-se, numa primeira análise, que: a combustão da biomassa

necessita de menor quantidade de ar; a utilização de biomassa com elevados teores em humidade (dependente dos respectivos processos de armazenamento e pré-tratamento) e/ou cinzas, num reactor de combustão, pode conduzir a problemas relacionados com a ignição do combustível e a eficiência da combustão; as características das cinzas de biomassa (ponto de fusão, percentagem de potássio) podem conduzir à formação de depósitos e incrustações no interior da câmara de combustão; o menor poder calorífico da biomassa, resultante de maiores teores em humidade e oxigénio, pode conduzir a problemas relacionados com a estabilização da chama; o cloro presente em alguns tipos de biomassa pode funcionar como precursor de problemas operacionais associados à corrosão e à potencial formação de dioxinas e furanos (Araújo, 2008).

2.3 Origens da Biomassa Florestal Primária

A utilização de uma parte da biomassa florestal como combustível é compatível com o uso múltiplo dos recursos florestais, o qual constitui um conceito central na organização e gestão das áreas florestais.

Apesar da produção de madeira para a indústria ser o principal objectivo da exploração florestal, é através das operações realizadas que se gera biomassa florestal, quer nos cortes finais ou de regeneração, em aproveitamentos intermédios de desbastes com valor comercial, nas intervenções silvícolas em povoamentos jovens de regeneração natural e nas intervenções silvícolas em povoamentos jovens de rearborização (ver **Figura 18**).

Operações no Ciclo de Produção Florestal

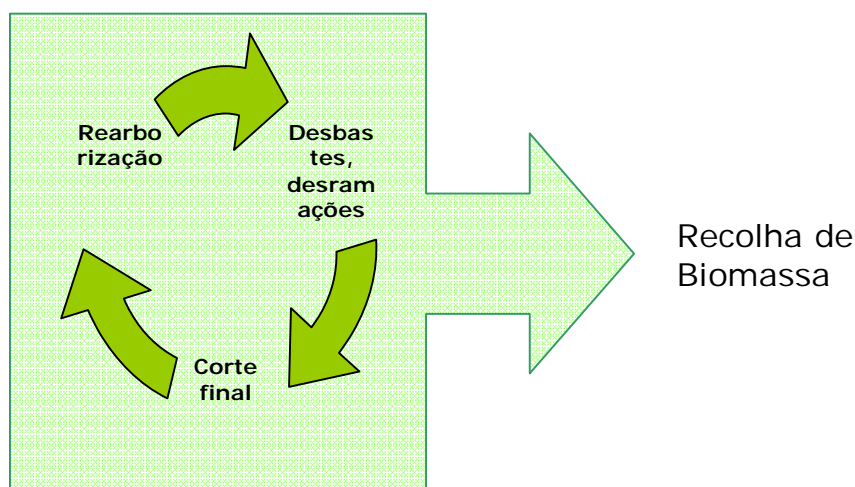


Figura 18. A produção de biomassa no ciclo de produção florestal (adaptado de Carvalho, 2006)

Na realização de cortes finais ou de regeneração, nomeadamente em espécies como *Pinus sp.*, *Eucalyptus sp.*, *Populus sp.*, *Castanea sp.*, etc., obtêm-se ramos e flechas de árvores (normalmente biomassa com diâmetro <7cm), casca (no caso do descasque efectuado na floresta), arbustos ou matos, e cepos, que se consideram como biomassa florestal primária.

Também são relevantes os desbastes com valor comercial, pois permitem o aproveitamento das ramas e flechas das árvores, bem como o abate de algumas árvores de espécies secundárias e/ou sem valor comercial (normalmente árvores com diâmetro <7,5 cm), árvores doentes ou secas e queimadas (ver **Figura 19**). No caso de povoamentos jovens de regeneração é possível obter biomassa com limpezas de povoamentos, selecção de rebentos, desramas, podas de formação e eliminação de árvores mal conformadas.



Figura 19. Desbaste com triagem da madeira e dos sobrantes (Carvalho, 2006)

Nos povoamentos de montado de sobro e azinho, pinhais para resinagem, florestas para produção de fruto ou semente, nomeadamente *Castanea sp.*, *Pinus pinea*, *Juglans sp.*, *Prunus sp.*, a biomassa provém das seguintes intervenções silvícolas: podas de formação e conformação da copa, desbastes, eliminação de ramos ladrões, cortes fitossanitários, corte de árvores queimadas, arranque de cepos e roça de matos.

Outra das origens da biomassa florestal primária consiste no cultivo de biomassa vegetal para fins energéticos, com o objectivo de produzir o máximo de peso de biomassa através de rotações curtas e densidades elevadas.

De modo a obter o máximo de rendimento energético no ciclo produtivo, devem aplicar-se as técnicas de cultivo mais apropriadas e rentáveis como, o controlo da vegetação competidora, regeneração eficaz, adequada preparação do terreno, fertilização, tratamentos fitossanitários e rega. Estas culturas podem ser tanto de espécies herbáceas como de espécies lenhosas. Os produtos a obter também podem ser biocombustíveis de diferente natureza (Enersilva, 2007).

No contexto das culturas energéticas enquadra-se um vasto conjunto de espécies distribuídas pelos seguintes grupos: culturas de rotação curta; culturas anuais (cereais, *Kenaf sp.*, milho, etc.); culturas perenes (*Miscanthus sp.*, etc.); árvores de crescimento rápido (*Eucalyptus sp.*, *Salix sp.*, *Populus sp.*, *Bétula sp.*, etc.); árvores de ciclo longo.

No essencial, pretende-se de uma cultura energética, para além de um comportamento “sustentável” a nível energético e ambiental, uma elevada eficiência de conversão da energia solar em biomassa utilizável para a produção de energia. As características da cultura em causa determinam o seu tipo de utilização preferencial. Embora a produção de culturas energéticas no espaço da UE esteja predominantemente orientada para a obtenção de matéria-prima para a produção de biocombustíveis como o bioetanol (espécies ricas em açúcar e amido) e o biodiesel (espécies ricas em óleo vegetal), as formas de biomassa ricas em material lenho-celulósico (palha, *Miscanthus*, choupos, etc.), capazes de serem convertidas em combustíveis sólidos (fardos, briquetes, “pellets”, lascas, pó, etc.), constituem uma fonte de energia particularmente válida para os processos de combustão e co-combustão (Araújo, 2008).

2.4 Disponibilidade de biomassa florestal em Portugal

A segurança no abastecimento é um factor preponderante para que a biomassa possa ter sucesso enquanto combustível destinado a valorização energética. No entanto, a distribuição geográfica heterogénea dos materiais passíveis de utilização, aliada ao carácter sazonal associado à sua disponibilidade, dificultam a criação de um sistema que garanta um abastecimento contínuo e regular com custos razoáveis (Araújo, 2008).

A planificação do uso da biomassa florestal como recurso energético requer, em primeira instância, o conhecimento das características e a quantificação do recurso existente disponível para ser explorado (Enersilva, 2007).

É reconhecida a importância do aproveitamento de biomassa florestal para fins energéticos, susceptível de um óbvio interesse comercial e de oportunidades de negócio. Apesar da abundância deste recurso endógeno (38% do território nacional é coberto pela floresta), existe dificuldade em conseguir a sua concretização, fundamentalmente por razões sociais, económicas e técnicas.

Actualmente, a floresta ocupa 3.412,3 hectares do território continental, segundo dados da AFN, ex-Direcção Geral dos Recursos Florestais (Resultados Inventário Florestal Nacional (IFN), DGRF, 2006).

Quanto à distribuição das áreas dos povoamentos florestais por espécie dominante, verifica-se que o pinheiro bravo, o sobreiro, o eucalipto e a azinheira são as quatro principais espécies, ocupando, no seu conjunto, quase 85% da área da floresta portuguesa.

O pinheiro bravo é a espécie florestal que tem sentido um maior decréscimo na sua ocupação, comparativamente com o período de 1995/8, maioritariamente devido aos incêndios e ao abandono dos povoamentos. Ocupa agora o segundo lugar com uma área de cerca de 710,6 mil hectares, na sua maior parte localizados na região Centro e Norte Litoral do País. É uma espécie de grande importância económica, sendo o sustentáculo das indústrias de serração, de painéis e aglomerados e de pasta para papel.

O eucalipto é hoje uma componente importante da paisagem portuguesa, ocupando 646,7 mil hectares, apesar da sua expansão em Portugal (desde meados do séc. XX, coincidindo com a instalação e crescimento da indústria papeleira), vê igualmente uma ligeira diminuição na sua área de ocupação relativa a 1995/8.

O sobreiro afirma-se assim como a espécie com maior área de ocupação em Portugal Continental, com 736,7 mil hectares (ver **Quadro 5**) (www.dgrf.min-agricultura.pt).

Quadro 5. Áreas Florestais por Espécies (em 10³ ha), Portugal Continental (IFN - DGRF, 2005/06)

Povoamentos Puros, Mistos Dominantes e Jovens	1995/8	2005/6
Pinheiro bravo	976,10	710,60
Eucalipto	672,10	646,70
Sobreiro	712,80	736,70
Azinheira	461,60	388,30
Carvalhos	130,90	117,90
Pinheiro manso	77,60	83,90
Castanheiro	40,50	28,20

No actual cenário de ocupação e uso do solo, importa analisar a floresta e a biomassa resultante da sua exploração (limpeza de matos, cortes, podas, desbastes, raízes), de modo a quantificar o real recurso energético potencial existente.

Considera-se “existência real” a quantidade de biomassa florestal que pode ser gerada nas florestas, isto é, a estimativa de produção potencial de um determinado território florestal. Por outro lado, a “disponibilidade” é a biomassa potencial, uma vez excluídas as fracções que não se podem aproveitar, como por exemplo os pequenos ramos e folhas acumulados na floresta, embora sem utilidade em termos energéticos, são importantes por contribuírem para a nutrição do solo e seu equilíbrio. A “explorabilidade” está por sua vez ligada a uma série de factores que condicionam a retirada da biomassa florestal primária, tais como, a geomorfologia do terreno (declives e altitude), o acesso às áreas florestais (densidade de rede viária), restrições de ordem legal (Áreas Protegidas, Parques Naturais, Rede Natura 2000, ...), entre outros.

Deste modo, a estimação das existências e da disponibilidade de biomassa explorável requer uma série de dados que nem sempre existem ou estão disponíveis. Apesar dos estudos dos últimos anos, a falta de dados acerca da quantidade de biomassa existente e explorável torna necessário a realização de estudos mais detalhados e precisos (Enersilva, 2007).

Presentemente, existem vários estudos efectuados por diversas entidades que tentam estimar a quantidade de biomassa florestal disponível para utilização

energética. No entanto, um dos principais estrangulamentos decorre da inexistência de informação actual e de algum conhecimento científico que possibilite quantificar as disponibilidades de biomassa para fins energéticos, por tipo de resíduos.

No Relatório Síntese do Fórum das Energias Renováveis (2001) é apontada a existência de 6,5 Mt de biomassa florestal, produzida anualmente, divididas em matos (incultos: 4,0 Mt), matos sob-coberto (1,0 Mt); lenhas (0,5 Mt) e ramos e bicadas (1,0 Mt).

Segundo um estudo realizado no ISA (2006), conclui-se que, tendo em conta o estado da floresta nos anos entre 1997 e 1998, haveria um potencial máximo de aproveitamento de biomassa, proveniente de matos de sub-coberto florestal, de resíduos de exploração da floresta de pinheiro bravo e de eucalipto, que se situava em cerca de 5,1 Mt secas. Os matos de sub-coberto florestal representavam cerca de 2,5 Mt secas, os resíduos de exploração de pinheiro bravo cerca de 1,4 Mt secas e os resíduos provenientes da floresta de eucalipto cerca de 1,1 Mt secas.

O **Quadro 6** sintetiza as quantidades indicativas de biomassa florestal primária, apuradas por diferentes entidades, apontando a efectiva disponibilidade deste recurso energético em 10⁶ t/ano.

Quadro 6. Estudos de potencial de Biomassa Florestal em Portugal (Mt /ano)

Fonte bibliográfica	Quantidade Disponível Estimada de BFP (10⁶ t/ano)
Adene/INETI (2001)	2,0
Dias (2002)	1,75
ISA (2006)	1,4 Pinho + 1,1 Eucalipto
Portucel/Soporcel Abastecimento (2005)	1,5

O estudo de Dias (2002), refere que a distribuição da biomassa se encontra na sua maior parte na região Centro, uma vez que aí se encontra a maior mancha florestal do País. Os resultados obtidos mostram que a produção de biomassa se deve essencialmente à exploração do pinheiro e do eucalipto, as quais são responsáveis por cerca de 85% da disponibilidade da biomassa florestal.

2.4.1 Disponibilidade de biomassa florestal na área em estudo

Dado que a área de influência da Central em estudo nesta dissertação se localiza na região Centro-Norte do país, apresentam-se em seguida, dados mais específicos para esta região.

O distrito de Aveiro tem 163000 hectares de áreas florestais, divididos pelos Núcleos de Águeda, Albergaria, Anadia, Arouca, Castelo de Paiva, Oliveira de Azeméis, Santa Maria da Feira, Sever do Vouga e Vale de Cambra, onde predominam as espécies de eucalipto e pinheiro bravo.

O pinheiro bravo é uma espécie pioneira, com grande produção de semente, com capacidade de vegetar em substratos muito degradados e grande adaptabilidade aos solos muito degradados e elevado valor comercial da madeira.

É uma árvore de médio porte, no estado adulto atinge 20 a 40 metros de altura, possui casca espessa a qual permite sobreviver a incêndios de baixa intensidade. Contribui para a melhoria das condições edafoclimáticas, aumentando a matéria orgânica no solo proporcionando abrigo sob a sua copa, criando as condições necessárias para a sobrevivência de espécies de maiores exigências. O principal objectivo da exploração das florestas de pinheiro bravo é a produção de madeira destinada à indústria. De acordo com os diversos fins industriais a que se destinam, os toros deverão apresentar diferentes diâmetros, como se ilustra no **Quadro 7**.

Quadro 7. Utilização da madeira de pinheiro por diâmetro (adaptado de Oliveira *et. al.*, 2000)

Diâmetro do toro (cm)	Destinos/ utilização
> 35	Desenrolamento ou folha Aplicações em carpintaria e marcenaria
20 a 35	Serração e produção de tabuado
14 a 20	Serração e produção de tabuado para caixotaria (paletes)
7 a 14	Trituração; Produção de aglomerados e pasta de papel
<7	Biomassa; Lenha; Produção de achas para consumo industrial e familiar

De acordo com Oliveira *et al.*, (2000), para a região Centro-Litoral, num povoamento com 50 anos de idade, pode considerar-se uma produtividade média igual à indicada no **Quadro 8**.

Quadro 8. Produtividade média de pinheiro bravo para a região Centro-Litoral (adaptado de Oliveira *et al.*, 2000)

Produtividade Pinheiro bravo – Região Centro-Litoral				
Idade	hdom	Fw	Dap (médio)	Volume principal (t/ha)
50 anos	24 m	0,25	36,5 cm	300,7

Nota:

hdom – altura dominante - média das alturas das três árvores com maior *DAP* da parcela (designadas por árvores dominantes). (*unidades: m*)

Fw – factor de Wilson – factor de espaçamento utilizado para medir a intensidade de um desbaste ($Fw = 100 / hdom * \sqrt{N}$; N – nº de árvores por hectare)

Dap (médio) - diâmetro à altura do peito - diâmetro do tronco da árvore medido sobre a casca a 1,30 metros do solo. (*unidades: cm*) (www.dgrf.min-agricultura.pt)

Em relação à biomassa florestal residual, de acordo com os dados obtidos por Páscoa *et al.* (2007), os quantitativos de produção anual de biomassa para o pinheiro bravo, nesta mesma região do país, são os que se apresentam no **Quadro 9**.

Quadro 9. Biomassa anual produzida em povoamentos de pinheiro bravo na região Centro-Litoral (peso seco, Páscoa *et al.*, 2007)

Idade	Operação	Iqe médio	Fw	Biomassa dos resíduos do povoamento (t/ha)					Produção anual (t/ha)	
				Ramos	Folhas	Cones	Casca	Total	Anual	Ponderada
20	desbaste	19.3	0.38	16.5	5.1	3.8	13.4	38.9	1.9	2.1
30	desbaste	19.3	0.38	10.4	2.4	1.4	6.3	20.4	2.0	
40	desbaste	19.3	0.38	6.8	1.6	0.8	3.5	12.7	1.3	
50	corte final	19.3	0.38	17.5	5.1	2.3	8.6	33.5	3.4	

Nota:

Iqe – índice de qualidade da estação - índice que exprime a capacidade produtiva de um povoamento florestal. Geralmente este índice é calculado em função da altura dominante atingida a uma idade padrão. O índice de qualidade da estação é um parâmetro quantitativo. (www.dgrf.min-agricultura.pt)

No que respeita ao eucalipto (*E. globulus*), esta é uma árvore de crescimento rápido, de grande porte, com uma altura que pode atingir os 70-80 m em árvores adultas velhas. O tronco é alto e recto, principalmente se a árvore estiver inserida num povoamento florestal. É originário da Austrália e Tasmânia e foi introduzido em Portugal em meados do século XIX.

Prefere regiões litorais e de baixa altitude, inferior a 700 m, climas temperados e húmidos. Suporta mal o ensombramento e tolera bem todos os tipos de solos, com excepção dos calcários. Resiste bem ao encharcamento e mal ao vento. Propaga-se por semente e por estaca, em estufa. A exploração do eucalipto realiza-se em talhadia, rebentando de toíça, nascendo cerca de três a quatro varas por cepo. A sua principal utilização é a produção de madeira para pasta celulósica, sendo o aproveitamento em diâmetro até 7 cm com casca e até 5 cm em madeira sem casca. No **Quadro 10** observam-se os valores médios de produtividade desta espécie no nosso país.

Quadro 10. Produtividade média do eucalipto para a região centro (adaptado de RAIZ, 2005)

Produtividade média do Eucalipto							
Idade	hdom	Dap (médio)	Madeira t/há	Casca t/ha	Ramos t/ha	Folhas t/ha	Volume total t/ha
12 anos	21,2 m	17,4 cm	175,0	16,0	9,0	7,0	208,0

No **Quadro 11** apresenta-se o valor de biomassa florestal residual para o eucalipto.

Quadro 11. Biomassa anual produzida em povoamentos de eucalipto (peso seco, Páscoa *et al.*, 2007)

Iqe	N modelo	hdom (m)	N médio	G (m ² /ha)	Biomassa dos resíduos t/ha				Biomassa anual (t/ha)
					Casca	Folhas	Ramos	Total	
21	1161	23.1	1040	21.6	16.5	8.5	6.2	31.2	2.6

N – número de árvores por hectare

G – área basal - soma das áreas seccionais das árvores a 1,30 m do solo; esta variável é expressa por hectare. (*unidades: m²/ha*) (www.dgrf.min-agricultura.pt)

Ponderando uma área de abastecimento da central num raio de aproximadamente 50 Km, pode considerar-se o distrito de Aveiro como área de recolha de biomassa viável, nomeadamente as sub-regiões Entre Douro e Vouga e Baixo Vouga (NUTSIII) (ver **Figura 20**).

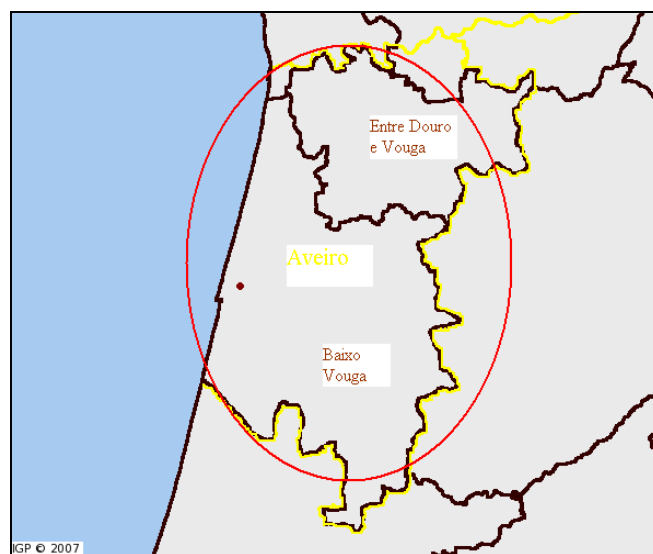


Figura 20. Área de potencial recolha de biomassa para a central (adaptado de IGP, 2007) (Escala 1:550000)

De acordo com as produtividades apresentadas e recorrendo aos dados do IFN 95, ao nível das NUTSIII obtêm-se as disponibilidades anuais de biomassa residual florestal que são apresentadas nos **Quadros 12** e **13**, para as espécies mais significativas na área em estudo.

Quadro 12. Disponibilidade anual de biomassa para Pinheiro bravo (peso seco) (Páscoa *et al.*, 2008)

NUT II	Código	NUT III	Área tratada anualmente (ha)	Biomassa dos povoamentos (t peso seco)					Biomassa t/ha
				W ramos	W folhas	W cones	W casca	W Total	
Norte	6	Entre Douro e Vouga	2.559	12.408	4.560	3.130	10.949	31.047	12,13
Centro	9	Baixo Vouga	4.070	36.077	10.235	6.040	22.774	75.125	18,46
Total disponível				106.173 t/ano					

Quadro 13. Disponibilidade anual de biomassa para Eucalipto (peso seco) (Páscoa *et al.*, 2008)

NUT II	Código	NUT III	Rotação	Área tratada anualmente (ha)	Biomassa dos povoamentos (ton em peso seco)					Biomassa t/ha*
					W casca	W folhas	W ramos	W raízes	W total	
Norte	6	Entre Douro e Vouga	1	596	12.077	6.132	4.517	4.477	27.204	38,13
			2	1.324	19.175	10.667	7.857	14.937	52.647	28,48
Centro	9	Baixo Vouga	1	1.497	26.440	11.683	8.606	9.681	56.410	31,21
			2	1.964	23.749	15.758	11.607	21.879	72.993	26,03
Total disponível				158.277 t/ano *						

* Calculada sem o peso das raízes visto que, os cepos só são retirados quando se realizam reconversões, que num ciclo normal de produção, ocorre no final da 2ª/3ª rotação.

A quantidade total de biomassa florestal residual disponível totaliza um valor de 264.450 t/ano proveniente destas duas espécies. Esta quantidade satisfaz as necessidades da caldeira em estudo (ver Capítulo 4.). No entanto, é preciso ter em conta que o funcionamento da central de Mortágua e o arranque de outras centrais em 2009, em locais próximos, (ex: Central Térmica de Biomassa Terras de Santa Maria – Oliveira Azeméis; Celbi - Figueira da Foz; nova caldeira de C.F. de Cacia), pode reduzir esta disponibilidade de biomassa.

Devem ser também contabilizadas outras espécies como a acácia, o choupo, o salgueiro, entre outras, que igualmente contribuem para a disponibilidade de biomassa. O material lenhoso de pinheiro e eucalipto, fora das especificações da indústria, pode também ser utilizado e encaminhado para uma utilização energética.

É igualmente relevante referir a importância da diversificação e utilização de outras formas de biomassa, com origens distintas, de modo a evitar a pressão crescente sobre os recursos florestais. Deste modo, a biomassa passível de utilização em sistemas de combustão, para além da BFP, pode ser biomassa produzida especificamente para utilização energética (culturas energéticas), biomassa residual resultante da actividade produtiva como a indústria, biomassa de origem animal e de origem agrícola.

Um dos factores mais importantes na avaliação da disponibilidade de biomassa para valorização energética refere-se à escala da operação, uma vez que a logística necessária para a sua recolha e pré-tratamento é energética e economicamente dispendiosa, com consequentes reflexos nos respectivos balanços operacionais e, por inerência, na viabilidade de todo o processo.

Após a análise das disponibilidades da BFP, é ainda de referir que, a sustentabilidade e a utilização deste recurso na produção energética só poderá ser atingida se os níveis de matéria orgânica e nutrientes forem mantidos e se o uso de água e a erosão não excederem as reservas de água e de camada de solo disponível.

A biomassa é uma componente da produção total e a sua sustentabilidade é uma resultante da gestão das matas e não do abandono e dos fogos. Deste modo a gestão florestal integrada no desenvolvimento rural permite ter uma melhor

floresta e mais biomassa, promovendo a melhoria da produtividade que potencia a sustentabilidade e a diversidade (Carvalho, 2006).

2.5 Tipos de Biomassa

A produtividade florestal de uma espécie é bastante variável, dada a dependência das condições edafo-climáticas de cada local. Estas diferenças reflectem-se ao nível do volume individual da árvore, da densidade populacional e da quantidade de biomassa produzida. Todavia, a distribuição da biomassa entre os diferentes componentes da árvore não varia muito entre locais, seguindo um padrão alométrico mais ou menos regular (RAIZ, 2005).

Neste trabalho é considerado objecto de estudo a biomassa florestal de bicadas e ramos dos pinheiros e eucaliptos resultantes do processamento dos toros de madeira; a casca de pinheiro e eucalipto (no caso do eucalipto pode ser retirada ainda no eucaliptal, embora comece a ser mais frequente a sua remoção na indústria); a rolaria sem aproveitamento para a indústria (má conformação, queimadas, etc.) e/ou fora das especificações da madeira de processo, (no caso do eucalipto diâmetros abaixo de 7 cm, com casca, e 5 cm, sem casca, e no pinho diâmetros inferiores a 7 cm); e, por fim, os cepos provenientes de rearborizações (ver **Figura 21**).

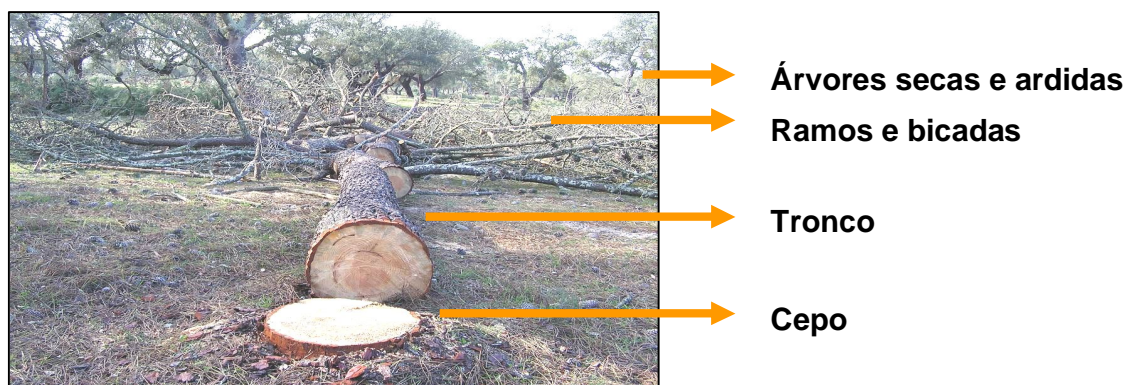


Figura 21. Fracções de aproveitamento de uma árvore (Carvalho, 2006)

Em termos médios, a distribuição da biomassa de cada componente em análise, para as espécies eucalipto e pinheiro bravo, são as apresentadas na **Figura 22**.

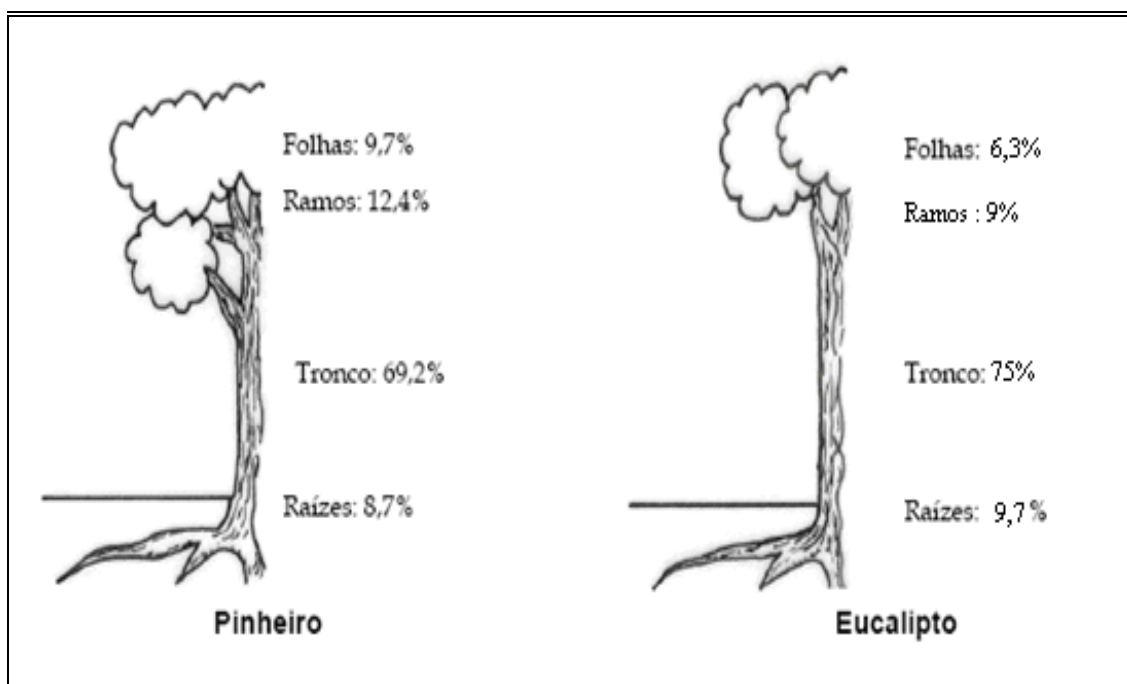


Figura 22. Distribuição percentual de cada fracção numa árvore (adaptado de Lopes e Aranha, 2004)

A mais abundante e economicamente mais significativa fonte de biomassa é a fracção dos ramos, casca, bichas e folhas, sobranes da exploração florestal clássica. No entanto, pode verificar-se alguma variação entre estações na quantidade e composição dos resíduos recolhidos. Esta variação depende do volume, estação, idade e ramificação das árvores do povoamento, bem como, dos métodos, tecnologias e equipamentos utilizados na exploração florestal e na recolha da biomassa e do período de tempo em que se realizam.

As tecnologias de aproveitamento da biomassa são referidas e descritas no capítulo 3 do presente trabalho.

A recolha e a produção de biomassa devem ter em consideração o tipo de uso que irá ser realizado, quanto à sua qualidade e forma. A natureza do produto original (ex: lenho vs casca) também condiciona o produto final.

2.5.1 Propriedades e parâmetros da BFP

As propriedades e parâmetros mais determinantes da qualidade da biomassa florestal e do seu comportamento como combustível são as seguintes:

1 - Teor de humidade (%)

O teor de humidade influencia de forma significativa o poder calorífico, uma vez que a evaporação da água presente vai consumir parte da energia. No caso da estilha, por exemplo, o teor de humidade da biomassa verde pode corresponder a valores entre 50 a 60 % do peso total. No geral, o teor de humidade da biomassa varia entre 20 e 65 % e está dependente de factores tão distintos como as condições climáticas, a altura do ano, a espécie florestal, a parte da árvore utilizada (folhas, ramos, bicadas) e a fase de armazenamento. O efeito do teor de humidade no poder calorífico é demonstrado na **Figura 23**.

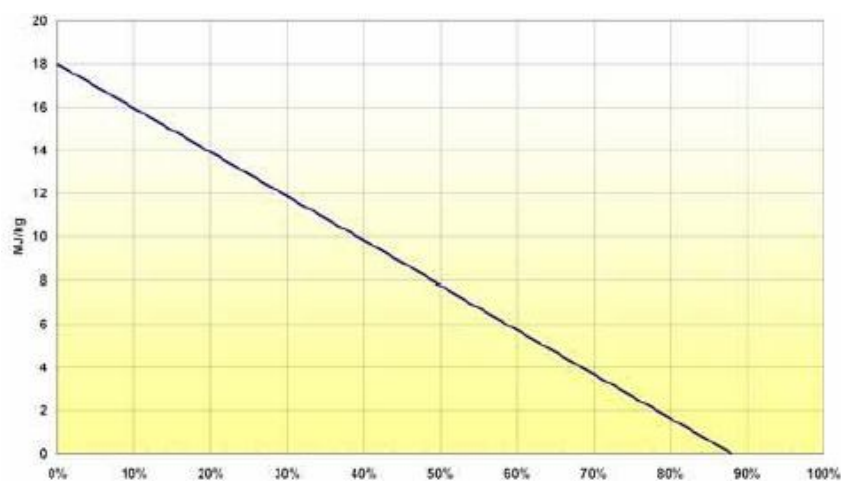


Figura 23. O efeito do teor de humidade no poder calorífico da biomassa (Berggren, *et al*, 2000)

Torna-se assim evidente que a obtenção de energia por m^3 de biomassa aumenta à medida que o conteúdo de matéria seca por m^3 aumenta e o teor de humidade diminui. O conteúdo de matéria seca presente no material estilhado varia consideravelmente. Esta variação é influenciada pela densidade e volume correspondente à parte sólida do material estilhado.

2 – Densidade

A densidade (kg/m^3) indica a relação entre a massa seca e o volume ocupado por esta, i.e., corresponde ao peso da biomassa seca existente em cada unidade volumétrica de biomassa.

O volume sólido do material estilhado reflecte a relação entre o volume aparente e a medida volumétrica (m³). O conteúdo de volume sólido no material estilhado depende essencialmente das características específicas da trituradora, tais como a distribuição relativa do tamanho das partículas, alcance e o método de carregamento. O período de secagem do material estilhado e a compactação inerentes ao transporte de longa distância não exercem qualquer influência significativa no valor do volume sólido. A densidade é necessária para converter o volume aparente em volume sólido.

3 – Granulometria

A granulometria e o teor de humidade da biomassa florestal é bastante heterogénea. A granulometria varia entre o serrim e casca triturada até estilha e pedaços de ramos. A granulometria da estilha é influenciada pela matéria-prima de origem e pelo equipamento de trituração. Quanto maior a fracção lenhosa da matéria-prima, menor variação existirá na granulometria. O desgaste das peças de corte da trituradora, bem como a abertura do crivo influencia também a granulometria. A estilha produzida por martelos é mais heterogénea quando comparada com trituradoras de facas.

4 – Poder calorífico

O valor do poder calorífico da estilha de biomassa não varia muito em função da espécie florestal (18,7 – 21,9 MJ/kg). No entanto, é ligeiramente superior em coníferas relativamente a espécies folhosas. Este facto é devido a um conteúdo superior de lenhina e resina presente nas coníferas. (Berggren, *et al*, 2000)

5 – Análise elementar

A análise elementar da biomassa florestal é composta por 40-50% de carbono, 40-45% de oxigénio, 4,5-6% de hidrogénio e 0,3-3,5% de azoto. (Berggren, *et al*, 2000)

6 – Teor em cinzas

O teor em cinzas da biomassa e a sua composição é distinta dos combustíveis fósseis, possui um teor de cinzas inferior, bem como menor presença de enxofre

(Berggren, *et al*, 2000). Apesar de apresentar um teor baixo, este é variável consoante a origem da biomassa: 0,5% serrim; 5-8% casca; 20,6% casca de arroz (Gulyurtlu I., 2006)

7 – Inertes

O teor de inertes presentes na biomassa está directamente relacionado com o método de exploração e recolha da biomassa, sendo aceitáveis valores até 4% e como valor máximo 7%. No entanto, na fracção dos cepos a presença de inertes é intrínseca ao material, sendo necessário o processamento do material em crivos. A presença de inertes pode trazer consequências graves aos sistemas de queima, como paragens adicionais para limpeza e rupturas no revestimento das caldeiras.

As características da biomassa influenciam de forma decisiva o seu comportamento nos sistemas de queima. Para garantir a melhor eficiência energética e obter um mercado de biomassa florestal transparente, a definição de qualidade é deveras importante.

Em seguida apresentam-se os vários tipos de biomassa actualmente comercializados e suas características básicas.

- Biomasa Florestal Residual (BFR) - casca de pinho e eucalipto e biomassa de sobrantes florestais diversos proveniente de limpezas da floresta, ou de espaços verdes, bem como resíduos de primeiro processamento (ver **Figura 24**).

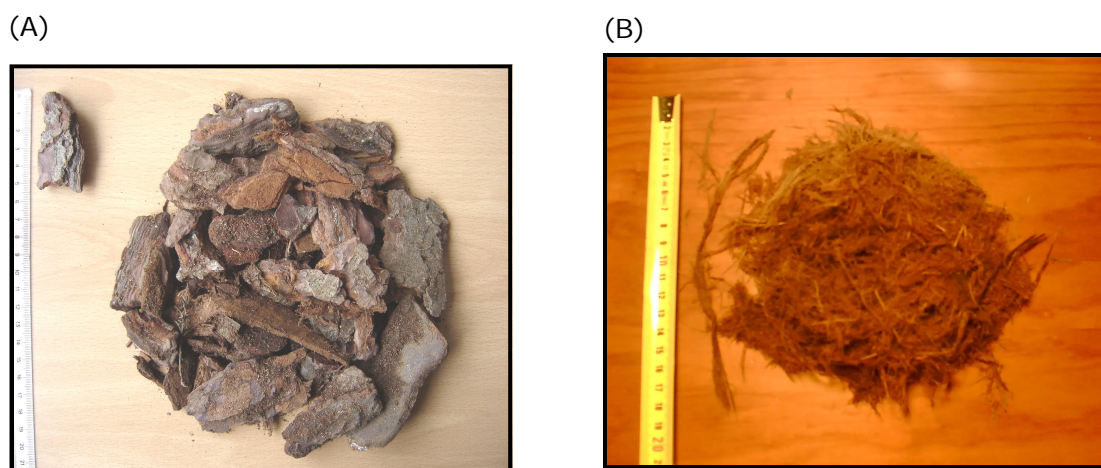


Figura 24. Casca de pinho (A) e casca de eucalipto triturada (B) (Goes, 2007 e elaboração própria)

- Biomassa de Exploração Florestal (BEF) - biomassa triturada de bicadas e copas de pinho e eucalipto, proveniente de exploração da floresta, de cortes finais, podas e desbastes (ver **Figura 25**).



Figura 25. Biomassa Exploração Florestal triturada de pinho (A) e eucalipto (B)

- Biomassa Lenhosa (BL) - biomassa de lenho ardido e cortes fitossanitários e de cepos de pinho e eucalipto, proveniente de exploração da floresta em cortes finais, ou sanitários de madeiras ardidas e defeituosas e de cepos de reconversões florestais (ver **Figura 26**).



Figura 26. Estilha de pinho (A) e estilha de eucalipto (B) (Goes, 2007)

Biomassa Lenhosa - Cepos de Eucalipto Triturado (ver **Figura 27**)



Figura 27. Biomassa Lenhosa - Cepos de eucalipto triturados (Goes, 2007)

No **Quadro 14** apresentam-se as características básicas dos vários tipos de biomassa apresentados anteriormente.

Quadro 14. Características básicas dos vários tipos de biomassa (RAIZ, 2006,2007,2008) (base seca)

Amostra N°	71/07	1256/08	2475/07	1688/08	1375/06	271/08	2361/07	
Tipo de Biomassa	Casca pinho	Casca eucalipto	Bicadas pinho	Estilha pinho	Bicadas eucalipto	Estilha eucalipto	Cepos eucalipto	Métodos utilizados
Humidades, (105 ± 2)%	51,5	54,0	15,7	12,6	23,1	30,8	35,0	CEN/TS 14774-2
Cinzas (550 ± 10°C) %	1,7	7,3	4,5	1,1	3,9	1,1	21,0	CEN/TS 14775
Na mg/kg	199,0	896,0	349,0	166,0	891,0	-	-	CEN/TS 15290
K mg/kg	807,0	2296,0	695,0	606,0	3166,0	-	-	
Cl mg/kg	347,0	2552,0	221,0	109,0	2420,0	-	-	DIN 51727
N %	0,2	0,3	13,8	0,3	0,5	0,4	0,3	CEN/TS 15104 n.d. ≤ 100ppm
C %	46,2	44,7	37,5	51,0	45,6	47,8	42,8	
H %	5,4	6,4	4,7	7,1	4,8	6,6	5,6	
S %	0,02	n.d.	0,135	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
Inertes %	5,3	18,5	9,3	3,4	-	3,0	15,0	Cinzas a 550° + tratamento com mistura nitro- perclórica
PCS (cal/g)	4771	4122	3614	4746	4361	4529	4131	CEN/TS 14918

Os resultados apresentados referem-se a amostras de biomassa recolhida e processada em diferentes locais e a partir de matéria vegetal seca e verde, pelo que é possível obter alguma variação nos resultados noutras amostras, consoante a origem do material.

Pela observação do **Quadro 14** pode verificar-se que a biomassa florestal possui uma grande reserva de energia, sendo a casca de pinho a mais energética. O teor de humidade é bastante variável. No entanto, a casca de eucalipto apresenta o valor mais elevado. O teor em cinzas é genericamente baixo, excepto na amostra de cepos de eucalipto. A presença dos elementos, Na, K e Cl é significativamente superior na casca e bicadas de eucalipto, em relação ao pinho. O teor de inertes depende muito da forma como é processada a biomassa, apresentando a casca e os cepos de eucalipto os valores mais elevados.

As propriedades da biomassa são essenciais para adequar os sistemas de recolha, processamento, transporte, armazenamento e queima, de modo a que os padrões de qualidade de biomassa se mantenham semelhantes nos vários países, desenvolvendo um mercado internacional uniformizado.

2.6 BFP como sumidouro de CO₂

A vegetação, natural ou gerida pelo homem, desempenha um papel primordial no ciclo do carbono em consequência dos processos fotossintéticos, respiração e decomposição, consumindo e/ou produzindo quantidades significativas de dióxido de carbono - o gás mais importante relacionado com o efeito de estufa e consequentemente com o aquecimento global. Aproximadamente 15% do carbono atmosférico é fixado anualmente pela fotossíntese das plantas terrestres (Lopes, 2007).

Enquanto o carbono estiver armazenado nos produtos florestais, permanece fora da atmosfera. As quantidades de carbono armazenadas em produtos florestais (exemplo: madeira de construção) está a aumentar cerca de 40 milhões de toneladas por ano. Hoje em dia, estes produtos florestais armazenam globalmente, mais de 3 mil milhões de toneladas de carbono (WBCSD, 2007).

O aumento da área florestal representa portanto uma oportunidade para armazenar, fora da atmosfera, parte do carbono emitido pela queima dos

combustíveis fósseis. As florestas podem assim contribuir para mitigar as consequências das emissões dos GEE através do sequestro de carbono (Lopes, 2007).

No presente estudo foi necessário conhecer-se e estabelecer-se um ponto de partida para se efectuar o balanço entre o carbono sequestrado na biomassa e aquele que é emitido no seu processamento e queima.

Relativamente à determinação do carbono armazenado, recorreu-se a estudos efectuados e resultados apresentados por Lopes e Aranha (2006 e 2007), do Departamento Florestal da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD).

Nestes trabalhos foi quantificado o carbono fixado para duas espécies, Pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) e Eucalipto (*E. globulus*), para cada componente da árvore (tronco, ramos e folhas e raízes). Foram também consultados e recolhidos dados bibliográficos de estudos específicos de outros autores referenciados neste trabalho (Pereira *et al.*, 2007; Loustau *et al.*, 2007).

No presente trabalho, considera-se apenas a quantificação do carbono fixado para as duas espécies designadas, dado que área de influência da Central em estudo se localiza na zona Centro-Norte do país, onde as fontes de biomassa são fundamentalmente provenientes destas espécies.

A quantidade de CO₂ fixado pelas plantas através da fotossíntese (Produtividade Primária Bruta - PPB), descontando a respiração das plantas (Respiração Autotrófica- Ra), é a Produtividade Primária Líquida (PPL). Se subtrairmos a respiração dos organismos heterotróficos (Respiração Heterotrófica - Rh), que na floresta é representada essencialmente pelos microrganismos do solo, obtemos a Produtividade Líquida do Ecossistema (PLE), que representa o balanço anual de carbono do ecossistema. (Pereira *et al.*, 2007)

No horizonte orgânico ocorrem os principais fluxos de CO₂ anuais para a atmosfera, enquanto nas camadas mais profundas do horizonte mineral ocorre a acumulação de formas químicas de carbono recalcitrante. (Pereira *et al.*, 2007)

A PLE é uma importante variável ecológica, dada a sua relevância na gestão de um ecossistema e na monitorização do impacte da actividade humana na vegetação, tanto a nível local como global. A PLE é expressa em t C/(ha.ano).

Assim, tem-se:

$$\text{PPL} = \text{PPB} - \text{Ra} \quad (\text{Eq.1})$$

PPL = Produtividade Primária Líquida; Crescimento da Biomassa (quantidade de energia ou carbono que é armazenada como biomassa)

PPB – Produtividade Primária Bruta (taxa de conversão de CO₂ em carbono orgânico por unidade de superfície); Ra – Respiração autotrófica

$$\text{PPL} = \text{Arbórea (tronco, copa, raízes)} + \text{Arbustiva} + \text{Resíduos (matéria seca)} \quad (\text{Eq.2})$$

$$\text{PLE} = \text{PPL} - \text{Rh} \quad (\text{Eq.3})$$

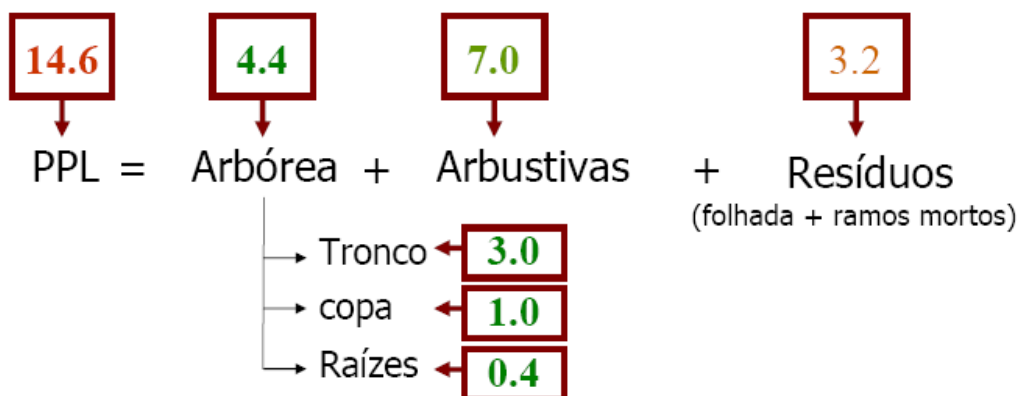
Rh – Respiração heterotrófica

Existem vários métodos de cálculo da PPL. O mais frequentemente utilizado em vários estudos no nosso país é através do cálculo da diferença de reservatório de carbono na biomassa acima do solo e das raízes, ou seja, consiste na medição de todas as árvores de uma parcela (dap, h e hbc)¹, às quais se aplicam equações alométricas de biomassa. Deste modo obtém-se um valor médio para o povoamento, neste caso para o pinhal bravo e para o eucaliptal.

Segundo os valores obtidos e apresentados por Lopes (2007), as PPL médias para o *Pinus pinaster* e para o *Eucalyptus globulus* são as apresentadas na **Figura 28**.

¹ dap – diâmetro altura do peito; h – altura; hbc – altura base da copa

Pinus pinaster



Eucaliptus globulus

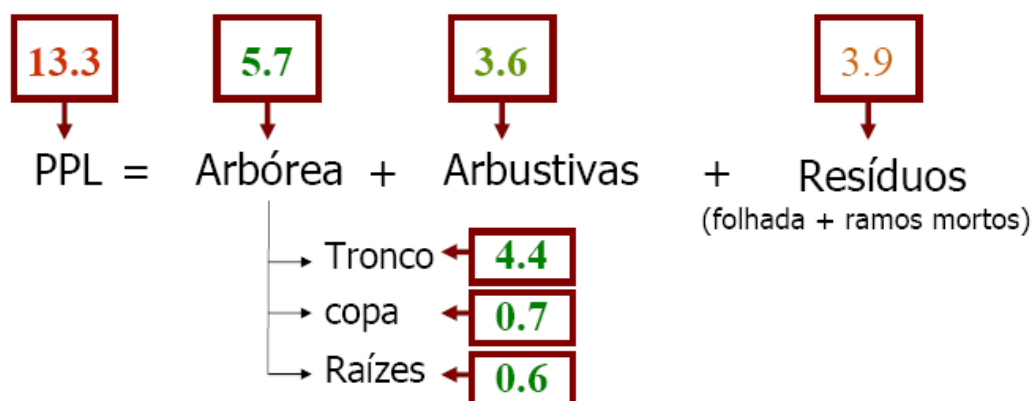


Figura 28. Produtividade Primária Líquida para o pinhal e eucaliptal (valores expressos em t biomassa/(ha.ano)) (Lopes, 2007)

No que se refere à contabilização do sequestro de carbono, existem vários níveis de quantificação, frequentemente as estimativas referem-se apenas à componente arbórea, raramente é contabilizada a biomassa do estrato arbustivo ou herbáceo, manta morta ou carbono do solo.

O conhecimento do teor de carbono de cada espécie tem uma importância acrescida pelo facto de, na quase generalidade, os estudos de fixação de carbono serem efectuados com base num valor médio. Muitos autores assumem, o princípio de que 50% da matéria seca é carbono. No entanto, o valor anterior deve ser ajustado, dependendo da espécie em análise e dos diferentes componentes da árvore em cada espécie, visto que ocorrem variações relativamente àquele valor, verificando-se diferenças estatisticamente significativas no teor de carbono.

O estudo de Lopes e Aranha (2006) baseou-se em parcelas instaladas em povoamentos de pinheiro bravo e eucalipto, no Norte de Portugal.

Pelo facto de cerca de 80% da área florestal em Portugal ser dominada por montado, eucaliptal e pinhal, o conhecimento sobre métodos de quantificação de carbono para estas espécies é bastante maior do que para outras com menos expressão geográfica (Pereira *et al.*, 2007).

No **Quadro 15** apresenta-se a informação referente aos teores de carbono encontrados na biomassa seca para as duas espécies florestais em estudo e para os três componentes analisados (tronco, ramos e folhas).

Quadro 15. Teor de carbono da biomassa seca de pinho e eucalipto (Lopes e Aranha, 2006)

	Parte da Planta	Percentagem Média de Carbono (% matéria seca)
Eucalipto	Tronco	40,4
	Ramos	49,1
	Folhas	49,7
Pinheiro	Tronco	44,3
	Ramos	50,8
	Folhas	47,5

A análise combinada dos valores permite afirmar que a percentagem média de carbono por matéria seca de eucalipto é de 46,4% enquanto para o pinheiro bravo se situa nos 47,5%. Contudo, se generalizarmos esta abordagem, independentemente da espécie, verifica-se que o tronco apresenta um valor médio de 42,5%, os ramos de 50,1% e as folhas de 48,6%.

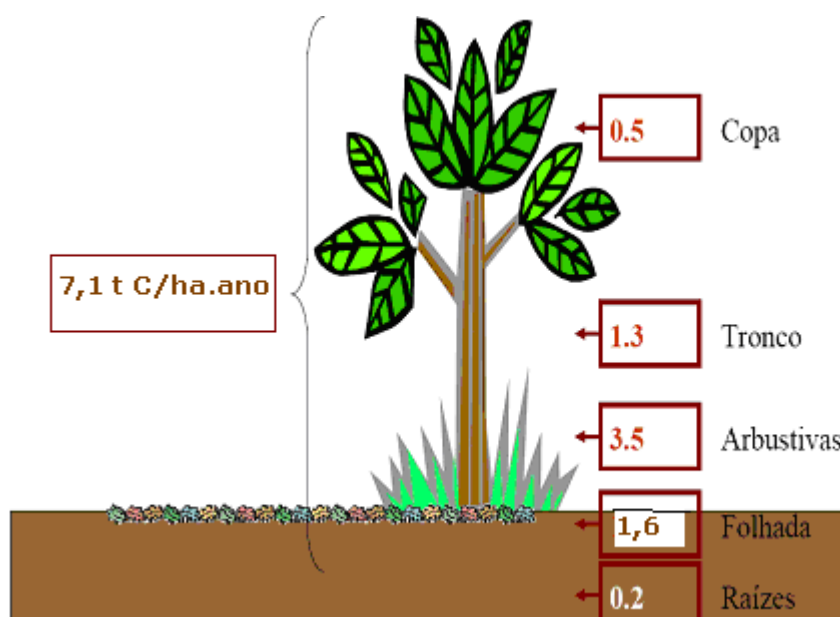
As duas espécies evidenciam comportamentos diferenciados quanto à percentagem de carbono por quilograma de matéria seca. No eucalipto verifica-se um aumento na percentagem de carbono do tronco para os ramos e dos ramos para as folhas, enquanto que no pinheiro esta tendência inverte-se para a componente folhas. Por outro lado, no pinheiro, os teores de carbono são superiores aos que se verificaram para o eucalipto, tendência esta que se inverte para as folhas, obtendo-se aqui valores inferiores aos do eucalipto.

No caso do teor de carbono por quilograma de matéria seca da raiz, foi assumido pelos autores do estudo um valor de 48,1%.

Os resultados finais do estudo apontam para valores médios do teor de carbono de 45,7% para o pinheiro e de 42,2% para o eucalipto (Lopes e Aranha, 2006), ligeiramente diferentes dos 50% referidos genericamente em bibliografia da área (Pereira *et al.*, 2007)

A conjugação dos valores da PPL e do teor de carbono para cada espécie e para cada componente arbórea permite obter os seguintes valores médios quantitativos de carbono fixado, para as parcelas estudadas (ver **Figura 29**).

Pinus pinaster



Eucaliptus globulus

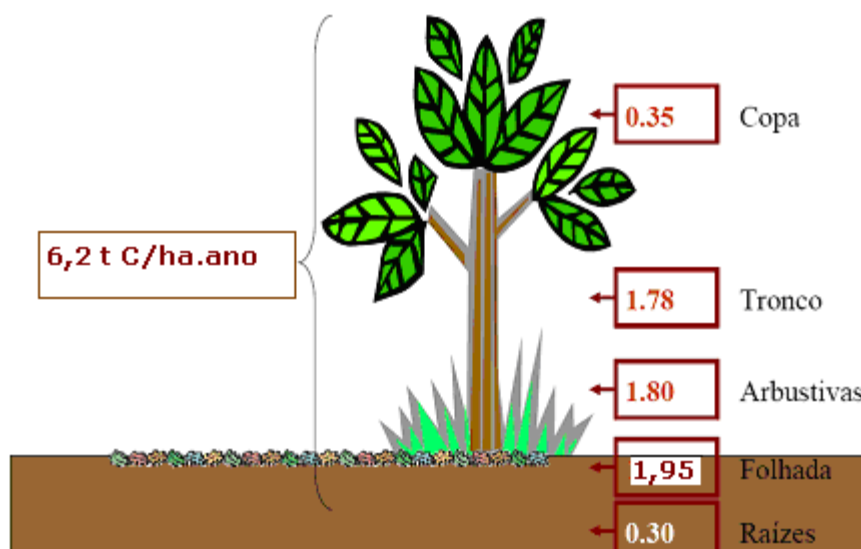


Figura 29. Carbono fixado para o pinhal e para o eucaliptal em t C/(ha.ano) (adaptado de Fonseca, 2008)

Outros estudos efectuados em Pegões (Palmela), indicam que, no eucaliptal, a retenção de carbono atingiu um valor de 7,45 toneladas de carbono por hectare e por ano (ano de 2003). No ano de 2006, esse valor foi de 4,77 t/(ha.ano). Para áreas florestadas com pinheiro bravo, no Sul de França, foram indicados valores na ordem das 6,0 t/(ha.ano) (Pereira, 2006).

No estudo intitulado "Balanço de Carbono no Eucaliptal – Comparação entre o Fluxo Turbulento de CO₂ e a Estimativa do Modelo CO2FIX V3.1" (Pereira *et al.*, 2007), a estimativa da PLE, obtida pelo modelo CO2FIX V3 (6,5 t C/(ha.ano)) foi bastante aproximada à obtida pelo método das flutuações instantâneas (6,2 t C/(ha.ano)). Para o pinheiro bravo é referido igualmente, para o Sul de França, valores de 0,57 t C/(ha.ano), em 2002, o ano mais seco, e 7,50 t C/(ha.ano), em 2004, tendo como valor médio 4,2 t C/(ha.ano), no período de 1996 a 2006 (Loustau *et al.*, 2007).

Deste modo, verificam-se diferenças entre os vários elementos da árvore, entre as duas espécies analisadas. O eucalipto apresenta menores valores de teor de carbono em relação à copa, mas maiores valores ao nível do tronco e das raízes, comparativamente ao pinheiro bravo. Considerando apenas a parte arbórea (tronco, copa e raízes), o eucalipto fixa mais carbono, (2,43 t por hectare e por ano) do que o pinheiro (2,0 t por hectare e por ano).

O Eucalipto é uma espécie de crescimento rápido e a sua elevada produtividade confere-lhe a capacidade de sequestrar rapidamente carbono da atmosfera e armazená-lo nas suas estruturas vegetais. Valores elevados de PLE, nas latitudes mais baixas, parecem estar relacionados com uma combinação de factores (melhor balanço da radiação, aumento da estação de crescimento) que promovem uma maior produtividade vegetal. Todavia, o reduzido intervalo entre cortes (rotação), que implica alguma perda de carbono, associado ao curto tempo de vida do papel, reduzem o balanço de carbono no longo termo. Uma silvicultura apropriada, por exemplo, alterando a idade de corte, aplicando uma gestão apropriada dos resíduos de abate no final das rotações e no corte final, utilizando plantas melhoradas, poderão alterar esta tendência aumentando o tempo de residência do carbono nos reservatórios árvore e solo (Pereira *et al.*, 2007).

Os valores retirados do estudo apresentado constituem a base da contabilização do carbono fixado anualmente por cada uma das espécies florestais consideradas neste estudo. Esta base será utilizada no balanço entre o sequestro e as emissões

do processamento da biomassa, de acordo com os povoamentos explorados, bem como, com a quantidade de biomassa retirada por hectare e por ano.

No capítulo seguinte são apresentadas as várias tecnologias de aproveitamento da biomassa, bem como, exemplos práticos de recolha, processamento e transporte para destino final, isto é, valorização energética da biomassa florestal. Nos vários processos descritos serão igualmente contabilizadas as emissões de CO₂ em cada fase da cadeia de aproveitamento.

3. Emissões dos Processos de Produção e Logística de Biomassa

A biomassa florestal, como combustível para a produção de energia, exige um processo de produção e de recolha e logística que a distingue de outras fontes renováveis, como a energia eólica ou a hídrica. É um recurso renovável, mas não é inesgotável, nem auto-sustentável. A opção pela biomassa obriga a um processo de produção integrada no conjunto das opções de gestão florestal.

Por exemplo, a opção de produzir culturas energéticas constitui uma decisão de uso da terra em alternativa a outras possibilidades. A valorização energética da biomassa não é um tema novo, e ainda actualmente constitui o principal uso dos recursos lenhosos no mundo (www.fao.org).

A produção de biomassa deve ter em consideração o tipo de uso que irá ser realizado, quanto à sua qualidade e forma. A natureza do produto original (ex: lenho vs casca) também condiciona o produto final.

A recolha de biomassa é um processo diversificado, pelas diferenças nos vários tipos de povoamentos, pela fase de intervenção e pela dimensão e topografia da parcela de intervenção. Obter o mais baixo custo por unidade energética é um objectivo frequente, pelo que a escolha de equipamento e do modelo logístico deve ser abordado desde a origem até ao consumidor final.

As operações de biomassa não são actividades isoladas e devem ser analisadas de forma integrada com a gestão florestal. O desenvolvimento de processos logísticos inseridos no conceito de gestão florestal integrada, permitirá criar um mercado equitativo, com custos optimizados, e com sustentação futura.

3.1 Tecnologias de aproveitamento da biomassa nas florestas

A competitividade da fileira florestal portuguesa, nomeadamente nos casos do eucalipto e do pinheiro bravo, está fortemente condicionada pelo custo das respectivas matérias-primas, que se encontram entre as mais altas do mundo. Nestas matérias-primas, o custo das actividades de exploração florestal (corte, rechega e transporte) representa, frequentemente, um valor igual ou superior a 50% do valor de venda nos locais de destino. O uso de planeamento e da aplicação de melhores práticas operacionais são fundamentais, não só para reduzir os custos

das operações e assim da matéria-prima, mas também para minimizar os impactos ambientais e de segurança associados à actividade de exploração florestal (Aliança Florestal *et al.*, 2007). Os mesmos princípios aplicam-se aos processos de recolha e transformação da biomassa, resultante da exploração florestal.

Deste modo, são várias e em permanente evolução as tecnologias e técnicas usadas para o aproveitamento da biomassa. A escolha da(s) técnica(s) e tecnologias mais adequada(s) estão condicionadas por vários factores: densidade e estado da rede viária, tipo de povoamento florestal, espécie dominante, características físicas do terreno, características dos centros de consumo, eficiência, impacto ambiental que possam causar, etc. Todos estes factores são ainda ponderados numa óptica de eficiência económica, ou seja, da obtenção de um maior rendimento financeiro. Nas florestas do Sul da Europa, de um modo geral, a extracção da biomassa é realizada de forma mecanizada (por exemplo: *forwarders*, camiões 6x6, etc.) sendo a escolha do equipamento condicionada pelos factores enunciados anteriormente.

Os principais problemas que ocorrem durante esta etapa dizem respeito principalmente à dispersão da biomassa, às características do terreno, à baixa densidade da rede viária e divisional na floresta e ao seu estado de conservação. Seguidamente são abordados os aspectos gerais, vantagens e desvantagens das tecnologias e técnicas mais frequentemente utilizadas na recolha e processamento da biomassa florestal.

3.1.1. Recolha e transporte de biomassa nas matas, sem pré-processamento

Este método consiste em recolher e efectuar o transporte da biomassa sem que esta passe por nenhum processo de compactação, nem de estilhamento. Actualmente, este método é cada vez menos utilizado, uma vez que o transporte é caracterizado por um peso de carga inferior ao de outros processos, o que faz com que se torne mais caro (ver **Figura 30**). Assim, o transporte de biomassa da mata, apenas é aconselhável para situações de distância muito reduzidas (10 a 15 km), entre a floresta e os centros de consumo.



Figura 30. Recolha de sobrantes florestais (Enersilva, 2007)

3.1.2. Processamento da biomassa no local

Esta operação é realizada junto aos espaços florestais utilizando estilhaçadores móveis (ver **Figura 31**). A biomassa é transportada para as unidades finais, ou unidades intermédias, em forma de estilha, o que traz grandes vantagens em relação ao transporte da biomassa em bruto. Estes procedimentos permitem que a BFP possa secar de forma natural, melhorando as características da BFP.



Figura 31. Trituração de sobrantes florestais na mata (Goes, 2007)

A principal condicionante deste tipo de operações é que só deve ser realizada em locais que tenham bons acessos viários. Outras desvantagens deste sistema são a necessidade de adquirir mais equipamentos, o que aumenta os custos no investimento inicial e manutenção do equipamento, bem como a necessidade de condições físicas na mata (ex: declive), que permitam a operação de um destroçador.

3.1.3. Parques de pré-tratamento

Nestes parques, a biomassa chega em bruto e sofre uma transformação que vai de acordo com a necessidade das características do material na fase posterior de utilização.

Os parques de pré-tratamento devem ser dimensionados de acordo com os recursos tecnológicos existentes de maneira a garantir a sua capacidade de tratamento, dispondo em simultâneo de um mercado potencial nas proximidades, que permita assegurar a colocação do produto. Para além do tratamento da BFP, o parque tem por finalidade regular as quantidades fornecidas, ajustando a oferta e a procura em termos de tempo. De uma forma generalizada, as principais operações que se podem levar a cabo nos parques de pré-tratamento são: armazenamento da matéria-prima, trituração (ver **Figura 32**) e secagem natural ou forçada.



Figura 32. Trituração de sobranes florestais em parque (A) trituradora de facas; (B) trituradora de martelos (Goes, 2007)

A instalação de um parque tem como grande vantagem a flexibilidade em relação ao fluxo e características da biomassa, que vão mais ao encontro das necessidades de optimização dos processos de logística. Como desvantagens deste sistema são apontadas as seguintes: necessidade de adquirir equipamentos pesados; necessidade de condições físicas de forma a poder instalar o parque; custo do eventual aluguer ou compra de terrenos para a sua instalação; necessidade de bons acessos.

3.1.4. Enfardamento da biomassa

Este método é usado com recurso a enfardadeiras. Este equipamento permite efectuar a recolha de sobrantes florestais e tem por princípio a compactação dos materiais em fardos, podendo desta forma otimizar o armazenamento e o transporte (ver **Figura 33**).

A logística do transporte dos fardos é um sistema semelhante ao utilizado no transporte da madeira. Os camiões são os mesmos e são carregados da mesma forma.

(A)

(B)

(C)



Figura 33. Enfardamento de biomassa (A) enfardamento da rama; (B) colocação em pilha; (C) transporte de fardos

O enfardamento da biomassa tem as seguintes vantagens: os fardos são manejados com o mesmo equipamento que é utilizado para os troncos; os fardos ocupam menor espaço físico que a biomassa em bruto, o que permite um maior armazenamento e transporte de biomassa; os fardos podem ser armazenados sem perder a sua consistência; o armazenamento é mais seguro, simples e barato, apresentando um menor risco de combustão espontânea.

As limitações ao uso de enfardadeiras são o facto destas não poderem operar em locais com acentuado declive e o elevado investimento inicial.

3.1.5. Aproveitamento da árvore inteira

Neste processo, ao contrário do que se verifica nos casos anteriores, a biomassa utilizada corresponde ao fuste inteiro. As árvores processadas neste sistema têm

baixo valor económico, sendo fruto de desbastes, povoamentos de baixa rentabilidade, culturas energéticas, árvores de áreas de cortes antecipados ou danificados por incêndios, vendavais ou pragas e doenças. As árvores são aproveitadas para a obtenção de estilha.

Este sistema pretende executar o mínimo de operações possíveis na exploração, de modo a rentabilizar todo o processo de colheita e transporte da biomassa até à fábrica.

O método *full-tree* – fuste inteiro - consiste basicamente no corte e um primeiro ajuntamento de árvores inteiras, com cortador empilhador florestal *whelled feller-buncher*, seguido de rechega para a pilha com ajuntador *skidder*, estilhaçamento das árvores com estilhaçador de facas e transporte à fábrica com camiões contentores “tipo banheira” (ver **Figura 34**). Devido ao seu alto rendimento, este sistema é utilizado para o aproveitamento da biomassa nas culturas energéticas lenhosas.



Figura 34. Aproveitamento de árvore inteira (eucalipto ardido) (A) *feller-buncher*; (B) *skidder*; (C) trituração com facas (Aliança Florestal, 2003 e Goes, 2007)

Este sistema tem as seguintes vantagens: aproveitamento de áreas que necessitam de cortes antecipados pelo facto das árvores estarem mortas ou danificadas, devido a factores bióticos ou abióticos (ex: incêndios florestais, desbastes) (ver **Figura 35**); rentabilização de produtos de baixo valor; execução de uma operação indispensável ao início do processo de reflorestação e/ou reorganização da floresta, com obtenção de receitas com custos reduzidos; permite proceder, desde logo, aos restantes processos necessários à reconversão florestal; aumento da rentabilidade na produção de energia a partir de biomassa, em comparação com os processos tradicionais (Aliança Florestal, 2003).



Figura 35. Aproveitamento de árvore inteira (pinheiro manso) (A) feller-buncher; (B) trituração móvel

As desvantagens que este sistema apresenta são as seguintes: necessidade de ter várias máquinas a trabalhar e plena coordenação entre as várias operações; não é aconselhável ser executado em locais com declives acentuados; não é aconselhável ser realizado em zonas que apresentem limitações em termos de estabilidade do solo; o custo elevado de aquisição e manutenção dos diferentes equipamentos.

3.1.6. Aproveitamento de cepos

A operação de aproveitamento de cepos efectua-se no caso de reconversões e/ou rearborizações, principalmente no caso do eucalipto. O arranque dos cepos tem como vantagens a facilitação das operações de preparação do terreno e plantação para um novo ciclo produtivo. O aproveitamento da biomassa dos cepos é particularmente interessante, pois o ceppo subsiste longos períodos de tempo, sem

se degradar, permitindo um armazenamento prolongado da biomassa. Este período de armazenamento pode favorecer a limpeza natural dos cepos (terra, pedras, etc.) pela queda de precipitação, o que facilita a sua posterior trituração (ver **Figura 36**).

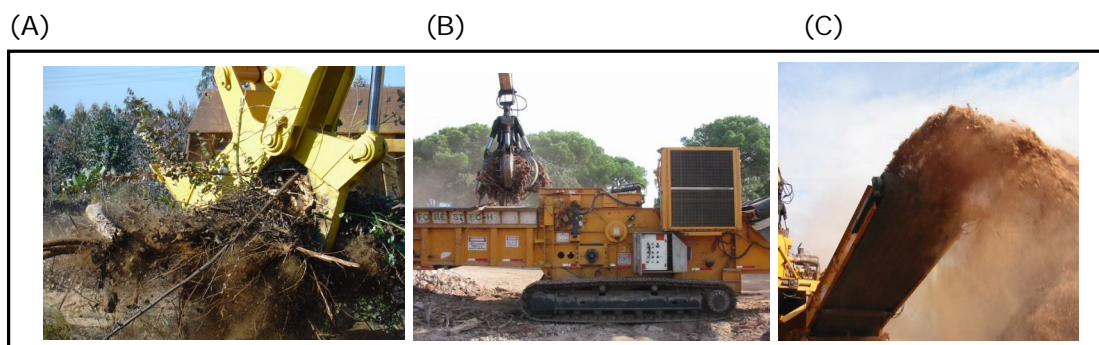


Figura 36. Aproveitamento de cepos (A) arranque de cepos; (B) trituração de cepos; (C) separação de inertes (Goes, 2007)

Como desvantagens consideram-se os custos da operação de arranque dos cepos e seu processamento. A remoção dos cepos requer maquinaria pesada e a presença significativa de inertes obriga a uma separação física dos mesmos em relação à fracção lenhosa do cepo. Após a primeira trituração e crivagem é vulgarmente necessário proceder a uma re-trituração do material, de modo a atingir uma granulometria adequada aos sistemas de alimentação e queima das caldeiras de biomassa.

Após a descrição das principais tecnologias de aproveitamento de biomassa praticadas actualmente em Portugal, apresentam-se seguidamente alguns casos práticos de recolha e processamento de biomassa, bem como a contabilização das emissões de cada fase da operação.

3.2 Metodologia de contabilização de emissões

Devido à combustão de diferentes tipos de combustível, as fontes móveis produzem directamente diversos GEE's, tais como o dióxido de carbono (CO_2), hidrocarbonetos (expressos em metano (CH_4)) e o óxido nitroso (N_2O). Para além disso, originam ainda outro tipo de poluentes, tais como o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO_2), partículas sólidas e óxidos de azoto (NO_x), os quais contribuem para o aumento da poluição a nível local e/ou regional.

Neste ponto pretende-se referenciar um conjunto de metodologias relacionadas com as estimativas dos GEE's produzidos directamente pelas fontes móveis, nomeadamente CO₂.

Os GEE's produzidos por fontes móveis resultam essencialmente dos seguintes sectores de transportes: transportes rodoviários, transportes todo-o-terreno (fora de estrada), transportes aéreos, transportes ferroviários e transportes marítimos. Neste trabalho serão abordados os transportes rodoviários de biomassa e o transporte associado à recolha e processamento de maquinaria utilizada nas actividades florestais, vulgarmente designadas por actividades "fora de estrada".

Actualmente existe um número considerável de estudos relativo às emissões produzidas pelas fontes móveis. No entanto, dada a diversidade de fontes móveis e o vasto leque de características que afectam cada uma, existe ainda muito trabalho por fazer em áreas tão distintas como as emissões de determinados veículos ou o efeito do envelhecimento do catalisador dos motores da maquinaria de recolha, processamento e transporte. Da mesma forma, falta ainda informação relativa aos países em vias de desenvolvimento, onde a idade média dos meios de transporte, respectiva manutenção, conteúdo de enxofre nos combustíveis e padrões de utilização diferem dos países industrializados.

A metodologia utilizada na estimativa de emissões de GEE's pelos transportes rodoviários foi retratada desde a publicação de "1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories" e "GHG Protocol – Mobile Guide 2000" e revista, em 2006, pelo "IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories" e adaptada pela, AEE em 2007, "Emission Inventory Guidebook", para diversas actividades, nomeadamente também para a actividade florestal.

A estimativa das emissões originadas pelos transportes rodoviários pode ser determinada com base em dois conjuntos independentes de dados:

1. Quantidade de combustível consumido (calculado a partir da quantidade de combustível vendido);
2. Através da distância percorrida pelos veículos (número de quilómetros dos veículos).

Quando ambos os conjuntos estão disponíveis, será importante garantir a sua comparabilidade, caso contrário, as estimativas dos diferentes gases poderão ser inconsistentes.

Utiliza-se geralmente, o primeiro critério (quantidade de combustível consumido) para a estimativa de CO₂, e o segundo critério (distância percorrida pelos veículos) para a estimativa de hidrocarbonetos (expressos em metano (CH₄)) e N₂O.

Deste modo, as emissões de CO₂ são calculadas de forma mais precisa recorrendo ao método da quantidade (e tipo) de combustível usado, através da seguinte expressão:

$$\text{Emissão de CO}_2 = \sum a[\text{Combustível } a * EFa] \quad (\text{Eq.4})$$

Onde:

Emissão de CO₂ = CO₂ emitido (kg);

Combustível a = Combustível consumido do tipo *a* (TJ);

EFa = Factor de emissão do combustível do tipo *a* (kg/TJ). É igual ao conteúdo de carbono do combustível multiplicado por 44/12;

a = tipo de combustível (fuel, diesel, gás, ou outro).

O factor de emissão contabiliza todo o carbono presente no combustível, incluindo o que é emitido sob a forma de CO₂, hidrocarbonetos (expressos em metano (CH₄)), CO e partículas. Ou seja, a estimativa da emissão de CO₂ assume que todo o conteúdo em carbono do combustível é totalmente oxidado em CO₂ ou seja, CO_{2eq}.

Além do transporte rodoviário, os motores de combustão interna são utilizados noutros equipamentos, nomeadamente em transporte “fora de estrada”. Esta categoria inclui veículos e maquinaria móvel utilizada nas actividades agrícolas, florestais, industriais (incluindo construção e manutenção), em aeroportos e veículos móveis na neve, entre outros.

Em relação à maquinaria de exploração florestal tem-se como exemplo:

- Moto-serras

As moto-serras possuem motores a dois tempos, consomem gasolina (mistura) e apresentam uma potência de 2 a 6 kW;

- Tractores Florestais / *Harvesters* / *Skidders*

Estes equipamentos são normalmente utilizados para transporte e abate na floresta. Todas estas máquinas possuem motores a gasóleo com uma potência de 25 a 75 kW.

- Outros Equipamentos Florestais

Dentro deste item estão as processadoras, os *fellers*, os trituradores, entre outros, os quais possuem maioritariamente motores a gasóleo.

Para estes equipamentos existem várias metodologias de cálculo de emissões. Em todo o caso, a estimativa das emissões deve assentar em factos reais e critérios plausíveis. Deste modo, é importante definir um método fiável na sua determinação. Um método simples para estimar as emissões dos veículos “fora de estrada” é baseado no consumo de combustível e nos factores de emissão do combustível, ou seja, de acordo com os documentos orientadores referidos, o cálculo das emissões de CO₂ para as máquinas florestais, moto-serras, *forwarders*, processadoras, é adequado utilizar-se a mesma metodologia de cálculo apresentada para os veículos rodoviários.

A definição dos factores de emissão de CO₂ é baseada no conteúdo de carbono de cada combustível. Para uma abordagem mais precisa é possível utilizar valores específicos de valor calorífico líquido para cada país.

Neste trabalho serão utilizados os factores de emissão estabelecidos no documento do IPCC - Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (1996/2006), tal como se apresenta no **Quadro 16**.

Quadro 16. Factores de emissão (IPCC, 1996/2006)

Tipo de Combustível	Factor de emissão - Valor base (kg CO ₂ /GJ)	Valor Calorífico Líquido (GJ/L)	Emissão de CO ₂ por unidade de volume de combustível kg CO ₂ /L combustível
Gasóleo	74,10	0,0371	2,75
Gasolina	69,20	0,0344	2,38

Os factores de emissão apresentados permitem a conversão dos valores apurados para cada tipo de biomassa e para cada operação de recolha e processamento, obtidos em L/t, para kg CO_{2eq}/t.

3.3 Cálculo das emissões de CO₂ de cada operação

Após a definição da metodologia de cálculo das emissões de CO₂ e de acordo com os dados recolhidos de consumo de combustível das várias operações de produção e transporte de biomassa, apresentam-se em seguida os valores de emissões apurados.

3.3.1 Recolha de Biomassa de Exploração Florestal – Ramas, Folhas e Bicadas

- Recolha e processamento na mata

A recolha de ramas e bicadas na mata é uma operação que deve ser programada e integrada o mais possível na actividade de exploração, ou seja, os sobrantes devem ser posicionados em pequenos montes de modo a facilitar a sua apanha e evitar a contaminação com inertes, por arrastamento. A acumulação dos sobrantes deve ser efectuada junto a caminhos, onde seja possível operacionalizar e colocar os equipamentos necessários para efectuar a trituração e posterior carregamento da biomassa.

No **Quadro 17** apresentam-se os consumos de combustíveis dos vários equipamentos envolvidos nestas actividades.

Quadro 17. Consumos de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de ramas e bicadas na mata, por operação e por máquina

Operação	Equipamento (gasóleo)	Consumo L/h	Produtividade média t/h	Consumo L/t
Corte	n.a. ⁽¹⁾	n.a. ⁽¹⁾	n.a. ⁽¹⁾	n.a. ⁽¹⁾
Rechega	1 Valmet 8000 4-RM	12,50	5,40	2,31
Alimentação	1 Case Poclain 988	11,57	12,50	0,93
Trituração	1 Willibald MZA 4600	25,27	12,50	2,02
Carga	1 Valmet 8000 4-RM	8,10	25,00	0,32
Transporte (carga média ~25 t para 50 km*)	1 Volvo FH 12	0,45 L/km	n.a.	0,90
Total				6,48

n.a. Não aplicável; ⁽¹⁾ O corte é parte integrante da exploração florestal, sendo independente do aproveitamento de biomassa.

* Distância média dentro do raio de fornecimento à central (25 km), contabilizando percurso de ida e volta

$$\text{Emissão de CO}_2 = 2,75 \text{ kg CO}_2/\text{L} * 6,48 \text{ L/t} = 17,82 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{t} \text{ (Eq. 5)}$$

- Recolha e processamento em bioparque

A recolha e processamento de biomassa em bioparque aplica-se nos casos onde:

- Não é possível, devido à falta de espaço na mata, a colocação de equipamentos de trituração da biomassa;
- Permite a concentração de maior quantidade de material a processar, evitando deslocações sucessivas dos equipamentos;
- Permite ainda o aproveitamento de pequenas quantidades de biomassa proveniente de áreas reduzidas, que de outra forma não seria aproveitada, pois não justificariam a deslocação de equipamentos.

Nesta modalidade é necessário ter em conta que, o transporte de ramas e bicadas da mata para bioparque não é viável para distâncias médias superiores a 10 km. O bioparque encontra-se na zona de Albergaria-a-Velha a 15 km da central.

Para esta opção, os consumos são os apresentados no **Quadro 18**.

Quadro 18. Consumos de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de ramas e bicadas em bioparque

Operação	Equipamento (gasóleo)	Consumo L/h	Produtividade média t/h	Consumo L/t
Corte	n.a. ⁽¹⁾	n.a. ⁽¹⁾	n.a. ⁽¹⁾	n.a. ⁽¹⁾
Rechega	Valmet 8000 4-RM	12,50	5,40	2,31
Carga	MAN TGS 33440	9,00	30,00	0,30
Transporte (carga média ~7 t para 10 km)	MAN TGS 33440	0,80 L/km		2,29
Descarga	MAN TGS 33440	9,00	30,00	0,30
Alimentação	Case Poclain 988	11,57	12,50	0,93
Trituração	Willibald MZA 4600	25,27	12,50	2,02
Carga	MANITOU Manscopic	8,10	25,00	0,32
Transporte (carga média ~25 t para 30 km)	Volvo FH 12	0,45 L/km	n.a.	0,54
Total				9,01

n.a. Não aplicável; ⁽¹⁾ O corte é parte integrante da exploração florestal, sendo independente do aproveitamento de biomassa.

$$\text{Emissão de CO}_2 = 2,75 \text{ kg CO}_2/\text{L} * 9,01 \text{ L/t} = 24,78 \text{ kg CO}_{2\text{eq}}/\text{t} \text{ (Eq.6)}$$

- Recolha em fardos e processamento em bioparque

O objectivo de optar pela utilização de um equipamento específico que permita efectuar a recolha de biomassa florestal residual, tendo por princípio a compactação dos materiais em fardos, pode revelar-se positivo na optimização do transporte

(maior densidade dos fardos comparativamente à estilha vulgarmente produzida *in situ*) e posterior armazenamento (os fardos permitem um intervalo de aprovisionamento superior à estilha) da biomassa florestal residual recolhida na mata.

Para esta opção, os consumos são os apresentados no **Quadro 19**.

Quadro 19. Consumos de combustíveis e produtividade do enfardamento e processamento de ramas e bicadas em bioparque

Operação	Equipamento (gasóleo)	Consumo L/h	Produtividade média t/h	Consumo L/t
Enfardamento	Bundler Timberjack 1490D	14,65	5,60	2,61
Rechega	Timberjack 1410	11,50	14,00	0,82
Carga	Timberjack 1410	9,00	30,00	0,30
Transporte (carga média ~30 t)	Volvo FH 12	0,47 L/km		1,56
Descarga	MAN TGS 33440	9,00	30,00	0,30
Alimentação	Case Poclain 988	12,70	27,00	0,47
Trituração	Doppstadt DH - 910	55,10	27,00	2,07
Carga	MANITOU Manscopic	8,10	25,00	0,32
Transporte (carga média ~25 t para 30 km)	Volvo FH 12	0,45 L/km	n.a.	0,54
Total				8,99

Emissão de CO₂ = 2,75 kg CO₂/L * 8,99 L/t = 24,72 kg CO_{2eq}/t (Eq. 7)

3.3.2 Recolha de Biomassa Lenhosa – Rolaria Pinho

- Recolha e processamento na mata

Relativamente à rolaria para biomassa de pinho, a triagem e o aproveitamento da rolaria fina e fora de especificações da indústria (ex: curvatura acentuada)

permitem a retirada e a valorização deste material obtendo uma biomassa estilhada de boa qualidade.

Para esta opção, os consumos são os apresentados no **Quadro 20**.

Quadro 20. Consumos de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de rolaria de pinho na mata

Operação	Equipamento (gasolina e gasóleo)	Consumo L/h	Produtividade média t/h	Consumo L/t
Corte	Sthill (moto-serra, gasolina)	0,80	2,60	0,30
Rechega	Valmet 860 8*8	9,12	9,60	0,95
Alimentação	Case Poclairn 988	13,70	42,00	0,33
Trituração	Doppstadt DH - 910	67,66	42,00	1,61
Carga	MANITOU Manscopic	8,10	25,00	0,32
Transporte (carga média ~25 t para 50 km)	Volvo FH 12	0,45 L/km	n.a.	0,90
Total				4,41

Emissão de CO₂ = Emissão (gasolina) + Emissão (gasóleo) = 2,38 kg CO₂/L * 0,30 L/t + 2,75 kg CO₂/L * 4,11 L/t = 0,714 + 11,31 = 12,02 kg CO_{2eq}/t (Eq.8)

- Recolha e processamento em bioparque

A recolha e processamento da rolaria de pinho em bioparque permite uma concentração de material interessante, de forma a obter benefícios de escala nas várias operações.

No **Quadro 21** apresentam-se os consumos de combustíveis de cada uma das operações existentes num sistema de recolha e processamento de rolaria de pinho em bioparque.

Quadro 21. Consumos de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de rolaria de pinho em biopaqure

Operação	Equipamento (gasolina e gasóleo)	Consumo L/h	Produtividade média t/h	Consumo L/t
Corte	Sthill (gasolina)	0,80	2,60	0,30
Rechega	Valmet 860 8*8	9,12	9,60	0,95
Carga	Valmet 860 8*8	8,63		0,89
Transporte (carga média ~30 t)	Volvo FH 12	0,49 L/km		1,65
Descarga	MAN TGS 33440	11,00	30,00	0,37
Alimentação	Case Poclain 988	13,70	42,00	0,33
Trituração	Doppstadt DH - 910	67,66	42,00	1,61
Carga	MANITOU Manscopic	8,10	25,00	0,32
Transporte (carga média ~25 t para 30 km)	Volvo FH 12	0,45 L/km	n.a.	0,54
Total				6,96

Emissão de CO₂ = Emissão (gasolina) + Emissão (gasóleo) = 2,38 kg CO₂/L * 0,30 L/t + 2,75 kg CO₂/L * 6,66 L/t = 0,714 + 18,32 = 19,03 kg CO_{2eq}/ t (Eq.9)

3.3.3 Recolha de Biomassa Lenhosa – Rolaria Eucalipto

- Recolha e processamento em mata

O aproveitamento da rolaria fina (charuto) de eucalipto fora de especificações para a indústria da pasta (eucalipto com casca com um diâmetro <7 cm e eucalipto sem casca com um diâmetro <5 cm), deve ser igualmente recolhida para produção de estilha de qualidade.

No **Quadro 22** apresentam-se os consumos de combustíveis de cada uma das operações existentes num sistema de recolha e processamento de rolaria de eucalipto em mata.

Quadro 22. Consumos de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de rolaria de eucalipto em mata

Operação	Equipamento (gasóleo)	Consumo L/h	Produtividade média t/h	Consumo L/t
Corte	Cat 320 B	15,88	13,00	1,22
Rechega	Valmet 860 8*8	9,12	7,80	1,17
Alimentação	Case Poclain 988	11,57	37,00	0,31
Trituração	Doppstadt DH - 910	78,42	37,00	2,12
Carga	MANITOU Manscopic	8,10	25,00	0,32
Transporte (carga média ~25 t para 50 km)	Volvo FH 12	0,45 L/km	n.a.	0,9
Total				6,04

Emissão de CO₂ = 2,75 kg CO₂/L * 6,04 L/t = 16,61 kg CO_{2eq}/t (Eq.10)

- Recolha e processamento em bioparque

De igual modo, a rolaria de eucalipto apresenta vantagens de escala no processamento em bioparque.

No **Quadro 23** apresentam-se os consumos de combustíveis de cada uma das operações existentes num sistema de recolha e processamento de rolaria de eucalipto em bioparque.

Quadro 23. Consumos de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de rolaria de eucalipto em bioparque

Operação	Equipamento (gasóleo)	Consumo L/h	Produtividade média t/h	Consumo L/t
Corte	Cat 320 B	15,88	13,00	1,22
Rechega	Valmet 860 8*8	9,12	7,80	1,17
Carga	Valmet 860 8*8	8,63		1,11
Transporte (carga média ~35 t)	Volvo FH 12	0,42 L/km		1,17
Descarga	MAN TGS 33440	11,00	30,00	0,37
Alimentação	Case Poclain 988	11,57	37,00	0,31
Trituração	Doppstadt DH - 910	78,42	37,00	2,12
Carga	MANITOU Manscopic	8,10	25,00	0,32
Transporte (carga média ~25 t para 30 km)	Volvo FH 12	0,45 L/km	n.a.	0,54
Total				8,33

Emissão de CO₂ = 2,75 kg CO₂/L * 8,33 L/t = 22,91 kg CO_{2eq}/t (Eq.11)

3.3.4 Recolha de Biomassa Lenhosa – Cepos de Eucalipto

A recolha e processamento de cepos são normalmente efectuados na mata, visto que o transporte em bruto dos cepos é extremamente ineficaz e difícil. Esta operação requer maquinaria própria e efectua-se usualmente quando se executam reconversões de eucaliptal. Os valores de biomassa por hectare variam muito com a densidade de cepos. De qualquer modo, podem ser indicados para esta operação os valores médios para uma densidade de 900 a 1100 cepos por hectare, que são apresentados no **Quadro 24**.

Quadro 24. Consumos de combustíveis e produtividade na recolha e processamento de cepos de eucalipto na mata

Operação	Equipamento (gasóleo)	Consumo L/h	Produtividade média t/h	Consumo L/t
Arranque e Corte do Cepo	Giratória CASE	23,50		4,00
Rechega	Giratória + Dumpers	55,00		4,50
Alimentação ao Pré -Triturador	Case Poclain 988	24,00		1,50
Pré-Trituração e Crivagem	Tromel	45,00		2,50
Alimentação ao Triturador	CBI	70,00		3,50
Carga	MANITOU Manscopic	8,10	25,00	0,32
Transporte (carga média ~25 t para 50 km)	Volvo FH 12	0,45 L/km	n.a.	0,9
Total				17,22

Emissão de CO₂ = 2,75 kg CO₂/L * 17,22 L/t = 47,36 kg CO_{2eq}/t (Eq.12)

No quadro seguinte, (**Quadro 25**), é compilada a informação referente às várias metodologias de recolha e processamento por tipo de biomassa.

Quadro 25. Quadro comparativo das metodologias de recolha e processamento de cada tipo de biomassa, relativamente aos consumos e emissões

Tipo de Biomassa (origem)	Local de Processamento	Consumo combustível (L/t)	Emissão global do Processo (kg CO_{2eq}/ t)
Ramas, Folhas e Bicadas	Mata	6,48	17,82
	Bioparque	9,01	24,78
	Enfardamento/ Bioparque	8,99	24,72
Rolaria Pinho	Mata	4,41	12,02
	Bioparque	6,96	19,03
Rolaria Eucalipto	Mata	6,04	16,61
	Bioparque	8,33	22,91
Cepos	Mata	17,22	47,36

De acordo com os valores obtidos, verifica-se que as emissões de CO_{2eq} aumentam quando a biomassa é recolhida e transportada para os bioparques e posteriormente processada, devido aos processos de transporte e de carga/descarga adicionais.

No entanto, a infra-estrutura de bioparque permite acumular maiores quantidades de biomassa, efectuando operações de maior escala. Também é evitada a deslocação à mata de meios e equipamentos de trituração e carga, o que apesar não ser contemplado neste trabalho, pode contribuir para o aumento das emissões de CO₂ nos processos que se desenrolam em mata.

A trituração e o transporte de biomassa são as operações com mais emissões de CO₂. A proximidade dos centros de consumo de biomassa à floresta (matéria-prima) deve ser tido em conta, pois desta forma obtém-se uma maior eficiência energética, reduzindo as deslocações e transportes de biomassa até às centrais. Será também possível diminuir as emissões de CO_{2eq} e o custo do transporte.

A recolha e o processamento de bicadas, nas várias modalidades, apresentam sempre índices de emissão de CO_{2eq} elevados, dada a baixa densidade deste material, sendo a operação dos cepos, o tipo de biomassa com mais emissões a nível global, pois requer a mobilização vários equipamentos.

É também de notar que entre as duas espécies florestais se verifica que a remoção da biomassa lenhosa do eucalipto apresenta emissões mais elevadas do que a recolha e o processamento de pinheiro bravo. Este facto deve-se à aplicação e execução dos cortes com meios mais pesados no caso do eucalipto e ao maior consumo de combustível na trituração deste material, dada a sua elevada resistência mecânica devido à presença de casca fibrosa.

Após a determinação das emissões das operações de recolha e processamento da biomassa, apresenta-se no capítulo seguinte a contabilização das emissões da unidade fabril em estudo.

4. Emissões no Processo de Produção de Energia a partir de Biomassa

A combustão de biomassa, associada a combustíveis lenhosos, aos resíduos agroflorestais ou a resíduos processuais de tratamento de biomassa, constitui, actualmente, a tecnologia de conversão de biomassa dominante.

O processo de combustão da biomassa integra um complexo conjunto de reacções, habitualmente enquadradas em quatro fases distintas: *secagem; pirólise; gaseificação e combustão (resíduo carbonoso e produtos gasosos)*. Em linhas gerais, no decorrer do processo de combustão, a biomassa começa por perder o seu teor em humidade, utilizando a energia térmica libertada por outros dos seus componentes. Após a secagem dá-se a libertação de monóxido de carbono e de compostos voláteis: numa primeira fase, metano e outros hidrocarbonetos leves, e posteriormente, com o aumento da temperatura, espécies de maior massa, como os alcatrões. Num processo de combustão, estes gases podem representar cerca de 70 % do poder calorífico associado à biomassa (AIE, 2004). O processo finaliza com a oxidação do resíduo carbonoso e a retenção das cinzas (Araújo, 2008; Gulyurtlu *et al.*, 2006).

A indústria de pasta de papel produz e consome quantidades consideráveis de energia, sob várias formas, ao longo do processo produtivo: no digestor da madeira; na máquina de pasta; na máquina de papel; no tratamento de efluentes líquidos e gasosos; na recuperação de papéis velhos. A maior parte da energia é produzida pelas próprias unidades industriais com recurso à queima de combustíveis. Entre estes destaca-se a utilização de biomassa, resultante da preparação de madeiras (casca e outros desperdícios) e da dissolução da lenhina da madeira (licor negro).

As centrais termoeléctricas convencionais convertem apenas 1/3 da energia do combustível em energia eléctrica, havendo, então, a necessidade de elevar a eficiência do processo, o que pode ser conseguido através da cogeração.

Na cogeração existe produção e exploração consecutiva de duas formas de energia - eléctrica e térmica - a partir de um sistema que utiliza o mesmo combustível, conseguindo-se que mais de 4/5 da energia do combustível seja convertida em

energia utilizável nas próprias unidades ou outras, nas suas proximidades, com benefícios financeiros e ambientais.

Em seguida, são apresentadas algumas das características da caldeira de biomassa em estudo e posteriormente a contabilização das emissões referentes ao ano de 2008.

4.1 A caldeira de Biomassa

A caldeira de biomassa da unidade industrial em estudo entrou em funcionamento em 1987, complementando a instalação de descasque de rolaria de eucalipto.

Após um período de ajustamento atingiu níveis elevados de queima de biomassa, interna e adquirida ao exterior, permitindo a substituição de combustível fóssil auxiliar, dando assim um contributo muito significativo na redução das emissões de CO₂.

A caldeira de biomassa, com uma potência de 100 MW, em conjugação com a caldeira de recuperação do licor negro, fornece mais de 90 % das necessidades de calor e electricidade da unidade fabril, num processo de co-geração.

A tecnologia de queima existente na unidade fabril, até ao final do ano de 2008, foi a grelha rotativa. Apresentam-se em seguida alguns dados técnicos do equipamento (Jaakko Poyry E., 1995):

- Caldeira de grelha rotativa Babcock;
- Volume aproximado da fornalha 790 m³;
- Combustível: Biomassa, (com PCS de 19 MJ/kg, na base seca)
- Combustível auxiliar: fuel óleo
- Humidade do combustível: 43 a 50%
- Vazão de vapor: 125 t/h
- Pressão de vapor: 62,8 bar
- Temperatura de vapor: 425°C
- Temperatura da água de alimentação: 130°C
- Consumo de biomassa: 33 a 39 t/h
- Ar de combustão: 180°C
- Gases de combustão (excesso de ar): 41%
- Temperatura da fornalha: 920 a 950°C

A caldeira é alimentada pelo silo diário, que é carregado por um transportador de correia. O combustível é doseado por parafusos sem-fim, sendo, de seguida, transportado para uma das extremidades da grelha (ver **Figura 37**). Ao longo da grelha, o combustível é sujeito a combustão, que é alimentada por uma corrente de ar ascendente. Com este dispositivo, os compostos não voláteis são queimados na grelha e os compostos voláteis no espaço imediatamente acima da grelha. Somente uma parte do ar (ar primário) é introduzida através da grelha, para reagir com o carbono fixo, sendo a parte restante (ar secundário) introduzido na caldeira acima da grelha para assegurar a queima da matéria volátil. Nesta caldeiras, a taxa de combustão é basicamente controlada pelo caudal de ar fornecido, sendo que quanto maior for o teor de matéria volátil do combustível, maior é a quantidade de ar secundário necessário. As partículas finas, cinzas volantes arrastadas pelos gases quentes, são recolhidas em equipamentos apropriados, como precipitadores electrostáticos. As partículas maiores, essencialmente constituídas por cinzas pesadas (escórias), são descarregadas na extremidade oposta da grelha, relativamente à da alimentação dos sólidos.

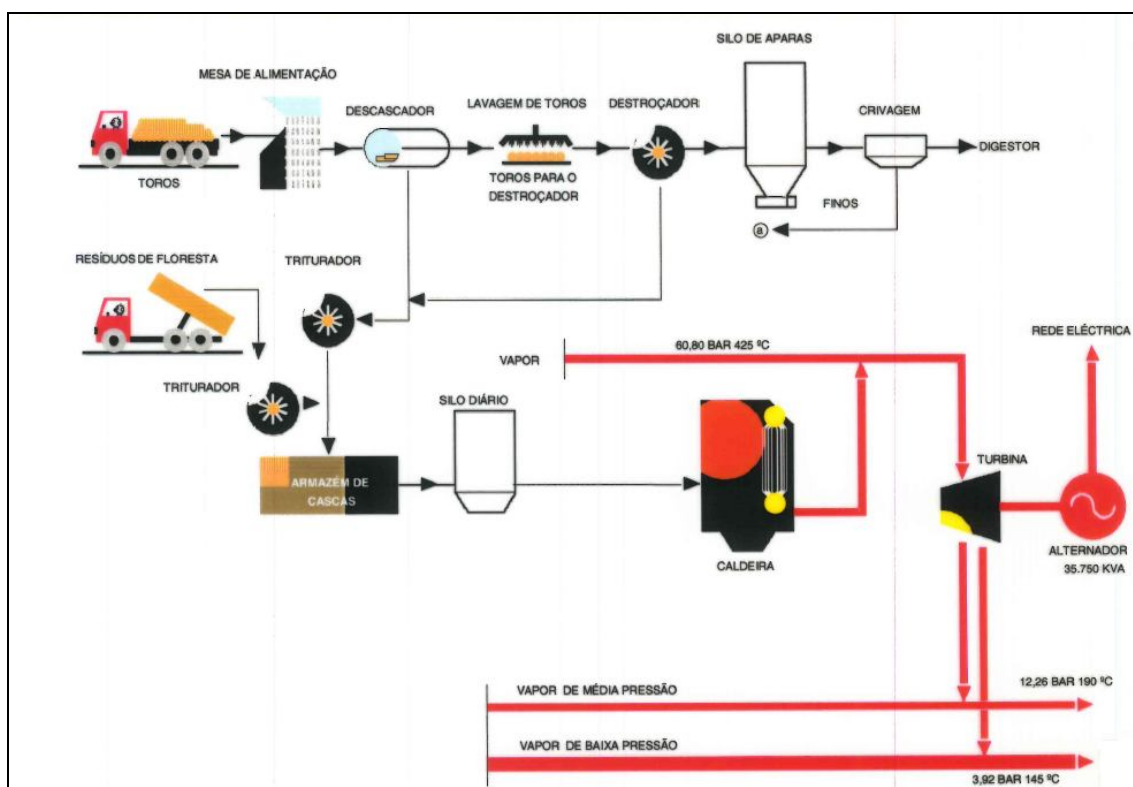


Figura 37. Organograma da central de grelha da unidade fabril

Dadas as condições de operação da caldeira, é necessário ter especial atenção às emissões de CO, arrastamento de partículas e condições instáveis de queima, obrigando ao uso do combustível auxiliar, fuel óleo, para normalização da operação, sempre que necessário.

O rendimento energético da caldeira de biomassa, nas condições actuais, é da ordem dos 70%.

As variáveis com mais influência no rendimento da caldeira de biomassa, com grelha, são:

- Qualidade da Biomassa

Granulometria: é muito importante para uma boa distribuição na grelha. A biomassa não pode ter fracções muito grandes, nem muito finas e deve ser “solta” para que a queima seja o mais homogénea possível, prevenindo-se, assim, os inqueimados e os arrastamentos;

Humidade: A humidade muito elevada faz com que a temperatura da combustão desça muito pela necessidade de evaporar a água presente no combustível, formando-se CO e, ao mesmo tempo, obrigando ao uso de combustível auxiliar;

Poder calorífico: combustíveis com poderes caloríficos pobres originam temperaturas de queima baixas e obrigam à utilização de combustível auxiliar;

Homogeneidade: se os itens atrás referidos são, de *per si*, condicionantes da operação de uma caldeira a biomassa, a sua conjugação torna o controlo da estabilidade da queima muito difícil, levando ao uso de grandes quantidades de combustível auxiliar e à dificuldade do controlo das emissões para a atmosfera.

Parte da biomassa, utilizada na caldeira, pode ser considerada como biomassa com características que dificultam o processo de combustão, pois tem granulometria muito variável, faz novelos, apresenta valores de PCI muito diferentes, alguns muito baixos (por exemplo, casca, ramos e bicadas) e apresenta humidade elevada, irregular e sazonal.

- Excesso de Ar

Quantidades de ar em excesso, superiores ao que seria necessário a uma combustão adequada, implicam perdas de calor elevadas com os gases de

extracção e aumento dos consumos eléctricos na movimentação dessa massa de ar em excesso. O aumento do excesso de ar reduz a transferência de calor na fornalha por redução de ΔT e do tempo de residência.

A resolução das limitações técnicas da actual caldeira, que se encontra em estudo no presente trabalho, será efectuada pela alteração do sistema de queima através da implementação da tecnologia de leito fluidizado, prevista para 2009. Esta tecnologia está incluída no BREF (IPCC) relativo à indústria em questão, como uma Melhor Técnica Disponível (MTD) e considerada a tecnologia mais adequada para a queima de combustíveis menos homogéneos e com elevada humidade, produzindo efluentes gasosos com valores baixos de CO e NOx.

É também referenciada como tendo elevado rendimento energético da caldeira de biomassa (85-87 %). Com esta solução haverá também a diminuição acentuada das emissões de CO₂ que resultam da combustão de 7500 t/ano de combustível auxiliar, na actual caldeira.

Apesar desta previsível alteração na tecnologia de combustão, o presente trabalho reporta-se a valores obtidos com a tecnologia de grelha, utilizada durante mais de 20 anos nesta unidade.

4.2 Consumos no Centro Fabril (ano de 2008)

Durante o ano de 2008 foi consumido, no Centro Fabril em estudo, um total de 56.577 t de biomassa interna (casca própria, base seca), 37.769 t de biomassa externa (base tal-qual) e 5.938 t de fuel-óleo como combustível auxiliar da caldeira de biomassa.

A biomassa externa compreende vários tipos de biomassa, como bagaços de azeitona e uva, peletes, nós incozidos (rejeitos do processo), casca externa (proveniente de outras unidades fabris), bicadas trituradas e estilha de lenho e cepos.

No **Quadro 26** apresentam-se os consumos mensais e totais de diferentes tipos de biomassa e fuel-óleo.

Quadro 26. Consumos totais e mensais de biomassa e fuel-óleo (t) referente ao ano de 2008 (Dados internos do centro fabril)

Meses	Fuel-óleo	Casca Própria	Peletes	Nós	Casca Externa	Bag. Az.	Bag. Uva	Bicadas Trit.	Estilha Lenho/Cepo	Total
Jan-08	1.241,27	10.954,78	0,00	1.593,94	0,00	1.151,20	0,00	0,00	2.747,56	17.688,75
Fev-08	548,36	8.727,78	0,00	1.670,66	0,00	555,66	44,93	0,00	2.124,48	13.671,87
Mar-08	683,74	12.024,17	682,10	1.179,15	0,00	351,44	65,38	0,00	2.018,21	17.004,19
Abr-08	459,29	11.722,47	605,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1.423,67	14.211,27
Mai-08	340,26	11.774,20	489,56	0,00	2.492,56	0,00	0,00	168,91	2.714,52	17.980,02
Jun-08	715,70	8.754,78	679,25	0,00	70,47	105,42	0,00	57,84	1.200,00	11.512,98
Jul-08	120,67	8.643,46	1.115,37	451,80	1.698,66	927,23	38,86	0,00	86,40	11.383,80
Ago-08	200,23	12.228,84	0,00	846,65	0,00	184,43	0,00	-20,95	0,00	13.439,19
Set-08	290,34	8.491,46	0,00	1.534,28	2.452,20	493,23	0,00	0,00	2.466,14	13.275,44
Out-08	243,79	11.327,83	0,00	1.177,76	0,00	727,22	0,00	0,0	0,00	13.476,60
Nov-08	561,85	11.238,74	0,00	0,00	2.242,20	1.150,86	0,00	0,00	0,00	12.951,45
Dez-08	532,32	9.838,08	0,00	0,00	0,00	1.959,87	394,90	0,00	0,00	12.725,17
Total	5.937,80	125.726,58	3.572,12	8.454,24	8.956,09	7.606,56	544,07	205,80	14.780,97	175.784,24
% Total em massa	3,38	71,52	2,03	4,81	5,09	4,33	0,31	0,12	8,41	-
Humidade média (%)	-	55,00	6,60	59,00	55,00	30,00	30,00	29,90	22,20	-
PCI médio (GJ/t) (b.s.)	40,36	15,42	18,59	14,40	15,42	18,61	19,34	16,68	17,88	-
% Total em energia	14,97	54,50	3,87	3,12	3,88	6,19	0,46	0,15	12,85	-

A casca gerada internamente, pelo descasque dos toros de eucalipto, representa cerca de 72% (em massa) do consumo anual de biomassa da caldeira. Este combustível tem um elevado teor de humidade: 80%, após descasque em tambor, e 55 a 60%, após trituração. A casca triturada forma novelos e longas “cordas”, que pela sua forma, granulometria e elevado teor de humidade a tornam um combustível de difícil manuseamento. Deste modo, é necessário adicionar outras biomassas com diferentes granulometrias, de forma a obter uma mistura combustível de fácil manuseamento e com maior conteúdo energético.

A quantidade de fuel óleo consumida representou cerca de 4% (em massa) de todo o combustível consumido pela caldeira, no ano de 2008. A biomassa de origem florestal externa representa aproximadamente 9% (em massa) do total.

Em termos energéticos, a maior geração de energia provém da casca própria, seguida do fuel-óleo e da biomassa florestal externa, representando 55%, 15% e 13%, respectivamente.

4.3 Contabilização das emissões no Centro Fabril

4.3.1 Metodologia de cálculo

De acordo com o disposto na Decisão da Comissão 2007/589/CE, relativa às orientações gerais aplicáveis à monitorização e comunicação de informações relativas às emissões de GEE resultantes de actividades industriais, existem as seguintes duas metodologias que permitem determinar as emissões:

1. Uma metodologia baseada no cálculo, que determina as emissões de fluxos-fonte com base em dados da actividade, obtidos por meio de sistemas de medição e de parâmetros adicionais a partir de análises laboratoriais ou de factores normalizados;
2. Uma metodologia baseada em medições, que determine as emissões de uma fonte de emissão por meio de medição contínua da concentração dos gases com efeito de estufa, relevantes nos gases de combustão e do fluxo de gases de combustão.

No caso em estudo foi aplicada a metodologia 1, com base no cálculo de emissões a partir dos dados de actividade. No entanto, foi adicionalmente abordado o cálculo das emissões baseado na média das medições efectuadas na própria instalação.

O cálculo das emissões de CO₂, de acordo com a metodologia 1, deve basear-se na seguinte equação:

$$\text{Emissões de CO}_2 = \text{Dados da actividade} * \text{Factor de emissão} * \text{Factor de oxidação} \quad (\text{Eq.13})$$

Os dados da actividade devem basear-se no consumo de combustível. A quantidade de combustível utilizado é expressa, em termos de teor energético, em TJ e o factor de emissão é expresso em t CO₂/TJ. Durante o consumo de um combustível, nem todo o carbono nele contido se oxida a CO₂. A oxidação incompleta verifica-se devido a ineficiências no processo de combustão que levam a que uma parte do carbono não seja queimada ou seja parcialmente oxidada em fuligem ou cinza. O carbono não oxidado ou parcialmente oxidado é tido em conta no factor de oxidação, que deve ser expresso como fracção da unidade. A fórmula de cálculo resultante é a seguinte:

$$\text{Emissões de CO}_2 = \text{Fluxo de combustível [t ou Nm}^3\text{]} * \text{Valor calorífico líquido} \left[\frac{\text{TJ}}{\text{t}} \text{ ou } \frac{\text{TJ}}{\text{Nm}^3} \right] * \text{Factor de Emissão} \left[\frac{\text{t CO}_2}{\text{TJ}} \right] * \text{Factor de oxidação} \quad (\text{Eq.14})$$

As orientações específicas da actividade contemplam metodologias específicas para determinar as seguintes variáveis: dados da actividade (que consistem nas duas variáveis fluxo de combustível/material e valor calorífico líquido), factores de emissão, dados relativos à composição e factores de oxidação. Estas diferentes abordagens são designadas níveis metodológicos.

Para esta instalação de combustão com uma potência térmica nominal superior a 20 MW, deve ser utilizado o Nível Metodológico 2, (Nível Metodológico 2a de Poder Calorífico Inferior, Nível Metodológico 2a de Factor de Emissão e Nível Metodológico 2 de Factor de Oxidação (Anexo II, capítulo 2.1.1.1 Actividades de combustão gerais, da Decisão da Comissão n.º 2007/589/CE, de 18.07.2007), dada a utilização de fuel-óleo como combustível auxiliar. O consumo de combustível durante o período de informação deve ser determinado pelo operador ou fornecedor de combustível com uma incerteza máxima inferior a ± 5%.

A utilização de biomassa em que a fracção de carbono é, no mínimo, de 97 % (em massa) da quantidade total de carbono contido no combustível ou material, permite que as emissões de CO₂ sejam estimadas mediante abordagens sem níveis. Sendo a biomassa considerada neutra em termos de CO₂, deve-lhe ser aplicado um factor de emissão igual a 0. No entanto, para efeitos do estabelecimento do balanço das emissões de CO₂, a nível teórico utilizou-se, nesta dissertação, um factor de emissão de 29,9 t C/TJ (IPCC, 1997) (ver **Quadro 27**).

$$\text{Factor de emissão} \frac{tCO_2}{TJ} = \text{Teor de C} \frac{t}{TJ} * \frac{44tCO_2}{12 tC} \quad (\text{Eq.15})$$

Quadro 27. Valor calorífico, factores de emissão e oxidação (Decisão da Comissão 2007/589/CE; APA, 2008; DR n°122/2008 (MEI); IPCC (2006); Unidade Fabril (2008))

Tipo de Biomassa	PCI (b.s.) (GJ/t)	Factor Emissão (kg CO ₂ /GJ)	Factor Oxidação
Biomassa (madeira/ resíduos madeira)	12,60 (APA, 2008)	109,60 (IPCC, 2006)	1,00 (APA, 2008)
	15,60 (IPCC, 2006)		
	13,80 – 15,60 (DR n°122/2008)		
Casca	15,42*		
Nós	14,40*		
Bicadas Trituradas	11,60 (IPCC, 2006)		
	16,68*		
Estilha Lenho/Cepo	17,88*		
Peletes	16,80 (DR n°122/2008)		
	18,59*		
Bagaço Azeitona	18,61*		
Bagaço Uva	19,34*		
Fuel óleo	40,36 (APA, 2008)	77,40 (APA, 2008)	0,99 (APA, 2008)

* Valores médios de 2008 (Unidade Fabril (2008))

O factor de emissão referido para a biomassa (madeira/resíduos), é generalizado para toda a biomassa sólida e os valores de PCI para cada tipo de biomassa são variáveis consoante a bibliografia consultada, o que pode originar algumas diferenças nos resultados obtidos. Nos cálculos seguintes foram utilizados os valores apresentados no quadro anterior de acordo com cada tipo de biomassa.

Em relação ao factor de oxidação para emissões de combustão, este deve reflectir a proporção de carbono que não é oxidada no processo.

Apesar de, pelas indicações da U.E., não ser contemplado o carbono emitido pela queima de biomassa, este será contabilizado neste estudo, para que se possa analisar qual a quantidade emitida total pela queima da biomassa (CO₂ inerente à biomassa + CO₂ fóssil). Para a biomassa interna (casca própria), o consumo é estimado com base na quantidade de madeira com casca recebida, pesada na báscula do operador e convertida em toneladas secas com base na quantidade recebida, expressa em volume sólido (m³ sólidos), multiplicado pelo factor de conversão (tonelada de casca absolutamente seca/m³ sólido) que faz parte do histórico de informação que a empresa detém. Na biomassa externa, o consumo é estimado com base na quantidade de biomassa externa recebida, pesada na báscula do operador.

4.3.2 Cálculo de emissões pelos dados de actividade

De acordo, com as equações e valores de factores bibliográficos anteriormente referidos, foi possível calcular o valor global de emissões por combustível consumido na caldeira, no ano de 2008.

No **Quadro 28** apresentam-se os valores globais de emissões de CO₂ para o fuel-óleo e para a biomassa, a partir dos dados de actividade, ou seja, dos valores de quantidades de combustíveis consumidos.

Quadro 28. Emissões de CO_{2eq} da caldeira (t), provenientes de diferentes tipos de biomassa e de fuel-óleo, para o ano de 2008

Fonte bibliográfica para a metodologia de cálculo	Fuel-óleo	Casca Própria	Peletes	Nós	Casca Externa	Bagaço Azeitona	Bagaço Uva	Bicadas Trituradas	Estilha Lenho/Cepo	Total
APA (2008)	18.363,44	78.130,53		4.786,74	5.565,60	10.860,34	807,27	199,23	15.880,47	141.391,34
IPCC (2006)		96.733,04		5.926,44	6.890,74			183,42	19.661,54	166.223,94
Unidade Fabril (2008)		95.616,89	6.797,71	5.470,56	6.811,24			263,74	22.535,15	167.526,34
DR nº122/2008 (limite inf.)		85.571,54	6.577,27	52.42,62	6.095,66			218,21	17.392,90	151.129,24
DR nº122/2008 (limite sup.)		96.733,04		59.26,44	6.890,74			246,67	19.661,54	166.066,75

Observando o quadro anterior, verificam-se algumas diferenças relativamente aos valores obtidos por cada metodologia.

Deste modo, considerando como referência os dados da unidade fabril para o ano de 2008, o total de emissões da caldeira de biomassa é de 167.526,34 t CO_{2eq}, sendo 18.363,44 t CO_{2eq} de origem fóssil (fuel-óleo) (10,9%) e 149.162,90 t CO₂ proveniente de biomassa (89,0%), das quais 22.798,89 t CO₂ são provenientes de biomassa de origem florestal (bicadas trituradas e estilha de lenho/cepos) (13,6% das emissões totais e 15,3% das emissões provenientes da biomassa).

Verifica-se, deste modo, que a contribuição de fuel óleo para as emissões é significativa. Isto deve-se ao combustível florestal de maior abundância, casca, apresentar teores de humidade médios de 55%, bem como, ao não aproveitamento do calor residual para secar a biomassa, pelo que torna necessário a adição do combustível auxiliar fóssil, a fim de evitar a variação da temperatura da caldeira.

Assim, tendo em conta os valores das humidades médias dos vários tipos de biomassa (ver **Quadro 26.**), é possível determinar a quantidade de combustível fóssil utilizado para "secar" cada tipo de biomassa e as emissões inerentes, bem como, a quantidade e emissões de combustível fóssil utilizado para queima "directa" (ver **Quadro 29.**).

Quadro 29. Emissões CO_{2eq} fóssil, não fóssil e total (t) (fuel-óleo + biomassa) por tipo de biomassa, da unidade fabril referente ao ano de 2008

	Fuel-óleo	Casca Própria	Peletes	Nós	Casca Externa	Bagaço Azeitona	Bagaço Uva	Bicadas Trituradas	Estilha Lenho/Cepo	Total
Fuel-óleo	288,74	4.590,85	15,65	331,15	327,14	151,50	10,84	4,08	217,85	5.937,80
Emissões CO _{2eq} fóssil	892,96	14.197,78	48,45	1.024,12	1.011,72	33,52	468,53	12,62	673,73	18.363,44
Emissões CO ₂ não fóssil	-	95.616,89	6.797,71	5.470,56	6.811,24	10.860,34	807,27	263,74	22.535,15	149.162,90
Emissões CO _{2eq} total (fuel-óleo + biomassa)	892,96	109.814,67	6.846,11	6.494,68	7.822,96	108.93,86	1.275,81	276,36	23.208,88	167.526,34

Pela observação do quadro anterior verifica-se que 288,74 t de fuel-óleo foram consumidas como combustível directamente, sendo o restante combustível utilizado para secagem dos vários tipos de biomassa, sendo a casca própria a maior consumidora dada a sua elevada humidade e quantidade.

Os peletes e os bagaços (azeitona e uva) são materiais com teores de humidade abaixo dos 12 e 35% respectivamente, sendo a sua função principal de melhoramento da mistura combustível, em termos de humidade, consumindo pouco combustível fóssil para secagem.

A partir do consumo de fuel-óleo para secagem é possível determinar as emissões correspondentes e distinguir a origem das emissões de CO₂, fóssil e não fóssil (biomassa), por tipo de biomassa.

4.3.3 Cálculo de emissões a partir de medições

A caldeira de biomassa da unidade fabril está sujeita a monitorização das emissões de CO₂ para a atmosfera. Deste modo, é possível calcular um valor total aproximado das emissões de CO₂ da unidade fabril em 2008, com recurso aos registos de medição.

No **Quadro 30** apresentam-se alguns valores estatísticos de emissão de CO₂ da caldeira de biomassa, no ano de 2008.

Quadro 30. Valores estatísticos de emissão de CO₂ da caldeira de biomassa, no ano de 2008 (Informação da unidade fabril)

Nº horas funcionamento	8169
Caudal de gás (m ³ /min)	~2400
Valor mínimo de CO ₂ (% v/v)	0,00
Valor máximo de CO ₂ (% v/v)	15,70
Valor médio medições (% v/v)	7,63

Sabendo que:

Massa molar (CO₂) = 44 g/mol

1 mol gás perfeito ocupa 22,4 dm³, em condições PTN (pressão e temperatura normais)

A partir dos dados anteriores, tem-se:

Concentração média de CO₂ ($\frac{\text{mg CO}_2}{\text{m}^3 \text{ gás}}$) =

$$= \% \text{ CO}_2 \text{ (v/v)} \times 10^4 \times \frac{44}{22,4} = 7,63 \times 10^4 \times \frac{44}{22,4} = 149.875,00 \frac{\text{mg CO}_2}{\text{m}^3 \text{ gás}}$$

(Eq.16)

$$\text{CO}_2 \text{ total (t CO}_2\text{)} = \frac{\text{mg CO}_2}{\text{m}^3 \text{ gás}} \times \frac{\text{m}^3 \text{ gás}}{\text{tempo min}} \times \text{tempo func. h / ano} \times \frac{1 \text{ t}}{10^9 \text{ mg}} =$$

$$= \frac{149.875,00}{10^9} \times 2400 \times \frac{60}{1} \times 8169 = 176.303,35 \text{ t CO}_2$$

(Eq.17)

Sabendo que:

CO₂ total = CO₂ fóssil + CO₂ biomassa (Eq.18)

É possível determinar a fracção de CO₂ proveniente da biomassa:

CO₂ biomassa = CO₂ total – CO₂ fóssil =

$$= 176.303,35 \text{ t} - 18.363,4 \text{ t} = 157.939,95 \text{ t CO}_2 \text{ (Eq.19)}$$

Este valor representa o montante global das emissões de CO₂ provenientes da queima de toda a biomassa utilizada na caldeira, ao longo do ano de 2008.

A partir dos valores obtidos com as duas abordagens, é possível comparar as diferentes metodologias de cálculo das emissões de CO₂.

Verifica-se a existência de um diferencial significativo, de 8.777,05 t CO₂ da biomassa, entre a metodologia de cálculo com base nos valores dos dados de actividade (149.162,90 t) e a metodologia com base no valor médio das medições de CO₂ (157.939,95 t).

Esta discrepância de valores pode ser justificada pela utilização do valor médio das emissões anuais, o que não traduz o quantitativo real das emissões ao longo do período de funcionamento da caldeira. Em relação ao factor de emissão da biomassa este é generalizado para toda a biomassa sólida, ou seja, não existe uma especificidade referente a cada tipo e origem de biomassa. É igualmente importante referir que, o pressuposto assumido relativamente ao factor de oxidação da biomassa, (1,00), promove discrepâncias no cálculo das emissões de CO₂. Estas diferenças podem estar na origem da disparidade dos resultados apresentados.

De qualquer modo, a metodologia utilizada neste estudo para o cálculo do balanço de CO₂, terá como referência os resultados obtidos a partir dos dados de actividade da unidade fabril, a partir dos quais é possível quantificar, por tipo de biomassa, as respectivas emissões.

5. Balanço de CO₂

No presente capítulo realiza-se a compilação dos vários dados recolhidos ao longo deste estudo, quer em bibliografia, referente ao sequestro de CO₂, quer nos resultados obtidos pelas metodologias aplicadas no cálculo das emissões dos processos de recolha, processamento e combustão da biomassa florestal de origem exterior na Central em estudo. Em seguida, efectua-se um balanço de CO₂ ao processo global de produção de energia a partir da biomassa florestal externa.

5.1 Balanço de CO₂ por tipo de biomassa

Em seguida apresenta-se o balanço quantitativo entre o sequestro e as emissões de CO₂, por tipo de biomassa e por processo de recolha e processamento, de acordo com as quantidades entradas na unidade fabril.

$$\text{Balanço (t CO}_2\text{)} = \text{Sequestro (t CO}_2\text{)} - \text{Emissões (t CO}_{2\text{eq}}\text{)} \text{ (emissões da recolha e processamento + combustão de biomassa + combustão de fuel-óleo) (Eq.20)}$$

Todas as entradas de biomassa na unidade fabril são registadas quanto ao tipo de biomassa, proveniência do fornecimento e localidade. Deste modo, é possível estabelecer a traceabilidade da biomassa que entra na unidade fabril.

No **Quadro 31** são apresentadas as quantidades e a origem dos diferentes tipos de biomassa que foram utilizadas no ano de 2008 na caldeira da unidade fabril e as emissões de CO_{2eq} resultantes da sua recolha, processamento e transporte.

Quadro 31. Quantidades, emissões e proveniência de cada tipo de biomassa florestal consumida na caldeira da unidade fabril, no ano de 2008

Tipo de Biomassa	Recolha e Processamento	Quantidade (base tal qual) (t)	Emissões CO ₂ eq biomassa (t)
Bicadas e ramas <i>E. globulus</i>	Bioparque	205,80	263,74
Estilha do lenho de <i>P. pinaster</i>	Bioparque	5.593,50	8.527,88
Estilha do lenho de <i>E. globulus</i>	Mata	730,14	1.113,18
Estilha do lenho de <i>E. globulus</i>	Bioparque	8.040,82	12.259,08
Estilha de cepos de <i>E. globulus</i>	Mata	416,51	635,01

De acordo com os quantitativos de biomassa produzida, do CO₂ sequestrado para cada espécie analisada, das emissões discriminadas por origem de biomassa consumida, e das emissões fósseis respectivas é possível calcular o balanço de CO₂ para cada tipo de biomassa.

A partir dos dados de produtividade (t / (ha.ano)) é possível converter este valor em CO₂ da seguinte forma:

$$\text{Produtividade (sequestro)} \frac{\text{t CO}_2}{\text{ha.ano}} = \text{Produção de Biomassa} \frac{\text{t}}{\text{ha.ano}} (\text{peso seco}) \times \% \text{ Carbono da Fração de Biomassa} \times \frac{44}{12}$$

(Eq.21)

No **Quadro 32**, estão expressos os valores que exprimem tanto o sequestro da biomassa, bem como da sua emissão (assumindo que a combustão é perfeita).

Quadro 32. Dados base para o cálculo do balanço de CO_{2eq} de cada tipo de biomassa florestal

Tipo de Biomassa	Produtividade de biomassa (peso seco) (t /ha)	Rotação (n° anos)	Teor de Carbono na biomassa (%) (Quadro 15)	Sequestro de CO ₂ (t CO ₂ /ha.ano)	Recolha e Processamento (Quadro 25; Quadro 31)		Emissão de CO ₂ fóssil p/secagem da biomassa (t CO _{2eq}) (Quadro 29)
					Local	Emissão de CO _{2eq} * Quantidade biomassa (t CO ₂)	
Bicadas e ramas <i>E. globulus</i>	14,70 (Quadro 11)	12	49,4	2,26	Bioparque	5,10	12,62
Estilha do lenho de <i>P. pinaster</i>	30,10 (Quadro 8)	50	44,3	0,97	Bioparque	106,44	254,96*
Estilha do lenho de <i>E. globulus</i>	17,50 (Quadro 10)	12	40,4	2,16	Mata	12,13	33,28*
Estilha do lenho de <i>E. globulus</i>					Bioparque	184,22	366,51*
Estilha de cepos de <i>E. globulus</i>	25,50 (Quadro 13)	24	48,1	1,87	Mata	19,73	18,98*

*estimativa proporcional

Com o objectivo de uniformizar as unidades e possibilitar a comparação dos balanços de CO₂, é possível afectar as quantidades de cada tipo de biomassa consumida a uma área de produção de biomassa e subsequente sequestro de carbono. No **Quadro 33** é apresentada a área potencial de produção e sequestro da biomassa consumida e sua capacidade como sumidouro de CO₂:

Quadro 33. Estimativa de área de produção e capacidade de sequestro relativa à quantidade de biomassa consumida na unidade fabril no ano de 2008

Tipo de Biomassa	Produtividade de biomassa (peso seco) (t/ha)	Rotação (nº anos)	Sequestro de CO ₂ (t CO ₂ /ha.ano)	Quantidade (base seca) (t)	Área de produção (ha)	Sequestro de CO ₂ total (t CO ₂)
Bicadas e ramas <i>E. globulus</i>	14,70 (Quadro 11)	12	2,26	144,27	9,81	266,04
Estilha do lenho de <i>P. pinaster</i>	30,10 (Quadro 8)	50	0,97	4.351,74	144,58	7.026,59
Estilha do lenho de <i>E. globulus</i>	17,50 (Quadro 10)	12	2,16	568,05	32,46	841,36
Estilha do lenho de <i>E. globulus</i>				6.255,82	357,46	9.265,36
Estilha de cepos de <i>E. globulus</i>	25,50 (Quadro 13)	24	1,87	324,04	12,70	569,98

Comparando os valores obtidos no quadro anterior, da estimativa do sequestro de CO₂ para a quantidade de biomassa consumida, com as emissões de CO₂ (ver **Quadro 31**), calculadas pelos dados de actividade do centro fabril, verificam-se algumas diferenças significativas. Estas diferenças podem ser justificadas pela utilização de diferentes métodos de cálculo, bem como, na utilização de diferentes valores base, nomeadamente, no sequestro de CO₂, diferentes produtividades dependendo da área geográfica, e no caso das emissões, a variabilidade de valores de PCI, já referenciada.

Deste modo no âmbito do balanço de CO₂ é importante considerar que o carbono sequestrado na biomassa é re-emitido na queima (admitindo combustão quase perfeita), pelo que o balanço do sequestro e emissão da biomassa, deverá dar valores próximos de zero. Deste modo, adoptando os valores de PCI obtidos na unidade fabril para o cálculo das emissões, considera-se o valor do sequestro de carbono (convertido em t CO₂) de igual valor ao emitido (ver **Quadro 28**). Utilizando ainda os valores do **Quadro 32**, obtêm-se os seguintes balanços:

- **Bicadas e ramas de Eucalipto em Bioparque**

$$\text{Balanço t CO}_2 = 263,74 - (5,10 + 263,74 + 12,62) = - 17,72 \text{ t CO}_{2\text{eq}}$$

- **Estilha do Lenho de Pinho em Bioparque**

$$\text{Balanço t CO}_2 = 8.527,88 - (106,44 - 8.527,88 - 254,96) = - 361,40 \text{ t CO}_{2\text{eq}}$$

- **Estilha de Lenho de Eucalipto**

Na Mata:

$$\text{Balanço ton CO}_2 = 1.113,8 - (12,13 + 1.113,18 + 33,28) = - 45,41 \text{ t CO}_{2\text{eq}}$$

Em Bioparque:

$$\text{Balanço ton CO}_2 = 12.259,08 - (184,22 + 12.259,08 + 366,51) = - 550,73 \text{ t CO}_{2\text{eq}}$$

- o **Estilha de Cepos Eucalipto**

$$\text{Balanço ton CO}_2 = 635,01 - (19,73 + 635,01 + 18,98) = - 38,71 \text{ t CO}_{2\text{eq}}$$

Pela observação dos resultados obtidos pode afirmar-se que o balanço entre sequestro e emissão não é nulo em nenhum dos casos. A emissão de CO_{2eq} é principalmente resultante do consumo do combustível auxiliar utilizado, gasóleo e fuel-óleo. A afectação das emissões do fuel-óleo à queima da biomassa depende da tecnologia de queima que se encontra instalada.

Em seguida, determina-se o balanço global de CO₂ para a biomassa florestal de origem exterior no ano de 2008, do centro fabril.

5.2 Balanço anual de CO₂ da biomassa florestal exterior

Considerando os valores acima determinados e de acordo com o consumo de biomassa no ano de 2008 na central, apresenta-se o balanço global anual de emissões de CO₂ da biomassa florestal exterior.

Assim tem-se:

$$\text{Balanço (t CO}_2) = \text{Sequestro CO}_2 \text{ na biomassa} - \text{Emissões t CO}_2 \text{ biomassa}$$

$$= 22.798,89 - (327,62 + 22.798,89 + 1.013,97) = - 1.341,59 \text{ t CO}_{2\text{eq}}$$

Deste modo, verifica-se que o processo de aproveitamento e queima de biomassa florestal de origem exterior, resulta na emissão de 1.341,59 t CO₂, referente ao ano de 2008.

Este valor representa aproximadamente 1,0% do total de emissões de biomassa da caldeira de biomassa.

A título exemplificativo, considerando um sequestro médio de carbono de 0,5 t C / (t biomassa.ha.ano) para a biomassa de ramas e bicadas de eucalipto, seria necessário reflorestar uma área aproximada de 61,1 ha por um período de 12 anos, para esta fracção da biomassa capturar o excesso de CO₂ emitido.

6. Conclusões

A minimização das alterações climáticas que nos últimos anos têm se tornado cada vez mais evidentes, dado o aumento da concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera, bem como, a procura de novas fontes de energia alternativas, renováveis e menos poluentes, são actualmente objectivos e compromissos de todos os países da UE.

A biomassa revela-se sem dúvida como uma aposta forte no universo das energias renováveis, bem como, um meio eficaz para minimizar as emissões de GEE, com o objectivo de diminuir os efeitos das alterações climáticas.

Neste contexto, Portugal tem evoluído no sentido de potenciar a implementação de produção de energia a partir de fontes renováveis, nomeadamente da biomassa, propondo em 2006, um concurso público de 15 novas centrais, exclusivamente abastecidas com biomassa florestal.

Do ponto de vista económico-social, o investimento na energia a partir de biomassa, permite o melhor aproveitamento do recurso bem como, a criação de riqueza por via do emprego em meios rurais e o aumento da independência energética do país.

O presente estudo baseou-se num conjunto de dados analíticos e operacionais específicos de uma região e de uma determinada central, deste modo é possível obter valores e conclusões diferentes de caso para caso. É importante considerar que existem vários estudos de contabilização de biomassa e respectivo conteúdo em carbono, bem como, várias tecnologias de aproveitamento de biomassa, (equipamentos e marcas), o que se reflecte em diferentes consumos e consequentemente, em diferentes valores de emissão. As tecnologias de queima são igualmente diversas, pelo que, com certeza também se verificarão diferenças nas respectivas emissões.

Em relação ao combustível biomassa, existe igualmente uma variabilidade de origens e proveniências, pelo que deveria ser objecto de definição mais específica para cada tipo de biomassa o valor de PCI e respectivo factor de emissão.

De qualquer modo, verifica-se que, para o caso em estudo e de acordo com os dados obtidos, a premissa de que o aproveitamento de biomassa florestal para produção de energia é um ciclo de carbono neutro, não é realista se se considerar

as emissões de CO₂ dos processos de recolha, aproveitamento e queima de biomassa florestal. Este ciclo só se anula se a totalidade do carbono emitido for totalmente reabsorvido com o aumento da área florestada.

Para a central em estudo e considerando apenas a biomassa florestal de origem externa (bicadas e ramas trituradas; estilha de lenho de pinho e eucalipto e estilha de cepos), perfazendo o total de 11.645 t (peso seco); produzida e recolhida numa área média estimada de cerca de 567 ha; após processamento, transporte e queima auxiliada por um combustível fóssil; o balanço de CO_{2eq} resulta na emissão adicional para a atmosfera de cerca de 1.342 t CO_{2eq} para o ano de 2008, representando assim 0,12 t CO_{2eq} / t de biomassa consumida.

Esta emissão positiva deve-se essencialmente à utilização de gasóleo na maquinaria de recolha, processamento e transporte da biomassa, que corresponde a 327,62 t CO_{2eq} do total emitido. As restantes 1013,67 t CO_{2eq} devem-se ao combustível auxiliar utilizado (fuel-óleo), que dadas as características da caldeira, exige um consumo constante deste combustível fóssil. O combustível auxiliar é usado para a “secagem” da biomassa, sendo igualmente utilizado para queima directa, aumentando as emissões globais da caldeira.

Na quase totalidade dos projectos em curso e a realizar, verifica-se que a tecnologia adoptada para queima de biomassa recorre a caldeiras de leito fluidizado, pelo que, não é de considerar o recurso a um combustível auxiliar fóssil (gás ou fuel-óleo), para a “secagem” da biomassa, visto esta tecnologia ser bastante mais eficiente. Deste modo, as emissões de origem fóssil serão irrelevantes neste tipo de centrais.

Por outro lado, o resultado líquido da emissão proveniente do manuseamento da biomassa, pode à partida parecer pouco significativo, no entanto, se se admitir os valores de emissões obtidos nos vários processos de recolha, transformação e transporte de biomassa como valores médios, e se extrapolar para o total consumo de biomassa previsto para o ano de 2010, verifica-se que o resultado do balanço entre sequestro e emissão resultante do consumo de biomassa é de extrema relevância e deve ser contabilizado.

Decorrente do consumo de biomassa para energia previsto para o ano de 2010, outra questão igualmente importante é a disponibilidade e sustentabilidade deste recurso. Pela análise dos estudos e previsões apresentadas, o consumo anual de biomassa supera em larga escala a disponibilidade anual deste recurso. É

necessário ter em conta que, a sobre exploração da biomassa pode ter reflexos na utilização da floresta e nas fileiras florestais instaladas, bem como na viabilidade das centrais dedicadas, pois estas terão de aumentar o seu raio de abastecimento com conseqüente aumento dos custos de transporte e emissões associadas. Este aumento do consumo pode igualmente desequilibrar o balanço das emissões referente ao sequestro de CO₂, no que respeita a utilização da floresta. Em suma é necessário garantir uma boa gestão da biomassa e promover a sua sustentabilidade como recurso.

De qualquer modo, o valor deste balanço é muito inferior, quando comparado com um cenário de queima exclusiva de um combustível fóssil, pelo que as vantagens de utilização de biomassa são efectivas e positivas em termos de emissão de CO₂. Comparando directamente com a utilização de um combustível fóssil como o carvão (betuminoso), utilizado nas centrais térmicas no nosso país, considerando os restantes factores constantes, (rendimento da caldeira, condições de pressão e temperatura, etc.), tem-se: Factor de Emissão de 92 kg CO₂/ GJ, Factor de Oxidação de 0,98 e Poder calorífico de 25,98 GJ/ t (APA, 2008). Deste modo, verifica-se que para a mesma quantidade de energia produzida seriam necessárias 7745 t, correspondendo a emissão líquida de 18.143 t CO_{2eq}, representando assim uma emissão unitária de 2,3 t CO_{2eq} / t de carvão, considerando apenas a queima do combustível, e não contabilizando as emissões de extracção, manuseamento e transporte do combustível até à unidade fabril. Deste modo, são explícitas as vantagens de queima de biomassa. Esta relativização esclarece inequivocamente a discrepância da emissão de um combustível fóssil (carvão) e a emissão de uma fonte renovável como a biomassa.

Numa perspectiva de trabalho futuro, de continuação e aprofundamento das matérias abordadas, será um contributo relevante considerar e realizar uma análise de ciclo de vida da biomassa florestal, dado que este estudo apenas contempla uma parte do ciclo, da colheita de biomassa à sua utilização (queima). Devem ser contabilizados todos os factores de produção e todas as operações florestais desde o início do ciclo de produção florestal, incluindo a preparação do solo, plantação, adubação, etc., bem como, contemplar outras tecnologias de transformação de biomassa para produção de energia como por exemplo a densificação (peletes) e o próprio manuseamento da biomassa produzida nos centros fabris. Também as operações de tratamento de resíduos deveriam ser afectadas à biomassa, como sejam o transporte de cinzas e o consumo de energia no electrofiltro e bombas de ar da caldeira, por exemplo.

Referências Bibliográficas

- Abecassis, F., Cabral, N. (2000) *Análise Económica e Financeira de Projectos*. 4ª Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Agência para a Energia (ADENE/ INETI) (2001) Fórum “Energias Renováveis em Portugal”- Relatório Síntese.
- Agência Europeia Energia (2007) *Emission Inventory Guidebook: Road Transport – Activities*, Aristotle University Thessaloniki
- Agência Internacional de Energia (2002) *World Energy Outlook 2002*. OECD, IEA, Paris.
- Agência Internacional de Energia (2004) *World Energy Outlook 2004*. OECD, IEA, Paris.
- Agência Internacional de Energia (2006) *World Energy Outlook 2004*. OECD, IEA, Paris.
- Agência Internacional de Energia (2007) *World Energy Outlook 2004*. OECD, IEA, Paris.
- Agência Portuguesa do Ambiente - APA (2008) Tabela de valores de Poder Calorífico Inferior, Factores de Emissão e Factores de Oxidação de CO₂ utilizados no Inventário Nacional de Gases com Efeito de Estufa. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa. 2 pp.
- Agência Portuguesa do Ambiente - APA (2008) Tabela de valores de Poder Calorífico Inferior, Factores de Emissão e Factores de Oxidação de CO₂ utilizados no Inventário Nacional de Gases com Efeito de Estufa publicado em 2008 – complemento para o combustível Biomassa (madeira) e valores de densidade. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa. 1 pp.
- Aliança Florestal, (2003) “Melhoria de Produtividade da Exploração e Transporte Florestais”, Direcção Geral dos Recursos Florestais. Lisboa. 61 pp.
- Aliança Florestal, Celbi, (2007) *Planeamento Operacional e Boas Práticas de Exploração Florestal*. Direcção Geral dos Recursos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Silveira, Unimadeiras. Lisboa, 64 pp.
- Araújo, D. (2008) *Co-Combustão de Biomassa e Carvão em Leito Fluidizado - Impactes nas emissões atmosféricas de NOx, SO₂, CO, Dioxinas e Furanos e Material Particulado*. UNL-FCT. Tese de mestrado. Lisboa. 141 pp.
- Berggren, H., Savolainen, V. (2000) *Wood Fuels Basic Information Pack*. Swedish National Energy Administration, Jyväskylä, pp. 33 -80.

-
- Cabrita, I., Gulyurtlu, I. (2006) Apresentação Desafios Tecnológicos perante a substituição do petróleo por biomassa DEECA. Seminário Energia, Inovação, Novas soluções, UNL-FCT, 10 Maio. 49 pp.
- Canaveira, P. (2006) Apresentação "A Floresta e o Protocolo de Quioto – A Floresta Nacional: Mitos e Realidades". CELPA, 26 Maio 2006, CENJOR.
- Carvalho, J. (2008) Produção e Logística de Biomassa Florestal para Bioenergia. Workshop "Que Opções para a Biomassa", 27 Junho 2008, Celorico de Basto.
- Carvalho, J. (2006) Energy from Forestry: Basics, Advantages and Problems from a Company Perspective. Portucel Soporcel Abastecimento, Setúbal. 21 pp.
- Centro de Economia Ecológica e Gestão do Ambiente (2000) Estudo sobre o Sector Eléctrico. 1º Relatório, Impactes Ambientais do Sector Eléctrico, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, FCT-UNL, Lisboa.
- Chiaramonti, D. and Martelli, F. (2004) Biomass Energy Conversion Technologies (thermal): Combustion. Mestrado em Bioenergia, Módulo 2.4, pp. 64-68.
- Commission of the European Communities (COM) (2004) Comunicação da Comissão – Plano de Acção Biomassa, SEC (2005) 1573.
- Commission of the European Communities (COM) (2007) Communication from the commission to the European Council and the European Parliament – An Energy Policy for Europe, SEC (2007) 12.
- Costa, J. (2006) Caracterização de Resíduos Resultantes da Co-combustão de Biomassa e Carvão, Dissertação de Mestrado, FCT/UNL
- Decisão da Comissão 2007/589/CE, de 18 de Julho de 2007, Orientações para a monitorização e a comunicação de informações relativas às emissões de gases com efeito de estufa, nos termos da Directiva 2003/87/CE do Parlamento Europeu e do Conselho.
- Diário da República 2ª série, Nº 122, 26 Junho 2008, Ministério Economia e Inovação.
- Dias, J. (2002) Utilização da Biomassa: Avaliação dos Resíduos e Utilização de Pellets em Caldeiras Domésticas. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, pp. 4-17.
- Direcção Geral de Energia e Geologia - DGEG (2006) Estratégia Nacional para a Energia – Construção de uma rede dedicada de centrais de biomassa. Direcção Geral de Geologia e Energia, Lisboa, pp.
- Direcção Geral de Energia e Geologia - DGEG (2008) Estatísticas Rápidas – Renováveis. Direcção Geral de Geologia e Energia, Lisboa, pp 6 e7.
- Direcção Geral dos Recursos Florestais - DGRF (2005) Biomassa e Energias Renováveis, na Agricultura, Pescas e Florestas. Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa, pp. 4-37

-
- Direcção Geral dos Recursos Florestais - DGRF (2006) Resultados do Inventário Florestal Nacional 2005/06. DGRF, Lisboa, pp. 2-10.
- Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho 2001/77/CE, relativa à promoção da electricidade produzida a partir de fontes de energia renováveis no mercado interno da electricidade, 27 de Setembro de 2001;
- Enersilva (2007) Promoção do Uso de Biomassa Florestal para Fins Energéticos no Sudoeste da Europa. Forestis. Portugal. 40 pp.
- Fabião, A. (1986) Contribuição para o Estudo da Dinâmica da Biomassa e da Produtividade Primária Líquida em Eucaliptais. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 206 pp.
- Fonseca, T., Lopes, D., Aranha, J., Roxo, L., Marques, C.P., (2008) Apresentação "Fixação de Carbono nos Ecosistemas Florestais Portugueses", Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 10 Março 2008.
- Goes, A. (2007) Apresentação A Logística da Biomassa Florestal, Seminário "Aproveitamento da biomassa florestal para fins energéticos", Santarém, 6 Junho 2007.
- Gulyurtlu I., Lopes H., Boavida D., Abelha P., (2006), "Co-firing of biomass and other wastes in fluidised bed systems", Proceedings of 19th FBC Conference, Part I, p.1-11.
- Gulyurtlu *et al.*, (2006) Renewable Energy Technologies (RET's) Part V: Biomassa for energy Module 2.3. IMES. UNT-FCT. 17pp.
- Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) (1996) Land-Use Change & Forestry, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, IPCC.
- Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) (1997) Módulo «Energia», 1A. Instruções para a comunicação de informações para os Inventários de Gases com Efeito de Estufa. Orientações IPCC revistas de 1996 para os inventários nacionais de gases com efeito de estufa.
- Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) (2006) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Mobile Combustion (Cap. 3), IPCC.
- Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) Emission Inventory Guidebook (2006) Other Mobile Sources & Machinery – Activities, Aristotle University Thessaloniki, December 2006, 1-16 pp.
- Instituto de Investigação da Floresta e Papel (RAIZ) (2005) Validação do Modelo de Produção de Biomassa e Absorção de Nutrientes para E. Globulus, Grupo Portucel Soporcel. 32 pp.
- Instituto de Investigação da Floresta e Papel - RAIZ (2006) Boletim de análise de amostras de biomassa. RAIZ, Eixo.
- Instituto de Investigação da Floresta e Papel - RAIZ (2007) Boletim de análise de

-
- amostras de biomassa. RAIZ, Eixo.
- Instituto de Investigação da Floresta e Papel - RAIZ (2008) Boletim de análise de amostras de biomassa. RAIZ, Eixo.
- Jaako Poyry Engenharia Lda. (1995) Avaliação Técnica da Caldeira de Biomassa-Relatório Técnico. Cacia. 83 pp.
- Lopes, D., Aranha, J. (2006) Avaliação do Conteúdo de Carbono de Matéria Seca de Diferentes Componentes de Árvores de *Eucalyptus globulus* e de *Pinus Pinaster*, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. EFN Lisboa, Silva Lusitana 149-154pp.
- Lopes, H. (2006) Apontamentos de Poluição Atmosférica, Módulo 5.4 – IMES, UNL-FCT. 1-21 pp.
- Lopes, D. (2007) Análise Crítica à Metodologia Utilizada na Quantificação do Carbono Fixado por Povoamentos de Pinheiro Bravo, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Seminário "Investigação Aplicada na Gestão do Pinhal", Coimbra, Abril de 2007.
- Loustau D., Berbigier P., Guillet B., Disnar J.R., Balesdent J., Bosc A., Bonnefond J.M., Lamaud E., Brunet Y., (2007) "Carbon balance of a maritime pine forest over a 11-year long period". Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, 2008.
- Mateus, T. (2007) O Potencial Energético da Floresta Portuguesa: Análise do Potencial Energético Disponível para as Centrais Termo-elétricas a Biomassa Florestal Lançadas a Concurso, Universidade do Porto. Relatório do Mestrado Energias Renováveis. 1-15 pp.
- Energia e Alterações Climáticas, MEI – Ministério da Economia e Inovação - Relatório Energia e Alterações Climáticas (2007) Ministério da Economia e Inovação. Lisboa. 27 pp.
- Oliveira, A.C., Pereira, J.S., Correia, A., (2000) A silvicultura do pinheiro bravo, Centro Pinus. Porto. 111 pp.
- Páscoa, F., Faias, S., Teixeira, A., Paulo Morais, P., Tomé, M., Tomé, J., Lopes, D., 2006. Equations to estimate tree biomass in *Pinus pinaster* Aiton stands in Portugal. "International Conference on Indicators for Sustainable Forest Management in Cultivated Forests". Porto, Universidade Católica. 11-13 December 2007.
- Páscoa, F. (2008) Apresentação "Biomassa Florestal - Energia", Escola Superior Coimbra. 15 Outubro 2008.
- Pereira J.S., (2006) Árvore que Retém Mais Carbono É o Eucalipto, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 2 pp.
- Pereira, J., Correia, A., Pita, G., Carneiro, M., Nogueira, C., Silva, J., Rodrigues A., Fabião, A., Madeira, M., Banza, J., (2007) Balanço de Carbono no Eucaliptal –

-
- Comparação entre o Fluxo Turbulento de CO₂ e a Estimativa do Modelo CO₂FIX V3.1, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.
- Pereira J.S., Correia A., Evangelista M., Ochoa P., (2007) O sequestro de carbono em ecossistemas de pinhal manso no sul de Portugal. Instituto Superior Agronomia. Lisboa. 1-5 pp.
- Plano Nacional para as Alterações Climáticas - PNAC (2006) Presidência de Conselho de Ministros. Lisboa. 31 de Julho. 49 pp.
- Redes Energéticas Nacionais (REN) (2007) Dados Técnicos Electricidade – Valores Provisórios, REN , S.A. Lisboa. 2 pp.
- Redes Energéticas Nacionais (REN) (2008) Dados Técnicos Electricidade – Valores Provisórios, REN , S.A. Lisboa. 2 pp.
- Resolução do Conselho de Ministros (RCM) (2003) Política Energética Nacional, Resolução do Conselho de Ministros nº 63/2003, de 28 de Abril.
- Resolução do Conselho de Ministros (RCM) (2004) Programa Nacional para as Alterações Climáticas, Resolução do Conselho de Ministros nº 119/2004, de 31 de Julho.
- Resolução do Conselho de Ministros (RCM) (2005) Estratégia Nacional para a Energia, Resolução do Conselho de Ministros nº 169/2005, de 24 de Outubro.
- Santos, P. (2008) Apresentação “A Biomassa na Política Energética Nacional – Questões Relevantes e as Centrais Termoeléctricas a Biomassa”, Sobioen – Soluções de Bioenergia, Seminário Tradição e Futuro: Desafios da nossa Floresta”. Castelo Branco. 8 Outubro 2008.
- Tomé, M., (2001) Apontamentos e Sebentas da Disciplina de Inventário Florestal, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 29 pp.
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) GHG Protocol (2000) Calculating CO₂ Emissions from Mobile Sources, Guidance to Calculation Worksheets, GHG Protocol – Mobile Guide (03/21/05) Vol. 3.
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (2005) folheto A Indústria Sustentável dos Produtos Florestais, Carbono e Alterações Climáticas: Mensagem-chave para decisores políticos. 4 pp.
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (2007) folheto Biomassa – Resumo Temático, Energia e Clima.4 pp.

Endereços electrónicos

Agência Europeia do Ambiente (EEA), <http://www.eea.europa.eu/>, última consulta em Novembro 2006

Agência Internacional de Energia, <http://www.iea.org/>, última consulta em Julho 2007

Autoridade Florestal Nacional, www.dgrf.min-agricultura.pt

Conferência Energia,

http://www.cfn.ist.utl.pt/conf_energia/files/22_1_Apresentacao.pdf, última consulta em Setembro 2007

Direcção Geral de Energia e Transportes – Comissão Europeia, http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/index_pt.html, última consulta em Julho 2007

Direcção Geral de Geologia e Energia (DGGE), <http://www.dge.pt/main.asp>, última consulta em Julho 2007

Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE),

<http://www.erse.pt/vPt/Entrada/>

Eurobserv'ER, <http://www.eurobserv-er.org>, última consulta em Dezembro 2008

Food and Agriculture Organization, www.fao.org

Observatório, <http://earthobservatory.nasa.gov>, última consulta em Novembro de 2008

www.sywoodfuel.com

ANEXOS

ANEXO I

Equações de volume percentual com casca

EVP

dependentes de d (diâmetro de despona)

Zona	Espécie	Fórmula	β_1	β_2	β_3	Referência
Sines	P.bravo	$R = \exp[-\beta_1(d^{\beta_2}/dap^{\beta_3})]$ dap (cm) d(cm)	0.7084	4.5317	4.3164	Falcão, 1994
Castelo Branco	P.bravo	$R = \exp[-\beta_1(d/dap)^{\beta_2}]$	1.3923	4.4379		Alegria, 1993

Dap = 30cm; d = 7cm; R = 10%

ANEXO II

Equações de volume para o *Eucalyptus globulus*

Equações de volume percentual com casca

EVP

dependentes de d (diâmetro de despona)

Zona	Espécie	Fórmula	β_1	β_2	β_3	Referência
Zona Centro	E.globulus	$R = \exp\left(\beta_1 \left(\frac{d}{dap}\right)^{\beta_2}\right)$ $d \text{ (cm)} \quad dap \text{ (cm)} \quad R \text{ (%)}$	-1.54224169	4.31459618		(Tomé 1990)

Dap=17,4cm; d=7cm; R=10%