

EXPANSÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS COM FINS ENERGÉTICOS NO  
BRASIL E SUA INFLUÊNCIA NAS EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA  
– GEE: ANÁLISE DE DOIS CENÁRIOS FUTUROS.

Renzo Sebastián Eduardo Solari Puentes

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Planejamento Energético,  
COPPE, da Universidade Federal do Rio de  
Janeiro, como parte dos requisitos  
necessários para a obtenção do título de  
Mestre em Planejamento Energético.

Orientadores: Marcos Aurélio Vasconcelos  
de Freitas  
Emilio Lèbre La Rovere

Rio de Janeiro

Dezembro de 2010

EXPANSÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS COM FINS ENERGÉTICOS NO  
BRASIL E SUA INFLUÊNCIA NAS EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA  
– GEE: ANÁLISE DE DOIS CENÁRIOS FUTUROS.

Renzo Sebastián Eduardo Solari Puentes

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA  
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

---

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas, D.Sc.

---

Prof. Emilio Lèbre La Rovere, D.Sc.

---

Prof. Neilton Fidelis da Silva, D.Sc.

---

Eng. Christiano Pires de Campos, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2010

Solari Puentes, Renzo Sebastián Eduardo.

Expansão das Florestas Plantadas com Fins Energéticos no Brasil e sua Influência nas Emissões dos Gases de Efeito Estufa – GEE: Análise de Dois Cenários Futuros/Renzo Sebastián Eduardo Solari Puentes. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XII, 135 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas

Emilio Lèbre La Rovere.

Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2010.

Referencias Bibliográficas: p. 129 - 135.

1. Florestas Energéticas, 2. Emissões de GEE, 3. Cenários Futuros. I. Freitas, Marcos Aurélio Vasconcelos de *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético.

## **Agradecimentos**

Ao CNPq e ao Brasil, pelo auxílio financeiro durante todo o período do mestrado e pelo acolhimento no país.

Aos meus professores orientadores, Marcos Freitas e Emilio La Rovere, pelo apoio, atenção, confiança e os valiosos aportes dos seus conhecimentos nos momentos cruciais deste trabalho.

Aos ilustres membros da Banca de Avaliação por aceitar a integrá-la.

Aos funcionários da Plantar S/A pela ajuda prestada na visita técnica às áreas dos plantios e unidade de carbonização em Minas Gerais.

Aos colegas do PPE, LIMA e IVIG, pela convivência, troca de experiências e ensinamentos durante todo este tempo.

Aos funcionários do PPE, pela atenção e auxílio nas questões pertinentes à secretaria acadêmica.

Às pessoas queridas pela ajuda e amizade em todos os momentos.

À minha família, pelo apoio incondicional desde o Chile.

E, acima de tudo, a Deus pelas oportunidades entregues e a força interior que me tem dado durante a minha vida.

Dedicado, especialmente, a Patrícia Puentes Calvo † (5/11/1987)

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.).

EXPANSÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS COM FINS ENERGÉTICOS NO  
BRASIL E SUA INFLUÊNCIA NAS EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA  
– GEE: ANÁLISE DE DOIS CENÁRIOS FUTUROS.

Renzo Sebastián Eduardo Solari Puentes

Dezembro/2010

Orientadores: Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas

Emilio Lèbre La Rovere.

Programa: Planejamento Energético

As florestas possuem um papel importante na problemática do clima global, isto por serem grandes fontes emissoras de GEE, principalmente pelo desflorestamento, mas, também, por serem grandes fontes de estoque e de absorção de carbono da atmosfera, devido ao crescimento da sua biomassa. O presente trabalho de dissertação apresenta uma análise, desde o ponto de vista da oferta de biomassa lenhosa energética (carvão vegetal), através da expansão de florestas plantadas de Eucalipto no Brasil e sua influência nas emissões e remoções de GEE para dois cenários futuros: Tendencial e Normativo. A análise comparativa se deu através dos cálculos das remoções e emissões dos GEE do crescimento das florestas plantadas e a produção e uso de carvão vegetal na fabricação do ferro-gusa na indústria siderúrgica nacional. Além disto, foi possível visualizar a expansão territorial e o uso do solo deste tipo de florestas plantadas no país. Deste modo é possível afirmar que a produção e uso de carvão vegetal renovável, por meio do plantio de florestas de Eucalipto, apresenta-se como uma opção válida de mitigação às emissões de GEE e, também, como mais uma alternativa no uso de biocombustíveis, sendo um passo na busca de uma economia de baixo carbono no Brasil.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

EXPANSION OF PLANTED FORESTS FOR ENERGY PURPOSES IN BRAZIL  
AND ITS INFLUENCE ON GREENHOUSE GASES EMISSIONS - GHG:  
ANALYSIS OF TWO FUTURE SCENARIOS.

Renzo Sebastián Eduardo Solari Puentes

December/2010

Advisors: Marcos Aurélio Vasconcelos Freitas

Emilio Lèbre La Rovere.

Department: Energy Planning

Forests have an important role in global climate issues, that because they are large emission sources of greenhouse gases, mainly from deforestation, but also because they are great sources of supply and absorption of carbon from the atmosphere due to the growth of the biomass. This paper of dissertation presents an analysis, from the standpoint of energy supply of woody biomass (charcoal), through the expansion of eucalyptus plantations in Brazil and its effect on emissions and removals of greenhouse gases for two future scenarios: Trend and Normative. The comparative analysis was made by calculating the GHG emissions and removals of the growth of planted forests and the production and use of charcoal in the manufacture of pig iron in the domestic steel industry. Besides, it was possible to visualize the territorial expansion and land use of this type of planted forests in the country. Thus it is possible that the production and use of clean coal, through the planting of eucalyptus forests, presents itself as a valid option for mitigating GHG emissions and also as an alternative in the use of biofuels, being a step towards a low carbon economy in Brazil.

## INDICE

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUÇÃO.....                                                                                                | 1  |
| CAPITULO I.....                                                                                                | 5  |
| 1. FLORESTAS PLANTADAS E USO DO SOLO. ....                                                                     | 5  |
| 1.1 - Situação Atual das Florestas.....                                                                        | 5  |
| 1.2 - Florestas Plantadas .....                                                                                | 8  |
| 1.2.1 - Florestas plantadas no Brasil e sua produção .....                                                     | 14 |
| 1.2.2 - Florestas plantadas no Brasil e o futuro.....                                                          | 16 |
| 1.3 - Florestas Plantadas com Fins Energéticos e Uso do Solo .....                                             | 20 |
| 1.4 - Florestas plantadas com fins energéticos e sua produtividade .....                                       | 26 |
| CAPITULO II.....                                                                                               | 30 |
| 2. FLORESTAS, CICLO DO CARBONO E MUDANÇAS CLIMATICAS.....                                                      | 30 |
| 2.1 - A Floresta e o balanço do carbono .....                                                                  | 32 |
| 2.2 - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e as Florestas .....                                                  | 35 |
| 2.2.1 - Status dos Projetos MDL florestais .....                                                               | 39 |
| CAPITULO III .....                                                                                             | 45 |
| 3. BIOMASSA FLORESTAL E ENERGIA.....                                                                           | 45 |
| 3.1 - Biomassa Florestal como Fonte de Energia .....                                                           | 47 |
| 3.2 - Carvão Vegetal: Produção e Uso.....                                                                      | 50 |
| 3.2.1 - Tecnologias de Produção de CV .....                                                                    | 52 |
| 3.2.2 - Emissões de GEE na Carbonização .....                                                                  | 54 |
| 3.3 – Siderurgia a Carvão Vegetal .....                                                                        | 56 |
| 3.3.1 - Emissões de GEE na Produção de ferro-gusa a CV .....                                                   | 60 |
| 3.4 - Oferta Atual e Futura da Biomassa Florestal para Energia .....                                           | 62 |
| 3.5 - Demanda Atual e Futura da Biomassa Florestal para Energia .....                                          | 65 |
| CAPITULO IV. ....                                                                                              | 69 |
| 4. MATERIAIS E METODOS.....                                                                                    | 69 |
| 4.1 – Materiais .....                                                                                          | 69 |
| 4.2 – Método .....                                                                                             | 73 |
| 4.2.1 – Calculo da produção de CV e quantidade de madeira demandada no Cenário Tendencial .....                | 73 |
| 4.2.2 – Cálculo das remoções/emissões de carbono da expansão das florestas energéticas.....                    | 78 |
| 4.2.2 - Calculo das Emissões de GEE da produção de carvão vegetal (carbonização) para os cenários futuros..... | 84 |

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.3 - Cálculo das emissões de GEE na produção de ferro-gusa à carvão vegetal              | 85  |
| 4.2.4 - Balanço geral das emissões/remoções de GEE dos cenários Tendencial e Normativo..... | 87  |
| 4.2.5 – Estimativa da distribuição da expansão da floresta energética no Brasil....         | 88  |
| CAPITULO V. ....                                                                            | 89  |
| 5. RESULTADOS .....                                                                         | 89  |
| 5.1 - Florestas Plantadas para produção de Carvão Vegetal .....                             | 89  |
| 5.1.1 - Cenário Tendencial .....                                                            | 90  |
| 5.1.2 - Cenário Normativo.....                                                              | 96  |
| 5.2 - Produção de Carvão Vegetal e Ferro-Gusa .....                                         | 102 |
| 5.2.1 - Cenário Tendencial .....                                                            | 102 |
| 5.2.2 - Cenário Normativo.....                                                              | 104 |
| 5.3 - Balanço geral das emissões/remoções dos Cenários Tendencial e Normativo               | 106 |
| 5.4 – Distribuição das Florestas Energéticas no Brasil.....                                 | 110 |
| CAPITULO VI .....                                                                           | 114 |
| 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES FINAIS .....                                       | 114 |
| 6.1 - Remoções de GEE dos Cenários de Expansão das Florestas Energéticas .....              | 114 |
| 6.2 – Expansão e Dinâmica do Uso do Solo das Florestas Energéticas .....                    | 118 |
| 6.3 - Estimativa dos Custos e Receitas da Implantação dos Cenários .....                    | 121 |
| 6.4 - Conclusões.....                                                                       | 123 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                            | 129 |



## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1. Tendência da superfície dos bosques de 1990 até 2010 por região do mundo.                                                       | 5   |
| Figura 2. Distribuição geográfica dos plantios de Eucaliptos no Brasil em 2008 (em hectares).....                                         | 13  |
| Figura 3. Fluxo da cadeia produtiva da madeira .....                                                                                      | 14  |
| Figura 4. Distribuição da disponibilidade de terra potencial para florestas plantadas com fins energéticos no Brasil .....                | 25  |
| Figura 5. Comparação da produtividade de florestas plantadas de coníferas e de folhosas no Brasil com outros países.....                  | 29  |
| Figura 6. Fornos de Alvenaria: Colméia e Retangular. ....                                                                                 | 53  |
| Figura 7. Vista de fornos metálicos para carbonização .....                                                                               | 54  |
| Figura 8. Superfícies Totais de Florestas Plantadas e Energéticas no Brasil para o Cenário Tendencial.....                                | 91  |
| Figura 9. Superfícies Plantadas de Eucalipto para carvão vegetal no Brasil no Cenário Tendencial .....                                    | 92  |
| Figura 10. Remoções totais de carbono da expansão dos plantios energéticos no Cenário Tendencial .....                                    | 94  |
| Figura 11. Estimativa da remoção anual líquida por idade dos plantios energéticos nos anos 2020 e 2025 no Cenário Tendencial.....         | 95  |
| Figura 12. Superfícies Totais de Florestas Plantadas e Energéticas no Brasil para o Cenário Normativo .....                               | 97  |
| Figura 13. Superfícies Plantadas de Eucalipto para carvão vegetal no Brasil no Cenário Normativo.....                                     | 98  |
| Figura 14. Remoções totais de carbono da expansão dos plantios energéticos no Cenário Normativo.....                                      | 100 |
| Figura 15. Estimativa da remoção/emissão anual líquida por idade dos plantios energéticos nos anos 2020 e 2025 no Cenário Normativo ..... | 101 |
| Figura 16. Unidade de produção de CV renovável, na empresa Plantar S/A.....                                                               | 105 |
| Figura 17. Remoções de C das florestas energéticas nos dois Cenários estudados para o Brasil.....                                         | 107 |
| Figura 18. Emissões de Carbono dos processos produtivos do CV e do Ferro-gusa nos Cenários Tendencial e Normativo em Brasil.....          | 108 |
| Figura 19. Intensidade da expansão das florestas energéticas no Brasil nos Cenários Tendencial e Normativo .....                          | 113 |

## INDICE DE TABELAS

|                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1. Área de Florestas Plantadas por Região no Mundo no ano de 2010 .....                                                                                         | 9   |
| Tabela 2. Principais países produtores de florestas plantadas em 2008 .....                                                                                            | 10  |
| Tabela 3. Superfícies de florestas plantadas de eucalipto e pinus no Brasil no período 2004-2008, em milhões de hectares .....                                         | 11  |
| Tabela 4. Superfícies dos plantios de eucalipto e pinus nos Estados do Brasil em 2008                                                                                  | 12  |
| Tabela 5. Principais Usos do solo no Brasil em 2008 .....                                                                                                              | 21  |
| Tabela 6. Superfícies com potencialidade técnica para plantios florestais energéticos em alguns Estados do Brasil (milhões de hectares).....                           | 26  |
| Tabela 7. Produtividade média anual e no final da rotação para plantios de Eucalipto em alguns Estados do Brasil.....                                                  | 28  |
| Tabela 8. Metodologias Aprovadas e Consolidadas de A/R de grande escala pelo UNFCCC, até 3 de dezembro de 2010 .....                                                   | 40  |
| Tabela 9. Metodologias Aprovadas e Consolidadas de A/R de pequena escala pelo UNFCCC, até 3 de dezembro de 2010 .....                                                  | 41  |
| Tabela 10. Projetos de A/R aprovados e em vias de aprovação pelo comitê executivo do MDL (em 3 de dezembro de 2010) .....                                              | 41  |
| Tabela 11. Processos de conversão energética da biomassa lenhosa .....                                                                                                 | 49  |
| Tabela 12. Rendimento e Emissões de Metano do processo de carbonização da madeira .....                                                                                | 56  |
| Tabela 13. Produção de ferro-gusa no Brasil por tipo de siderurgia, em toneladas .....                                                                                 | 58  |
| Tabela 14. Emissões de GEE do processo de produção de ferro-gusa.....                                                                                                  | 61  |
| Tabela 15. Matriz de Energia Elétrica do Brasil em 2008 .....                                                                                                          | 66  |
| Tabela 16. Superfícies dos cenários de expansão de florestas plantadas de eucalipto no Brasil (hectares).....                                                          | 71  |
| Tabela 17. Projeções da produção futura de ferro-gusa no Brasil.....                                                                                                   | 72  |
| Tabela 18. Quantidade de ferro-gusa a base de CV no Brasil no futuro. ....                                                                                             | 73  |
| Tabela 19. Quantidades de madeira e CV para a produção de ferro-gusa no Brasil .....                                                                                   | 89  |
| Tabela 20. Superfícies dos plantios anuais e das áreas de colheita da expansão de florestas energéticas no Cenário Tendencial no período 2005-2025 (milhões de ha).... | 90  |
| Tabela 21. Remoções líquidas anuais de GEE das florestas energéticas no período 2005-2020 no Cenário Tendencial.....                                                   | 93  |
| Tabela 22. Superfícies dos plantios anuais e das áreas de colheita da expansão de florestas energéticas no Cenário Normativo no período 2005-2025 (milhões de ha) .... | 96  |
| Tabela 23. Remoções líquidas anuais de GEE das florestas energéticas no período 2005-2020 no Cenário Normativo .....                                                   | 99  |
| Tabela 24. Produção de Madeira, CV e Ferro-gusa no Cenário Tendencial para o Brasil .....                                                                              | 102 |

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 25. Emissões de GEE da produção de CV renovável no Cenário Tendencial para o Brasil.....                                           | 103 |
| Tabela 26. Emissões de carbono na produção nos altos fornos de ferro-gusa verde no Cenário Tendencial para o Brasil .....                 | 104 |
| Tabela 27. Produção de madeira, CV e ferro-gusa no Cenário Normativo para o Brasil .....                                                  | 104 |
| Tabela 28. Emissões de GEE da produção de CV renovável no Cenário Normativo para o Brasil.....                                            | 105 |
| Tabela 29. Emissões de carbono na produção nos altos fornos de ferro-gusa verde no Cenário Tendencial para o Brasil .....                 | 106 |
| Tabela 30. Estimativa dos custos de abatimento da redução de emissões pelas florestas plantadas nos Cenários Tendencial e Normativo. .... | 122 |

## ÍNDICE DE QUADROS

|                                                                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Quadro 1. Expansão anunciada da capacidade de produção da indústria siderúrgica no Brasil.....                                                                                              | 60  |
| Quadro 2. Balanço das emissões/remoções de carbono para a cadeia da produção do ferro-gusa verde no Cenário Tendencial para o Brasil .....                                                  | 109 |
| Quadro 3. Balanço das emissões/remoções de carbono para a cadeia da produção do ferro-gusa verde no Cenário Normativo para o Brasil .....                                                   | 109 |
| Quadro 7. Comparação da distribuição da expansão das florestas plantadas v/s a superfície com potencial técnico para florestas energéticas nas regiões do Brasil (milhão de hectares) ..... | 111 |
| Quadro 4. Comparação entre as emissões passadas e remoções futuras de carbono no setor de Uso do Solo e Florestas.....                                                                      | 115 |
| Quadro 5. Resultados obtidos das superfícies de florestas energéticas e as remoções médias anuais para cenários futuros do estudo do Banco Mundial e a Dissertação.....                     | 117 |
| Quadro 6. Projeções da expansão de florestas plantadas no Brasil segundo vários estudos .....                                                                                               | 119 |

## INTRODUÇÃO

As florestas no mundo cobrem aproximadamente um terço da superfície terrestre e desempenham um papel expressivo na regulação do clima global, sendo responsáveis por cerca da metade do reservatório de carbono terrestre (COLLABORATIVE PARTNERSHIP ON FORESTS, 2008).

Devido ao tamanho do estoque de carbono das florestas, as emissões decorrentes de desmatamento, degradação florestal e demais mudanças no uso da terra corresponderam a 17% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) e a 28% das emissões globais de CO<sub>2</sub>, durante o ano de 2004 (IPCC, 2007). No Brasil, este caso é muito mais agudo, já que as emissões provenientes de mudanças de uso da terra corresponderam, em 2005, a 58% do total de GEE emitidos e a 76% do total das emissões de CO<sub>2</sub> (MCT, 2009).

Diante disto, percebe-se que as florestas podem desempenhar um papel importante na mitigação das mudanças climáticas, através da diminuição do desflorestamento e do aumento do reflorestamento de espécies nativas e exóticas.

O Brasil vem reduzindo sua taxa de desflorestamento na Amazônia, por meio da aplicação de várias medidas tomadas, principalmente, pelo Governo Federal, desde 2005. Entretanto, as taxas de reflorestamento ainda são muito baixas, principalmente para recuperação de áreas degradadas, enquanto que para o plantio de florestas comerciais com espécies exóticas (fibra, energia e papel/celulose) estas taxas são um pouco maiores, com o agravante da demanda de uso da madeira ser superior à taxa de replantio comercial ou oferta da madeira e, portanto, representa um forte indicativo de um possível “apagão florestal” na próxima década.

As principais espécies utilizadas com intuito comercial são as dos gêneros *Pinus* e *Eucaliptus*, que com o passar dos anos e com o aprimoramento de novas tecnologias, começaram a ser utilizadas intensamente para este fim. Dessa forma, pode ser observada uma redução na

pressão exercida pelo homem sobre as florestas naturais, favorecendo assim a conservação das florestas nativas no país. As florestas plantadas podem suprir a demanda por produtos derivados da madeira, bem como para a utilização das mesmas como fonte de energia (lenha e carvão vegetal), favorecendo a diminuição do corte das florestas nativas. Portanto, a introdução de algumas espécies exóticas de forma controlada pode ser de grande contribuição para a economia e o meio ambiente.

As energias renováveis vêm ganhando importância, pois possuem a capacidade de substituir, pelo menos em parte, as energias de origem fóssil, diminuindo, de certa forma, a dependência por petróleo. Vislumbrando, os benefícios para uma transição da matriz energética Brasileira rumo a uma maior participação da energia renovável, somado à oportunidade de ganhos para a política econômica baseada em altos superávits primários (dependem diretamente de uma balança comercial consistentemente positiva), a partir de 2005, o Governo Federal começou a direcionar esforços para a promoção internacional dos biocombustíveis, como uma contribuição brasileira para a diminuição das emissões de Gases de Efeito Estufa - GEE (OBERLING, 2008).

A biomassa de madeira, produzida de forma renovável pode ser utilizada para a substituição de biomassa não-renovável ou de fontes de carbono fóssil na geração de eletricidade, assim como no uso direto do calor pela combustão e como agente de redução na fundição de ferro-gusa para a indústria siderúrgica.

No Brasil, o Plano Nacional de Agroenergia (PNA 2006-2011) coordenado pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e executado com o apoio da Embrapa de PD&I em Agroenergia, visa estabelecer um marco e rumo para as ações públicas e privadas de geração de conhecimentos e tecnologias que contribuam para a produção e uso sustentável da agricultura de energia renovável. Para isto se tem como meta tornar o agronegócio nacional

competitivo, dando suporte a determinadas políticas públicas, como a inclusão social, a regionalização e a sustentabilidade ambiental (EMBRAPA, 2009).

Atualmente no país observa-se uma redução no consumo de carvão vegetal proveniente de madeiras oriundas da floresta nativa. Essa tendência irá pressionar ainda mais a utilização dos estoques de madeira reflorestada existente para suprimento de carvão vegetal destinado ao setor siderúrgico. A variação no consumo total de carvão vegetal, a nível nacional, ocorre normalmente como consequência da variação cambial, o que poderá, em determinado momento, proporcionar o estímulo às importações de carvão mineral e reduzir o consumo de carvão vegetal como agente termo-redutor na siderurgia.

Através dos anos, o plantio de eucalipto vem desempenhando um papel importante no atendimento das necessidades de matéria-prima florestal, bem como preservando as últimas reservas florestais nativas, principalmente, no centro-sul brasileiro.

A concretização da expansão das florestas com fins energéticos pressupõe o alinhamento de diversas políticas governamentais, como são a tributária, de abastecimento, agrária, creditícia, fiscal, energética, de ciência e tecnologia, ambiental, industrial, de comércio exterior e seu desdobramento em legislações específicas (EMBRAPA, 2009).

Diante deste quadro atual, se faz necessário um estudo que possa identificar a potencialidade da expansão das florestas plantadas com fins energéticos, no que se refere às mitigações das mudanças climáticas globais, com a remoção dos gases de efeito estufa e a alternativa de desenvolvimento sustentável na produção de energéticos renováveis no país. Os objetivos, tanto geral como específicos, guiaram este trabalho de dissertação de mestrado e encontram-se enunciados a seguir:

**- Objetivo Geral:**

- Analisar o balanço de GEE das florestas energéticas no Brasil para dois cenários futuros.

**- Objetivos Específicos:**

- Estimar os fluxos de carbono das florestas energéticas e seus subprodutos para energia e processos (estudo de caso - ciclo de vida do carvão vegetal).
- Visualizar o uso do solo pela expansão das florestas energéticas no Brasil.

Tentando abordar a temática das florestas energéticas e, com isto, o cumprimento dos objetivos, este trabalho foi dividido em seis capítulos. O capítulo I - descreve a situação atual e o futuro das florestas plantadas no mundo e, principalmente, no Brasil, além da sua dinâmica com a disponibilidade e o uso do solo. No capítulo II, apresenta-se o ciclo do carbono, relacionando com as emissões e remoções de GEE das florestas, suas implicações nas mudanças climáticas globais e o *status* dos projetos florestais baixo o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. O capítulo III - aborda o tema da biomassa florestal como fonte energética no mundo e no Brasil para o presente e o futuro, destacando a produção e uso do carvão vegetal na indústria siderúrgica nacional e suas emissões de GEE associadas. O capítulo IV - descreve os cenários futuros da expansão de florestas plantadas e o método de cálculo utilizado para estimar as emissões e remoções de GEE destes cenários futuros. O capítulo V - apresenta os resultados obtidos das superfícies da expansão de florestas energéticas, e as emissões e reduções associadas às florestas, produção e uso de carvão vegetal na siderurgia. Por fim, no capítulo VI, são apresentadas as discussões dos resultados obtidos e as conclusões finais deste trabalho de dissertação.

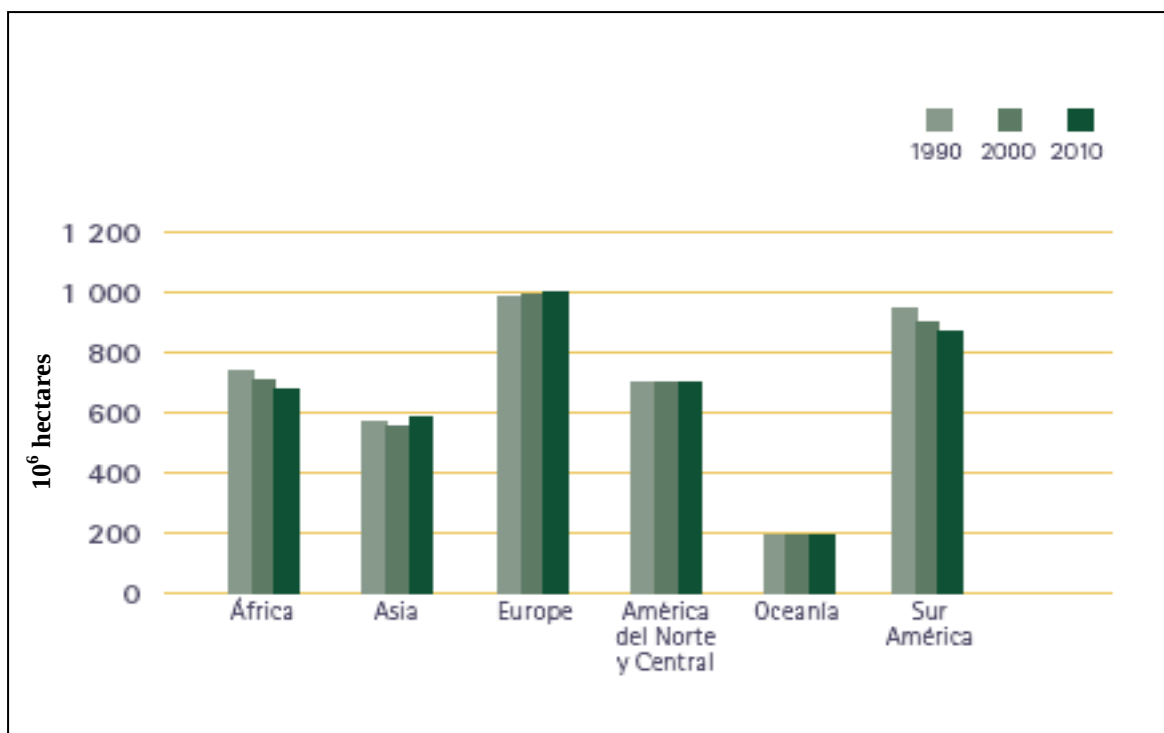


## CAPITULO I

### 1. FLORESTAS PLANTADAS E USO DO SOLO.

#### 1.1 - Situação Atual das Florestas

Segundo dados do Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), as florestas, em 2010, cobrem 31% da superfície terrestre, sendo um pouco mais de 4 bilhões de hectares. Desta superfície, 57% correspondem a florestas naturais modificados ou regenerados naturalmente, 36% a florestas primários e 7% a florestas plantadas. Esta massa vegetal se distribui desigualmente no mundo, sendo 25% na Europa, 22% na América do Sul, 18% na América do Norte e Central, 16% na África, 14% na Ásia e 5% na Oceania (FAO, 2010). Na figura 1 apresentam-se as tendências dos bosques por região do mundo.



**Figura 1. Tendência da superfície dos bosques de 1990 até 2010 por região do mundo.**

Fonte: FAO, 2010.

Os 10 países com maior cobertura florestal retêm mais de 65% de toda a floresta do mundo, detendo a Federação Russa a maior área de florestas (8,1 milhões de km<sup>2</sup>), seguido pelo Brasil, Canadá, EUA, China, Austrália, Republica Democrática do Congo, Indonésia, Peru e, por último, a Índia com 0,68 milhões de km<sup>2</sup>. A superfície total de floresta, em relação a população mundial, significa uma média de 0,6 hectares per capita (FAO, 2010). No entanto como não tem uma distribuição homogênea, existem regiões no mundo onde esta média cai para menos de 0,1 hectares de floresta per capita (FAO, 2006).

Para a FAO, no período de 2000 a 2010, o mundo perdeu, em média, 13 milhões de hectares cada ano por causa do desflorestamento, taxa um pouco menor que os 16 milhões de hectares/ano na década dos 90. Os florestas primários desaparecem ou são modificados pelo desflorestamento ou corte seletivo numa taxa anual de 6 milhões de hectares desde 1990. Neste mesmo período, a Nigéria já perdeu 55% da sua floresta primária nativa, seguido por Vietnam com 51% e Cambodia com 29%.

A taxa líquida anual de desmatamento entre o ano 1990 e 2000 foi de 8,3 milhões de hectares e de 5,2 milhões de hectares entre 2000 e 2010 (FAO, 2010). A América do Sul apresentou a maior taxa de desmatamento, com 4,3 milhões de hectares/ano seguido pelo continente Africano com 4 milhões de hectares no período de 2000 a 2005. A Ásia e Europa por sua vez tiveram acréscimos na sua área florestal, sendo de 1 milhão de hectares/ano e de 700 mil hectares/ano respectivamente para este mesmo período (FAO, 2006).

Com o uso de tecnologia moderna (máquinas pesadas, como tratores e guindastes), a taxa de desflorestamento de grandes porções de floresta tem aumentado significativamente. As razões por trás do desmatamento são principalmente, a extração ilegal de madeira e o uso alternativo do solo, sobretudo para a formação de extensas pastagens para criação pecuária e plantios agrícolas. O desmatamento é também uma forma de se obter espaço, “limpar a terra”, para

depois utilizar a mesma para outro fim. Outras causas são: construção de estradas, represas, diques, canais, rede elétrica, tubulações para saneamento, etc.

Cabe salientar que, em 2005, 85% das florestas no mundo são de propriedade pública, 13% de propriedade privada e 2% outros. Nos últimos anos devido à descentralização e a participação do setor privado na ordenação florestal, a propriedade e uso da floresta tem mudado, outorgando maior espaço à comunidade e empresas privadas, reduzindo para 80% a percentagem de florestas públicas em 2010. Também se destaca que 12% do total de florestas do mundo, ou seja, 462 milhões de hectares aproximadamente são destinados à proteção ou conservação da biodiversidade, encontrando-se principalmente nas áreas protegidas dos países. Segundo a FAO (2010), 30% das florestas do mundo fornecem madeira e produtos não madeireiros (considerada a função primária das florestas); 8% são destinadas para proteção do solo e água; 4% para serviços sociais e culturais; 24% destinados para fins múltiplos; 7% para outros fins e, por último, 16% das florestas sem fins conhecidos.

É importante ressaltar que a função protetora das florestas vai desde a conservação do solo e água e prevenção de deslizamentos até estabilização de dunas, retenção da desertificação e proteção de encostas. Este tipo de florestas aumentou 59 milhões de hectares desde 1990 até 2010, como mencionado anteriormente, alcançando 330 milhões de hectares no mundo. A América do Sul aparece com um pouco mais de 80 milhões de hectares destinadas à conservação e proteção (FAO, 2010).

O suprimento de madeira no mundo provém, na sua maior parte, das florestas naturais (65%), sendo apenas 35% provenientes das florestas plantadas, demonstrando ainda a grande pressão de consumo existente sobre a cobertura florestal nativa.

O Brasil possui aproximadamente 4,8 milhões de km<sup>2</sup> de florestas, o que corresponde a cerca de 10% do total mundial e a segunda maior área contínua de florestas do mundo. As florestas

do Brasil abrigam a maior diversidade biológica do planeta e contribuem para a conservação e regularização dos recursos hídricos, a manutenção de encostas e proteção do solo, estocagem de carbono entre outros. Por isso, as florestas desempenham uma função estratégica na regulação do ambiente e o clima regional e global (PNMC, 2008).

Enquanto as florestas do Brasil representam 56% do território nacional, as áreas não florestais correspondem a 42%. É importante assinalar que o setor industrial de base florestal brasileiro representa cerca de 4% do Produto Interno Bruto do país (PNMC, 2008).

## **1.2 - Florestas Plantadas**

As florestas plantadas são definidas por aquelas intencionalmente produzidas por intervenção humana. Na grande maioria são florestas formadas por uma única espécie (portanto, monoculturas), embora haja exceções. Na sua maioria, têm como objetivo a produção de produtos madeireiros e não-madeireiros, embora existam florestas plantadas com fins de recuperação de áreas degradadas e lazer, por exemplo.

Em geral, estas florestas são plantadas em grande escala por empresas que irão utilizar os produtos gerados. No entanto, a questão de escala é relativa, e muda conforme regiões e países. Em alguns locais, as florestas também são plantadas por pequenos proprietários, para consumo próprio e venda da madeira.

No mundo, em contrapartida ao desflorestamento, os plantios florestais, restauração de paisagem e expansão natural das florestas se estabeleceram numa taxa média anual de 3,9 milhões de hectares na última década (FAO, 2010).

Segundo a FAO (2010) a superfície dos plantios florestais no mundo (com espécies introduzidas, principalmente) chega a 264 milhões de hectares, correspondendo a 7% da área

total de florestas. Deste total de florestas plantadas, 78% correspondem a plantios florestais com fins produtivos de madeira e fibra e o restante, 22%, a florestas plantadas com fins de proteção e conservação do solo e água. No período 2000-2005 foram plantados com árvores 2,8 milhões de hectares por ano no mundo, dos quais 87% foram de florestas com fins produtivos, ou seja, aproximadamente 2,4 milhões de hectares. No período 2005-2010 os plantios anuais aumentaram, ficando em 5 milhões de hectares no mundo. Na tabela 1 são apresentas as superfícies aproximadas de florestas plantadas para o ano de 2010, nos diferentes continentes.

**Tabela 1. Área de Florestas Plantadas por Região no Mundo no ano de 2010**

| CONTINENTE                | SUPERFÍCIE (milhões de ha) |
|---------------------------|----------------------------|
| Europa                    | 70                         |
| América do Sul            | 15                         |
| Ásia                      | 124                        |
| América do Norte e Centro | 38                         |
| África                    | 13                         |
| Oceania                   | 4                          |

Fonte: Elaboração própria adaptado da FAO, 2010.

A tabela 2 apresenta o ranking mundial dos 10 países com maior superfície de florestas plantadas e sua relação com a área do país. Em relação aos países, a China possui a maior superfície de florestas plantadas, com mais de 45 milhões de hectares em 2008. Esta área tem como principal função o controle da desertificação e a proteção de solos e recursos hídricos (FAO, 2010). Pode ser observado que o Brasil aparece no 7º lugar considerando a superfície plantada e em 10º lugar relacionado-o com a proporção de superfície ocupada no país.

**Tabela 2. Principais países produtores de florestas plantadas em 2008**

| PAÍS           | Área Total     | Florestas Plantadas |            |
|----------------|----------------|---------------------|------------|
|                | (1.000 ha)     | (1.000 ha)          | %          |
| China          | 932.743        | 45.083              | 4,8        |
| Índia          | 297.319        | 32.578              | 11,0       |
| Rússia         | 1.688.851      | 17.340              | 1,0        |
| Estados unidos | 915.895        | 16.238              | 1,8        |
| Japão          | 37.652         | 10.682              | 28,4       |
| Indonésia      | 181.157        | 9.871               | 5,4        |
| <b>Brasil</b>  | <b>851.487</b> | <b>6.583</b>        | <b>0,8</b> |
| Tailândia      | 51.089         | 4.920               | 9,6        |
| Ucrânia        | 57.935         | 4.425               | 7,6        |
| Irã            | 162.201        | 2.284               | 1,4        |

Fonte: adaptado de FONSECA (2009).

As florestas plantadas em geral, estabelecidas mediante o florestamento e o reflorestamento, podem suprir a demanda por produtos derivados da madeira, bem como fonte de energia, favorecendo assim a pressão sobre as florestas nativas.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de produtos de origem florestal. Setores estratégicos da economia brasileira, como a siderurgia, a indústria de papéis e embalagens e a construção civil, são altamente dependentes do setor florestal (MMA, 2009).

No país, especificamente no Estado de São Paulo, no começo do século passado, em 1904, com o pesquisador Navarro Andrade, a serviço da Companhia Paulista de Estrada de Ferro, começaram os primeiros plantios de Eucalipto com o fim de grande produção para outros fins que não paisagísticos, já que o intuito principal do plantio era o de suprir a demanda de madeira para dormentes e de carvão. O plantio de Pinus com objetivo comercial se iniciou mais tarde, por volta da década de 50, em algumas regiões do Estado do Paraná.

O plantio de florestas para fins comerciais consolidou-se por volta da década de 60, quando o governo brasileiro, sob o comando do marechal Castello Branco, iniciou uma campanha de incentivos fiscais, que perduraram até o fim dos anos 80, com a intenção de estimular o

aumento no cultivo dessas espécies. Essa política de incentivos fiscais, encerrada por volta de 1986/87, representou a fase de ouro dos plantios florestais.

A silvicultura se diferenciou da agronomia, surgindo faculdades próprias da ciência florestal, aumentando o conhecimento científico e a pesquisa tecnológica. Esses fatos contribuíram para impulsionar mais ainda o plantio de árvores para fins comerciais (ALTOÉ, 2009).

As florestas plantadas no Brasil representam cerca de 1% da cobertura florestal do país, com aproximadamente 6,58 milhões de hectares e presente em cerca de 500 municípios. Estas florestas cresceram 27% entre 2000 e 2008 (ABRAF, 2009).

Desta superfície, 64,7% equivalem a florestas de Eucalipto (*Eucalyptus* spp), 28,4% das espécies do gênero Pinus (*Pinus* spp), 2,7% de Acácia para fins de multiuso, tais como produção de biomassa, celulose e madeira serrada, 1,7% da espécie Seringüeira (*Hevea*) para extração do látex, especialmente no Estado de Amazonas, 1,2% de Paricá (*Schizolobium*) para compensados, papel, moveis e outros; e menos de 1% de Teca (*Tectona*) principalmente para a produção de madeira serrada de alto valor agregado, e de Populus, largamente usada para a fabricação de palitos de fósforo e partes de moveis (ABRAF, 2009).

As florestas de Eucalipto cresceram 33,1% e as de Pinus 5,9% no país, no período 2004-2008, alcançando 6,12 milhões de hectares entre estas duas espécies em 2008, como apresentado na tabela 3 (ABRAF, 2009).

**Tabela 3. Superfícies de florestas plantadas de eucalipto e pinus no Brasil no período 2004-2008, em milhões de hectares**

| Espécie       | Ano         |             |             |             |             |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|               | 2004        | 2005        | 2006        | 2007        | 2008        |
| Eucalipto     | 3,19        | 3,46        | 3,74        | 3,96        | 4,25        |
| Pinus         | 1,76        | 1,83        | 1,88        | 1,87        | 1,86        |
| <b>Totais</b> | <b>4,96</b> | <b>5,29</b> | <b>5,63</b> | <b>5,83</b> | <b>6,12</b> |

Fonte: adaptado de ABRAF, 2009.

As florestas plantadas atualmente estão localizadas principalmente nos biomas Mata Atlântica e Cerrado, tendo grande importância econômica e contribuindo de forma significativa para as exportações brasileiras, principalmente de papel e celulose. Segundo os dados da ABRAF (2009), o Sudeste apresenta 45,6% da superfície total florestada, seguida pela região Sul com 31,5%, região Nordeste com 11,9%, a região Centro-oeste com 6,7% e Norte com 3,2% (figura 2).

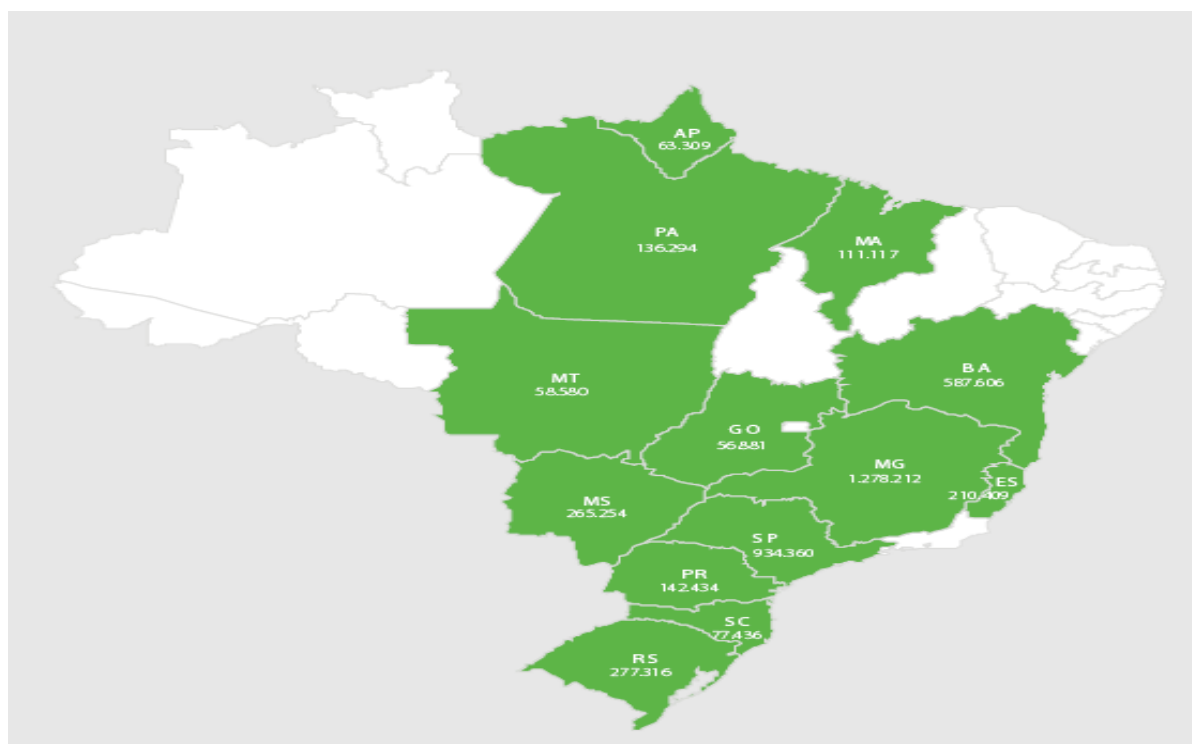
Na tabela 4 é apresentada a situação atual dos plantios florestais de eucalipto e pinus nos estados em 2008, onde é possível observar que os principais estados com superfície plantada são Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Bahia.

**Tabela 4. Superfícies dos plantios de eucalipto e pinus nos Estados do Brasil em 2008**

| <b>Estado</b> | <b>Eucalipto</b> | <b>Pinus</b>    | <b>Total</b>    |            |
|---------------|------------------|-----------------|-----------------|------------|
|               | <b>(mil ha)</b>  | <b>(mil ha)</b> | <b>(mil ha)</b> | <b>%</b>   |
| MG            | 1.278            | 145             | 1.423           | 23         |
| SP            | 934              | 207             | 1.142           | 19         |
| PR            | 142              | 714             | 857             | 14         |
| SC            | 77               | 551             | 628             | 10         |
| BA            | 587              | 35              | 622             | 10         |
| RS            | 277              | 173             | 450             | 7          |
| MS            | 265              | 18              | 284             | 5          |
| ES            | 210              | 3               | 214             | 4          |
| PA            | 136              | 0               | 136             | 2          |
| MA            | 111              | 0               | 111             | 2          |
| AP            | 63               | 1               | 64              | 1          |
| GO            | 56               | 15              | 72              | 1          |
| MT            | 58               | 0               | 58              | 1          |
| Outros        | 59               | 1               | 60              | 1          |
| <b>TOTAL</b>  | <b>4.258</b>     | <b>1.867</b>    | <b>6.126</b>    | <b>100</b> |

Fonte: adaptado de ABRAF, 2009.





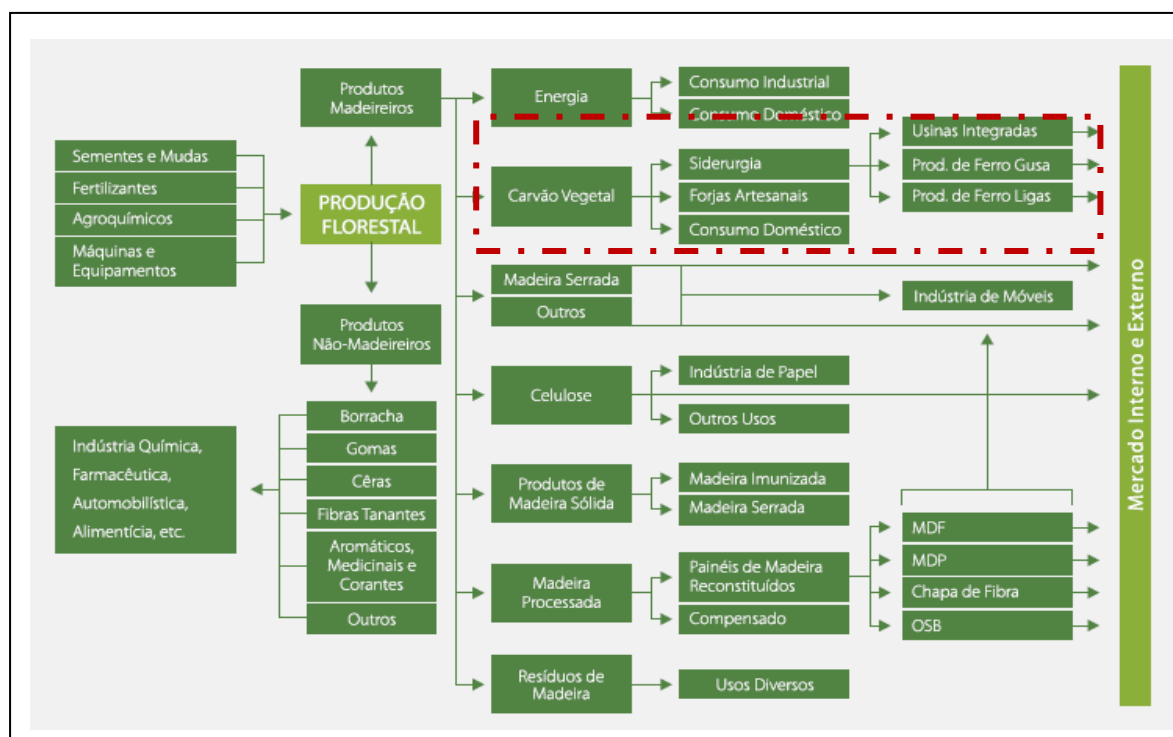
**Figura 2. Distribuição geográfica dos plantios de Eucaliptos no Brasil em 2008 (em hectares)**

Fonte: ABRAF, 2009.

Em relação a principal espécie plantada no Brasil, o gênero *Eucalyptus* é originário da Austrália e foi introduzido no Brasil em escala industrial, em 1909. O Serviço Florestal da Austrália já identificou 672 espécies do gênero *Eucalyptus*, mas pouco mais de vinte e quatro espécies têm importância comercial e são plantadas extensivamente em todo o mundo (ABRAF, 2009). As principais espécies cultivadas no Brasil são o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophilla*, entre outras. Além disso, existem cruzamentos entre as espécies, derivando as espécies híbridas como é o caso do *Eucalyptus urograndis* (*E. urophilla* x *E. grandis*).

### 1.2.1 - Florestas plantadas no Brasil e sua produção

O setor de florestas plantadas, integrado às diversas cadeias industriais de transformação da madeira, ocupa atualmente lugar de destaque entre os diferentes segmentos industriais nacionais. As florestas plantadas destacam-se por representar a principal fonte de suprimento de madeira das cadeias produtivas de importantes segmentos industriais, como os de celulose e papel, painéis reconstituídos, móveis, siderurgia a carvão vegetal, energia e produtos de madeira sólida. Isto se dá através da produção e exploração sustentável de suas florestas (ABRAF, 2009). A Figura 3 ilustra a produção florestal, que pode ser subdividida em produtos madeireiros e não madeireiros, através do fluxo da matéria-prima, bem como seus principais destinos e o grau de processamento do produto.



**Figura 3. Fluxo da cadeia produtiva da madeira**

Fonte: ABRAF, 2009.

No que se refere à produção madeireira, observa-se o fluxo da madeira dentro da cadeia produtiva, desde o beneficiamento até o consumidor final (mercado interno e externo). Para o

presente estudo se dará maior ênfase ao fluxo destacado em vermelho na figura 2, onde se encontra a cadeia produtiva do carvão vegetal, como fonte energética.

O uso industrial da biomassa florestal destina-se, principalmente, à produção de papel, lenha e carvão, moveis e peças de madeira, cerâmicas e alimentos e bebidas. No segmento de celulose e papel, 100% da madeira provém do reflorestamento com o Eucalipto e Pinus. Para a indústria do carvão vegetal, a área de florestas plantadas, principalmente com o eucalipto, cresceu de 34% em 1990, para 72% em 2000 (BRASIL, 2005).

A demanda atual brasileira situa-se ao redor de trezentos e cinquenta milhões de metros cúbicos de madeira, sendo que as florestas de eucalipto suprem apenas um terço do total da demanda anual de madeira, principalmente para uso industrial (EMBRAPA, 2009).

Segundo dados do ABRAF (2009), a produção florestal sustentada referente aos plantios (eucalipto e pinus) alcançou 230,6 milhões de m<sup>3</sup>/ano, em 2008. A produção sustentada de uma espécie é o crescimento potencial obtido através do produto da área plantada e seu incremento médio anual (IMA). Entre as espécies, o eucalipto representa 76% da produção sustentada total de madeira enquanto o pinus corresponde a 24%.

O consumo aproximado de toras, em 2008, foi de 174,2 milhões m<sup>3</sup>. Deste total, 34,5% referem-se ao consumo de pinus e 65,5% de eucalipto. O segmento de celulose e papel é o principal consumidor absorvendo aproximadamente 32,8% das toras produzidas; a produção de madeira serrada utilizou 19,7%, compensado 3,6% e painéis reconstituídos 5,1%. O setor siderúrgico, por sua vez, consumiu 13,4% destas toras transformadas em carvão vegetal (ABRAF, 2009).

Dados do IPEA - Instituto de Economia Agrícola de São Paulo - revelaram que a evolução do consumo de madeira no Estado de São Paulo foi de 53,7% no período 2000 a 2009, passando de 26,6 para 40,9 milhões m<sup>3</sup>/ano. Do total consumido no ano de 2009, cerca de 12,7 milhões

m<sup>3</sup> foram para energia e 28,2 milhões m<sup>3</sup> para processos, como celulose (24,9 milhões m<sup>3</sup>) e chapas (3,68 milhões m<sup>3</sup>) (Informações Econômicas, SP, mar 2010).

A demanda de madeira de eucalipto para a indústria madeireira já é maior que a oferta, esperando-se um déficit que certamente limitará o crescimento do setor, levando à importação e/ou ao aumento do consumo de florestas naturais (ROXO, 2003).

Mesmo a combinação favorável do clima, solo, disponibilidade de terras apropriadas, aliada ao melhoramento genético das espécies plantadas (principalmente eucalipto), que resulta em aumentos consideráveis de rendimento e produção, não tem sido suficiente para reverter a perspectiva de falta de madeira, chamado de “apagão florestal”. Esta situação, de falta de madeira, é decorrente da ausência, por longos anos, de políticas públicas definidas para o setor e não apenas por questões ambientais e tecnológicas (AMS, 2005).

### **1.2.2 - Florestas plantadas no Brasil e o futuro**

Nos últimos 40 anos as florestas plantadas se concentraram principalmente nas regiões Sul e Sudeste, mas, recentemente, têm se expandido para outras regiões como o Nordeste, Norte e o Centro-Oeste. Cabe salientar que os plantios florestais são impulsionados por empresas consumidoras da madeira. Buscando novas fronteiras, algumas empresas, com o apoio dos governos estaduais, estão investindo em estados até então considerados não tradicionais na cultura florestal. Dentre eles, destacam-se o Piauí e o Maranhão, os estados do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso e, em menor escala, no estado do Pará (ABRAF, 2009).

Apesar disso, ainda são incertas as projeções da floresta plantada para o futuro no país, dado que o passado e o presente têm demonstrado uma falta nos investimentos de grande volume

nesta área, apesar dos esforços de algumas empresas privadas de base florestal, principalmente de papel e celulose.

No ano 2000, o Decreto nº3.420 criou o Programa Nacional Florestal (PNF), que tem por objetivo articular as políticas públicas setoriais para promover o desenvolvimento sustentável, conciliar o uso com a conservação das florestas nativas e fomentar as atividades de reflorestamento, principalmente em pequenas propriedades rurais. Este programa é coordenado pelo Departamento de Florestas (DFLOR) dependente do MMA (EMBRAPA, 2009).

As ações do PNF enfatizam os mecanismos de expansão e manutenção da base produtiva, o que é necessário para a sustentabilidade do setor econômico florestal Brasileiro. Para o período 2004-2007 o PNF estabeleceu estratégias e metas como:

- i) Expansão da base florestal plantada consorciada com a recuperação de áreas degradadas, através do plantio anual de 600 mil hectares de floresta e do aumento em até 30% da participação do pequeno produtor;
- ii) Expansão da área florestal manejada consorciada com a proteção de áreas de alto valor para a conservação, aumentando para 15 milhões de hectares as florestas naturais com manejo sustentável e garantindo que 30% da área manejada sejam em florestas sociais.

Segundo dados da ABRAF (2009), a área de florestas plantadas vem aumentando nos últimos anos, porém, não nas taxas necessárias para atender as demandas de produtos florestais. Este aumento anual de superfícies de florestas fica abaixo das metas estabelecidas pelo PNF (600

mil hectares) no período 2004-2007. Isto gerou até 2008 um déficit acumulado de 1,2 milhões de hectares (EMBRAPA, 2009).

### **Futuro das Floretas Plantadas**

Em relação ao futuro das florestas plantadas no Brasil, a Associação Mineira de Silvicultura (AMS), em 2005, elaborou um estudo intitulado “Perspectivas e Tendências do Abastecimento de Madeiras para a Indústria de Base Florestal no Brasil: Uma contribuição à construção e acompanhamento dos Cenários Futuros”, que visa discutir a redução da escassez de madeira no país até o ano de 2020. Este estudo utilizou a técnica de construção de cenários futuros. Para tanto, foram construídos dois cenários alternativos, frutos da interpretação e composição de parâmetros, os quais são chamados de *Tendencial* e *Normativo* (AMS, 2005).

O *Cenário Tendencial* é o provável cenário que poderá ocorrer, mantidas as tendências históricas e atuais. Na sua formulação foram utilizados métodos de projeção que se basearam no comportamento passado para a projeção do futuro. Neste cenário não foram consideradas as intenções de investimento, as projeções se basearam apenas na evolução histórica das variáveis analisadas, nos períodos 1994/2004 e os sub-períodos 1994/2000 e 2001/2004.

Este cenário mostra perspectivas de redução da oferta de matéria-prima (madeira) oriunda, principalmente, das plantações florestais e das florestas nativas, aliada ao forte aumento de preços, imposição de normas ambientais e a falta de áreas de exploração, que se demonstra como a principal limitação do atendimento dos mercados interno e externo.

Neste cenário não existe uma política florestal dinâmica que possa se adequar às novas tendências e mudanças verificadas no mercado de produtos florestais. Com isto, haverá uma menor geração de renda e empregos, e uma utilização mais elevada de matas nativas. Enfim, a

concretização deste cenário envolverá grandes perdas socioeconômicas e de oportunidades que se apresentam.

Como resultado deste cenário, os plantios de florestas de eucalipto serão de 470,6 mil hectares/ano. Assim, no ano de 2020, a superfície total plantada com esta espécie será de 8,4 milhões de hectares e, dado o menor volume de plantio, a exploração de matas nativas e outras representarão 25% da área explorada no Brasil.

O *Cenário Normativo* especifica o futuro desejado ou necessário para o setor florestal. O princípio de sua construção foi dando ênfase na compreensão do futuro, que deverá nortear a ação do presente, tendo como objetivo identificar possíveis situações futuras que poderão ser mediadas pela ação solidária dos atores políticos e empresariais. No desenho deste cenário foram adotadas algumas premissas, que se efetivadas conforme as intenções demonstradas pelos agentes econômicos, irão causar impactos em diversos segmentos econômicos e exigirão uma série de medidas do Governo.

As premissas que nortearam as projeções deste cenário, citadas pela AMS (2005), foram:

- *“Para o período 2005/2012 se considerou a concretização dos anúncios de investimentos em todos os segmentos analisados, especialmente na siderurgia e celulose. Na siderurgia são esperados investimentos da ordem de US\$ 10 bilhões, ampliando a capacidade de produção de aço de 34 para 44 milhões de toneladas até 2012 e cerca de 74 milhões em 2020, ampliando, assim, o consumo de ferro-gusa. Os novos investimentos irão também contemplar a utilização parcial de carvão vegetal, esperando-se, assim, um aumento da participação deste insumo na produção de ferro-gusa e aço – hoje presente em 30% da produção – para 35% no ano de 2010 e 50% em 2020;*
- *Nas estimativas foram incorporados os valores de investimentos divulgados para o segmento de celulose de fibra curta, da ordem de US\$ 6,8 bilhões para o período*

*2005/2012, dos quais US\$1,6 na ampliação e renovação das plantações florestais de eucalipto, resultando em um aumento de produção de 7,5 milhões de toneladas (2005) para 14 milhões em 2012. Com os investimentos necessários, espera-se uma produção da ordem de 20,7 milhões em 2020;*

- Para o segmento de painéis, de acordo com estimativas das entidades representativas setoriais, projetou-se um crescimento do consumo aparente de madeira de eucalipto em 1,4% ao ano, no período 2005/2012 e 1,2% no período 2013/2020.*
- É esperado para 2020 um incremento de 38% no rendimento médio das florestas plantadas. O rendimento atual do eucalipto, estimado em torno de 140 m<sup>3</sup>, subiria para 193 m<sup>3</sup>. As projeções sinalizam uma demanda crescente de madeira de plantações florestais, em especial de eucalipto, em substituição às de origem nativa.”*

Os resultados destas premissas deram a necessidade de plantios florestais de 810,5 mil hectares/ano. A proporção de utilização de vegetações nativas e outras fontes, como o aproveitamento de madeira de lavouras permanentes, se reduziria dos atuais 26,8% para aproximadamente 10% da área total explorada.

De acordo com estes resultados no *Cenário Normativo* estima-se que a área total prevista, das plantações florestais de eucalipto no Brasil, será de 13,8 milhões de hectares no ano de 2020. Isto equivale a 62% da área cultivada na safra 2004/2005 com a lavoura de soja ou 23% da área total cultivada com grãos nesta mesma safra (AMS, 2005).

### **1.3 - Florestas Plantadas com Fins Energéticos e Uso do Solo**

No mundo existem 1,2 bilhões de hectares de florestas onde são extraídos produtos madeireiros e não madeireiros. Destas áreas é explorado um volume de 3,4 bilhões de metros cúbicos de madeira anualmente, da qual a metade é lenha para combustível. Em 2005, o continente Asiático era o que mais extraia madeira com fim energético (lenha), com cerca de



540 milhões de m<sup>3</sup>, seguido pela África com 500 milhões e Europa e América do Sul com 150 milhões de m<sup>3</sup> aproximadamente cada um (FAO, 2010).

Os maiores produtores de lenha no mundo são países em desenvolvimento, destacando-se a Índia (300 milhões m<sup>3</sup>), China (191 milhões m<sup>3</sup>) e Brasil (138 milhões m<sup>3</sup>) entre os três primeiros colocados em 2005 (FAO, 2008).

Nas florestas naturais pode-se dispor de mais de 70% do volume total da biomassa para geração de energia. A maior parte deste volume são as copas e galhos que são descartados nas florestas após as colheitas. Os plantios florestais com a finalidade exclusiva de produzir energia estão se voltando mais comuns em alguns países, sendo provável que no futuro os plantios de usos finais múltiplos produzam peças como combustíveis lenhosos (FAO, 2008).

No Brasil, os solos destinados a florestas plantadas ainda é reduzida se comparada aos outros usos do solo. Por este motivo, o país apresenta uma potencialidade para equilibrar a oferta e demanda de combustíveis lenhosos. Na tabela 5 são apresentadas as superfícies dos diferentes usos do solo no Brasil em 2008.

**Tabela 5. Principais Usos do solo no Brasil em 2008**

| <b>Atividade</b>    | <b>Área (milhão de ha)</b> | <b>%</b>      |
|---------------------|----------------------------|---------------|
| Pecuária/Pastagens  | 177,00                     | 20,79         |
| Agricultura/Grãos   | 58,00                      | 6,81          |
| Cana-de-açúcar      | 7,50                       | 0,90          |
| Florestas plantadas | 6,58                       | 0,8           |
| Outros              | 602,86                     | 70,7          |
| <b>Total</b>        | <b>851,48</b>              | <b>100,00</b> |

Fonte: adaptado de FONSECA (2009).

As florestas com fins energéticos ou florestas energéticas são florestas plantadas que tem como objetivo aumentar a viabilidade da utilização de alternativas energéticas renováveis. O uso da madeira proveniente dessas florestas pode ser tanto para a produção de carvão vegetal

quanto para a queima direta da lenha, o que contribui para o aumento de alternativas renováveis mais sustentáveis na matriz energética brasileira.

O termo “florestas energéticas” é comumente usado, tanto para plantações silviculturais com espécies exóticas (eucalipto, por exemplo), como também para o manejo de florestas nativas. As plantações representam uma área na qual o Brasil tornou-se um dos principais atores globais, o que difere do caso de manejo de florestas nativas na Amazônia (FEARNSIDE, 2008).

Vale a pena considerar que o aproveitamento de resíduos culturais (agrícolas e florestais) como fonte de insumos para geração de energia elétrica implica a remoção de uma importante fonte de nutrientes e matéria orgânica para o solo, o que não é conveniente tanto do ponto de vista econômico como ambiental.

Por outro lado, plantar florestas com a finalidade exclusiva de produção de biomassa destinada à energia, como geração de eletricidade, cria uma perspectiva ambiental mais sustentável, se comparadas com outros tipos de exploração de biomassa energética, uma vez que o sistema de produção contempla o aproveitamento da madeira e, conseqüentemente, o retorno dos resíduos culturais (galhos, folhas e ponteiros) para o solo (MÜLLER *et al*, 2005).

Portanto, as florestas energéticas podem ser definidas como plantações arbóreas de curta duração como opção potencial de fonte energética. Estas florestas têm um regime de manejo de acordo com o conceito de cultivo de gramíneas, em talhões adensados, colhidos em intervalos de 6 a 7 anos, com condução de rebrota por mais cinco rotações (SEIXAS *et al*, 2006).

Atualmente no Brasil, a maior parte das plantações é dedicada à produção de celulose e não à geração de energia, embora deva ser esperado que o uso de madeira oriunda de florestas plantadas, para este propósito, aumente nos próximos anos. Isto também deverá ocorrer para a

produção de plantações voltadas a atender à demanda de mercados domésticos para madeira serrada e para outras formas de madeira maciça, que hoje têm origem, principalmente, da floresta amazônica (FEARNSIDE, 2008).

Até agora, plantações silviculturais na Amazônia têm sido de área limitada, e nenhuma dessas é dedicada à produção de energia. Grandes plantações foram planejadas na área da Estrada de Ferro de Carajás, dedicadas à geração de energia, mas a continuada e fácil disponibilidade de madeira a partir do desmatamento, limitou e continua limitando a competitividade de florestas plantadas (FEARNSIDE, 2008).

A Companhia Vale do Rio Doce (CVRD) chegou a executar uma série de ensaios no passado, visando testar o manejo da floresta amazônica para produção de carvão vegetal, em Buriticupu - MA, mas sem maiores resultados. Segundo FEARNSIDE (2008), a biomassa da floresta amazônica tem sido usada para energia em vários contextos, sendo obtida de madeira de desmatamento, sem a necessidade de manter uma floresta energética sob manejo.

A expansão de plantios florestais com fins energéticos no Brasil está acontecendo, principalmente, na região centro-oeste e sudeste do país, onde novos empreendimentos siderúrgicos estão sendo desenvolvidos. A área plantada pelo setor siderúrgico é da ordem de 1,2 milhões de hectares. Nos últimos anos, o setor vê reduzida significativamente a sua área plantada, gerando preocupações quanto ao futuro abastecimento das unidades industriais. Somente, em Minas Gerais, a área anual de plantio atinge 30 mil hectares, quando deveria atingir 150 mil hectares de plantios com finalidade de produção energética (carvão vegetal) (BELOTI, 2008).

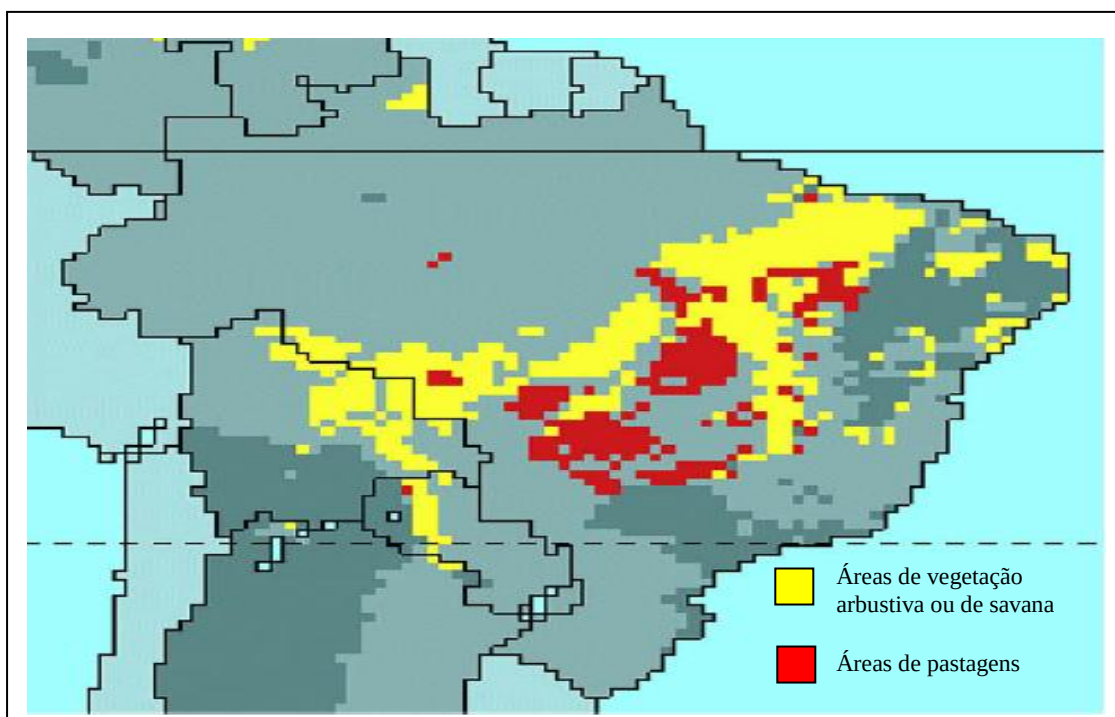
Em relação à disponibilidade de solos no Brasil para este tipo de cultura, TREXLER e HAUGEN (1995) encontraram que 850 mil km<sup>2</sup> podem ser adequados para florestamento em um longo prazo, mas somente 200 mil km<sup>2</sup> poderiam ser plantados até 2030. Nestas áreas

estariam incluídas regeneração natural, fazendas florestais e áreas com propósitos de plantio florestal.

Para RAMALHO FILHO e PEREIRA (1999) o país tem 412 mil km<sup>2</sup> de terras potenciais para plantios florestais, das quais 49% se encontrariam na região centro-oeste. Estas terras aptas para silvicultura não teriam conflitos nem competitividade com outros usos, como cultivos agrícolas e/ou pastagem.

No plano FLORAM foram identificadas e localizadas aproximadamente 150 mil km<sup>2</sup> de terras apropriadas para plantios de florestas comerciais (Eucalipto e Pino), além de 28,1 mil km<sup>2</sup> de reflorestamento corretivo com espécies nativas e de 27,8 mil km<sup>2</sup> de reflorestamento consorciado, chegando num total de cerca de 200 mil km<sup>2</sup> de superfícies adequadas para reflorestamento no Brasil (Ab'SABER *et al*, 1989).

Posteriormente, o trabalho de PIKETTY *et al* (2009) estimou a superfície de terra aproveitável para plantios florestais com fins energéticos, seguindo critérios de potencialidade técnica. As terras selecionadas foram as que apresentavam vegetação arbustiva e/ou pastagens, com mais de 800 mm/ano de precipitações e com menos de 80 habitantes/km<sup>2</sup> de densidade populacional. Além disso, foram excluídas as terras de reservas indígenas e as unidades de conservação federais e estaduais. Esta estimativa resultou numa superfície total de aproximadamente 770 mil km<sup>2</sup>, sendo 256 mil km<sup>2</sup> de pastagens localizadas, principalmente, na região Centro-Oeste (137 mil km<sup>2</sup>). A superfície onde há vegetação arbustiva ou de savana alcançou 511 mil km<sup>2</sup>, encontrando-se principalmente nas regiões do Leste com 202 mil km<sup>2</sup>, Norte com 134 mil km<sup>2</sup> e Centro-Oeste com 131 mil km<sup>2</sup> (Figura 4).



**Figura 4. Distribuição da disponibilidade de terra potencial para florestas plantadas com fins energéticos no Brasil**

Fonte: PIKETTY *et al*, 2009.

No mapa da figura 4, se observa a distribuição espacial das áreas que possuem potencialidade técnica para serem florestadas com eucalipto para produção energética.

No caso da dedução, neste cálculo, das superfícies de Reserva Legal dentro dos critérios aplicados no estudo, a área total com aptidão para florestas plantadas diminuiria à cerca de 670 mil km<sup>2</sup>.

Segundo este estudo, os Estados com maior potencial de áreas para serem florestadas seriam Mato Grosso, Tocantins, Maranhão, Piauí, Goiás, Minas Gerais, Bahia, Mato Grosso do Sul, e Pará. Na tabela 6 são apresentadas as superfícies totais com potencial técnico de cada Estado.

**Tabela 6. Superfícies com potencialidade técnica para plantios florestais energéticos em alguns Estados do Brasil (milhões de hectares)**

| ESTADO              | SUPERFÍCIE |
|---------------------|------------|
| Mato Grosso         | 14,2       |
| Tocantins           | 10,7       |
| Maranhão            | 9,9        |
| Piauí               | 8,1        |
| Goiás               | 6,0        |
| Minas Gerais        | 5,9        |
| Bahia               | 3,0        |
| Mato Grosso do Sul  | 2,5        |
| Pará                | 2,0        |
| Rondônia            | 1,4        |
| Ceará               | 1,4        |
| Rio Grande do Norte | 1,0        |
| Roraima             | 0,6        |
| Paraíba             | 0,3        |
| Amazonas            | 0,1        |

Fonte: adaptado de PIKETTY *et al*, 2009.

Pode ser observado que nos estados onde já estão concentradas as áreas de maior tamanho de florestas com finalidade energética ainda há uma grande potencialidade de implantação de novas áreas para este fim, como é o caso de Minas Gerais, Maranhão, Pará e Mato Grosso do Sul, que somadas chegariam a 20,3 milhões de hectares.

#### **1.4 - Florestas plantadas com fins energéticos e sua produtividade**

A floresta plantada constitui-se numa sucessão secundária racional, ou seja, orientada segundo determinadas finalidades e mantida sempre no estágio juvenil.

Quando o seu objetivo primordial é o aumento na produtividade, a primeira medida que se toma é a regularização do espaço entre as árvores, fazendo caber dentro da área estabelecida o número mais conveniente de mudas, dentro de um plano de manejo previamente determinado. O desenvolvimento uniforme de espécies de rápido crescimento durante um período de 7 a 8

anos possibilita a obtenção da mesma área basal<sup>1</sup> observada na floresta natural tropical clímax (POGGIANI, 1989). Essa elevada produtividade pode ser obtida, basicamente, por meio da seleção de árvores apropriadas para o reflorestamento (seleção genética), espaçamento adequado das árvores para evitar ou retardar a competição das copas e dos sistemas radiculares e a aplicação de outros tratamentos silviculturais.

No Brasil, através de programas de melhoramento florestal, tem se logrado aumentar consideravelmente a produtividade dos plantios, principalmente com o aspecto relativo às características genéticas das espécies/clones (ABRAF, 2009). O setor de florestas plantadas brasileiro vem se beneficiando deste tipo de pesquisa por anos, que envolve o desenvolvimento do material genético, espaçamento entre árvores, fertilização, técnicas de plantio, controle de pragas e doenças, manejo florestal entre outros.

A produtividade média dos plantios de Eucalipto passou de 14 m<sup>3</sup>/ha/ano nos anos 70 para 38 m<sup>3</sup>/ha/ano até meados dos 90. Na atualidade, a produtividade média dos plantios comerciais de Eucalipto é de 40 m<sup>3</sup>/ha/ano (PIKETTY *et al*, 2009). Dados do IPEA-Instituto de Economia Agrícola de São Paulo- revelaram que a produtividade média estadual do eucalipto é de 39 m<sup>3</sup>/ha/ano. Segundo Fonseca (2009) os plantios de eucalipto poderão chegar numa produtividade média anual de 55 m<sup>3</sup> per hectare a partir de 2010 em algumas regiões do país.

Na tabela 7 são apresentadas as produtividades máximas e mínimas anuais e por rotação (6 anos) dos plantios de Eucaliptos para alguns Estados Brasileiros, segundo PIKETTY *et al* (2009).

---

<sup>1</sup> Área basal é o termo usado no manejo florestal, que define a área de um determinado troço de terra que é ocupada pela seção transversal da árvore de troncos e galhos em sua base. As medições são normalmente feitas por um hectare de terra para fins de comparação para analisar a produtividade da floresta e a taxa de crescimento.

**Tabela 7. Produtividade média anual e no final da rotação para plantios de Eucalipto em alguns Estados do Brasil**

| Estado             | Produtividade mínima (m³/ha/ano) | Produtividade máxima (m³/ha/ano) | Máxima Produtividade no final da rotação (m³/ha) |
|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------|
| Mato Grosso        | 25                               | 35                               | 210                                              |
| Tocantins          | 30                               | 35                               | 210                                              |
| Maranhão           | 25                               | 30                               | 180                                              |
| Piauí              | 25                               | 35                               | 210                                              |
| Goiás              | 30                               | 40                               | 240                                              |
| Minas Gerais       | 35                               | 40                               | 240                                              |
| Pará               | 25                               | 30                               | 180                                              |
| Bahia              | 35                               | 40                               | 240                                              |
| Mato Grosso do Sul | 40                               | 50                               | 300                                              |

Fonte: adaptado de PIKETTY *et al*, 2009.

Os ganhos em quantidade e qualidade do produto final dos plantios comerciais trazem resultados econômicos significativos, compensando o custo envolvido com pesquisa e tecnologias aplicadas. Estes ganhos podem ser o aumento da densidade da madeira e seu poder calorífico, a presença de tiloses, o teor de cinzas, o teor de extrativos, entre outras. A importância de pesquisas tecnológicas e programas de melhoramento genético visam também diminuir o ciclo da colheita e melhorar os resultados (ABRAF, 2009).

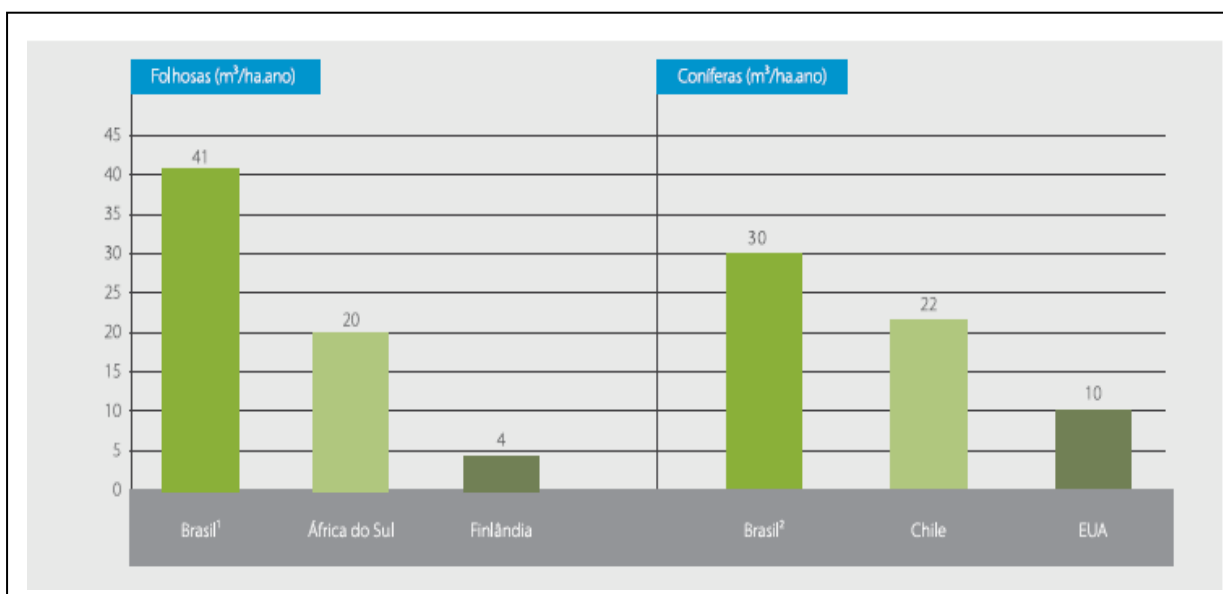
A produtividade volumétrica florestal do Brasil apresenta um Incremento Médio Anual (IMA) dez vezes superior ao de países como a Finlândia, para espécies folhosas ou latifoliadas<sup>2</sup>. E no caso das coníferas<sup>3</sup>, esse índice também é maior do que os do Chile e dos Estados Unidos (ABRAF, 2009).

A figura 5, extraída do anuário estadístico 2009 do ABRAF, ilustra a comparação da produtividade de espécies de rápido crescimento (folhosas e coníferas) entre o Brasil e outros países com tradição florestal no mundo.

<sup>2</sup> Espécies folhosas ou latifoliadas são as que perdem total ou parcialmente as folhas no inverno, com a queda da temperatura. Este tipo de espécies são, também, denominadas de madeiras duras. Ex. gênero *Eucaliptus*.

<sup>3</sup> São espécies de folha perene, e também são denominadas de madeira macia. Ex. gênero *Pinus*.





**Figura 5. Comparação da produtividade de florestas plantadas de coníferas e de folhosas no Brasil com outros países**

Fonte: ABRAF, 2009.

Outra forma de medição de produtividade para plantios energéticos é através de unidades de energia/unidade de superfície. Segundo o estudo de MÜLLER *et al* (2005), o poder calorífico por hectare plantado pode ser obtido em função da quantidade de biomassa seca nos tratamentos de diferentes densidades de árvores por superfície. Observou-se um aumento da quantidade de energia por hectare com o aumento da densidade do plantio. Para plantios de *Eucalyptus sp* com uma alta densidade (6.660 árvores por hectare) se registrou em média um poder calorífico superior de  $189 \times 10^6$  Kcal/hectare em contraste aos  $93 \times 10^6$  Kcal/hectare de plantios com 1.111 árvores por hectare.

Em relação à geração de energia elétrica, as florestas de Eucaliptos podem abastecer plantas com diferentes capacidades instaladas; para plantas de 10MW são necessárias entre 570 e 1.150 hectares de floresta (dependendo da densidade do plantio), entregando em média um total de 24.300 toneladas de lenha. Para plantas de 1MW a superfície necessária para abastecimento de lenha varia entre 57 e 114 hectares (MÜLLER *et al*, 2005).

## **CAPITULO II**

### **2. FLORESTAS, CICLO DO CARBONO E MUDANÇAS CLIMATICAS**

O carbono (C) é um elemento importante para os seres vivos, pois faz parte da composição química de todos os compostos orgânicos e de alguns inorgânicos. O carbono combina-se e é química e biologicamente ligado aos ciclos do O e H para formar os compostos da vida.

O carbono na atmosfera encontra-se como gás, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o qual apresentasse numa baixa concentração, aproximadamente 0,03% e na mesma proporção nos oceanos, lagos e rios (ROSA *et al*, 2003), mas é o composto orgânico de C mais abundante na atmosfera. Também, o Metano (CH<sub>4</sub>), outro composto orgânico, ocorre em menor quantidade na atmosfera.

Parte do ciclo do C é inorgânica, e, os compostos não dependem das atividades biológicas. O CO<sub>2</sub> é solúvel em água, sendo trocado entre a atmosfera e a hidrosfera por processos de difusão. O dióxido de carbono da atmosfera é incorporado pelos vegetais na fotossíntese e devolvido para a atmosfera através da respiração dos seres vivos e pela decomposição dos seres mortos. Dois fenômenos são importantes no ciclo do carbono: a fotossíntese e a respiração.

#### **A Fotossíntese:**

A fotossíntese é um fenômeno natural no qual os seres vegetais ou seres fotossintetizantes absorvem energia solar (luz) para seu processo de crescimento e desenvolvimento. A fotossíntese pode ser considerada como um dos processos biológicos mais importantes na Terra. Este processo utiliza a energia solar para converter o CO<sub>2</sub> em carboidratos, liberando oxigênio (O<sub>2</sub>) como subproduto na atmosfera. Posteriormente, se a planta assim o necessitar,

ela pode utilizar a energia armazenada nos carboidratos para sintetizar outras moléculas. Os componentes orgânicos formados são os açúcares (carboidratos), proteínas, lipídeos e ceras em geral.

Parte do carbono retirado do ar passa a constituir a biomassa dos seres fotossintetizantes, podendo eventualmente ser transferida aos animais herbívoros através da nutrição. Este  $\text{CO}_2$  capturado da atmosfera e armazenado em forma de carbono no interior das árvores como biomassa, pode chegar a corresponder, aproximadamente, 50% da biomassa seca total das árvores e outros vegetais. Uma parte deste carbono é incorporado ao solo terrestre.

Por tudo isto as florestas são consideradas grandes geradoras de oxigênio e reguladoras de gases para a atmosfera.

### **A Respiração:**

A devolução do carbono a atmosfera ocorre pelo chamado fenômeno de respiração aeróbica, onde uma parte das moléculas orgânicas é degradada, e o carbono que as constituía é devolvido à atmosfera, novamente na forma de  $\text{CO}_2$ . Este fenômeno ocorre tanto nos animais como nos vegetais.

Nos vegetais, principalmente nas árvores, a respiração acontece de noite, quando não há presença de luz. Neste processo as árvores consomem oxigênio e liberam  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Isto provoca que a diferencia entre a produção de  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$  não seja tão significativa.

Outras formas do carbono retornar a atmosfera é através da decomposição e oxidação dos organismos vivos. A queima das florestas e vegetais, como processo de oxidação, também devolve carbono a atmosfera, mas é importante ressaltar que isto pode trazer graves problemas ambientais e gerar variações no ecossistema global (ROSA *et al*, 2003).

## 2.1 - A Floresta e o balanço do carbono

A vegetação terrestre, especialmente as florestas, possui um papel importante pela sua capacidade de fornecer ou captar gás carbônico. Também a perda de vapor pela superfície de esses ecossistemas tem um efeito sobre os processos terrestres do ciclo biogeoquímicos de outros elementos e até a mudança dos padrões climáticos globais (ADUAN *et al*, 2004).

Segundo estudos, nos continentes os solos tem estocado, aproximadamente, 1.600 Gigatoneladas (Gt) de C e na vegetação existiriam 560 Gt de C. (CERRI, 2006; SCHLESINGER, 1997). A avaliação dos recursos florestais da FAO (2010) estima que os florestas do mundo consigam armazenar 289 Gt de carbono somente na sua biomassa.

Os reservatórios considerados e possíveis de mensurar para a estimação dos estoques de C são a biomassa acima do solo, biomassa abaixo do solo, serapilheira, madeira morta e carbono no solo.

Os diferentes biomas do mundo possuem uma forma distinta de armazenagem de C, seja na biomassa aérea, matéria orgânica morta, raízes (biomassa abaixo do solo) e carbono no solo. A Floresta Tropical pode chegar a estocar 147 tC por hectare, sendo o bioma com maior capacidade de armazenagem, seguido pela Floresta Temperada Decídua com 117 tC/ha e a Floresta Temperada Mista com 106 tC/ha. Os demais biomas conseguem estocar menos de 100 tC por hectare (CAMPOS *et al*, 2005).

Segundo a FAO (2007), o Brasil tem um estoque de Carbono na biomassa aérea da sua vegetação de 49.335 Mt, correspondendo ao 20,5% do C do mundo em biomassa. O continente Africano aparece com o 25% do mundo e a América Latina com 32,1%. Isto mostra que o Brasil tem o 63,8% do carbono na biomassa aérea da região latino americana.

A cobertura vegetal terrestre é responsável por um fluxo intenso de carbono no ciclo global. Estima-se que são absorvidos anualmente 121 Gt de Carbono da atmosfera pela produção primária (fotossíntese), dos quais 60 Gt de C retornam a atmosfera pelo processo de respiração dos seres vivos, 60 Gt de C pela decomposição da matéria orgânica na superfície da terra, e 1,6 Gt de C pela queima de material vegetal (SCHLESINGER, 1997).

O manejo sustentável das florestas (plantios e restauração) podem permitir conservar ou aumentar as existências de C, mas o desflorestamento e a degradação de florestas reduzem este estoque. Mundialmente, as existências de carbono na biomassa florestal foram reduzidas em 0,5 Gt anualmente durante o período 2005-2010, principalmente por causa do desmatamento (FAO, 2010).

No mundo a mudança no uso do solo ocupa o segundo lugar em emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Isto ocorre quando são desenvolvidas atividades com o objetivo de criar novas áreas produtivas, e os estoques de C na vegetação natural são substituídos por plantações que possuem menos carbono por unidade de superfície (IVIG, 2001).

O sub-continente de América do Sul é o principal emissor de dióxido de carbono pela mudança no uso do solo, seguido pelos países da Ásia, África, EUA e em quinto lugar os países da Oceania. No Brasil, o desmatamento para uso agropecuario, que corresponde a mudanças no uso do solo e florestas, é responsável pela emissão de aproximadamente 770 MM tCO<sub>2</sub>/ano, que correspondem a 77% das emissões totais do país para o ano de 1994 (INT, 2009). Isto faz que a mudança no uso do solo e florestas seja considerado o principal setor nas emissões de dióxido de carbono no país e que o Brasil seja o maior poluidor, neste mesmo setor, no mundo.

Entre 2000 e 2005 a taxa de mudanças anual do desmatamento no Brasil foi de 0,6%, sendo que no mundo foi 0,18% a.a. Isto corresponde numa perda anual de aproximadamente 31 mil km<sup>2</sup> de floresta no Brasil (FAO, 2007).

As áreas desmatadas dos biomas Amazônico, da Mata Atlântica e do Cerrado somam 2,5 milhões de km<sup>2</sup>, a soma das superfícies formadas pelos Estados das Regiões Nordeste e Sudeste. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o desflorestamento na floresta Amazônica (Amazônia legal) no período de 2006-2007 foi de 11.532 km<sup>2</sup>, divulgado nos resultados consolidados do PRODES 2007, em 19 de agosto de 2008.

Em relação às emissões líquidas de CO<sub>2</sub> pela mudança do uso da terra, o bioma Amazônico apresenta 428,6 MM tCO<sub>2</sub> (59%), seguido pelo bioma do Cerrado com 188,7 MM toneladas (26%), a Mata Atlântica com 41,3 MM toneladas (6%), a Caatinga com 36,5 MM toneladas (5%), e por ultimo o bioma Pantanal com 27,4 MM t/CO<sub>2</sub> correspondendo ao 4% do total (MCT, 2006a). Para IVIG (2008) a emissão por unidade de área desmatada na Amazônia é ainda maior da calculada pelo MCT, isto porque o inventario não contabiliza a biomassa em baixo do solo e a biomassa morta.

Por outro lado estudos indicam que a Floresta Amazonica, no Brasil, absorve e emite quase 2 bilhões de toneladas de dióxido de carbono por ano pelo fenomeno de fotossíntese e respiração das arvores (PHILIPS *et al*, 2009).

Para as florestas plantadas no Brasil, foram estimadas as remoções líquidas, para o período 1990-1994, de 11 MM toneladas de Carbono/ano. Sendo os plantios de Eucaliptos responsáveis por 93% da quantidade total (MCT, 2006b).

Estima-se que há no Brasil um potencial de reflorestamento de um pouco mais de 20 milhões de hectares, sendo estes para diferentes fins, como produtivo-industrial, recuperação ecológico-ambiental e mistos (Projeto FLORAM) .

Para este tipo de florestas (plantadas) diferentes estudos assinalam que o potencial de seqüestro esta entre 200 e 300 toneladas de CO<sub>2</sub> por hectare até o final da rotação das florestas. Sendo considerado pelo MMA um fator de 120 tC/ha para o reflorestamento de recuperação segundo a instrução normativa nº7 de 13 de abril de 2009 que resolve sobre a mitigação das emissões do dióxido de carbono oriundas da geração de energia elétrica de usinas termelétricas. O Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da Republica (NAE, 2005) estimou o carbono fixado pelo reflorestamento em 30 anos, considerando vários tipos de produtividade potencial da floresta, e que pode chegar a ser, em media, de 26,8 t de CO<sub>2</sub>/hectare/ano. Por outro lado, a BRACELPA, em 2010, estimou que no Brasil a massa de florestas plantados, que é de 6,3 milhões de hectares, chegam a remover da atmosfera aproximadamente 1 bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub>/ano.

## **2.2 - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e as Florestas**

A mudança no uso do solo nas regiões tropicais responsabiliza-se por cerca de 20% das emissões totais globais dos Gases de Efeito Estufa (GEE) no planeta (IPCC, 2007).

Os mecanismos de flexibilização adotados no Protocolo de Quioto (1997) prevêm um sistema de compensação de emissões dos GEE que buscam auxiliar o atendimento das metas de redução de emissões globais dos GEE entre os países signatários do Protocolo.

Um destes mecanismos de flexibilização é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Através do MDL, os países não industrializados ou em desenvolvimento (não-Anexo 1) participam do mercado de carbono.

Os requisitos determinados pelo Protocolo de Quioto para os projetos florestais, as definições do Acordo de Marraqueche, adicionados das regras dos países hospedeiros, constituem as regras para a aprovação de projetos de MDL. Tais regras (definições, procedimentos e modalidades) são categóricos para a elaboração e implementação das atividades dos projetos de MDL.

Esse tipo de mecanismo prevê que as atividades de Uso da Terra, Mudança de Uso da Terra e Florestas (Land Use, Land Use Change and Forests - LULUCF) poderão captar o dióxido de carbono da atmosfera, reduzindo as emissões líquidas globais. Isto se dá devido a que as florestas fixam carbono durante o crescimento das árvores, o qual fica constituído nas partes dos vegetais. O plantio de novas florestas sequestra uma quantidade maior de carbono de que a manutenção de florestas adultas por unidade de superfície, já que as árvores maduras entram em equilíbrio da quantidade de C absorvido na fotossíntese e o liberado pela respiração.

As atividades elegíveis ao MDL, para projetos de LULUCF, incluem as atividades de florestamento e reflorestamento, e excluem atividades de conservação florestal e outros usos da terra.

Para isto, as atividades de Florestamento entendem-se como a conversão induzida por meio antropogenico da terra que não foi florestada por um período de pelo menos 50 anos em terra florestada por meio de plantio, semeadura e/ou a promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes e, no caso de Reflorestamento define-se como a conversão, induzida diretamente pelo homem, de terra não florestada em terra florestada por meio de plantio, semeadura e/ou a promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes, em área



que foi florestada, mas convertida em terra não-florestada (Decisão 11/CP.7 Uso da terra, mudança no uso da terra e florestas).

Outros conceitos tratados no âmbito do MDL são o de Floresta, que por convenção é uma superfície mínima de terra de 0,05 a 1 hectare, com densidade de cobertura das copas das árvores de entre 10 e 30% da área, e com potencial de altura mínima destas árvores de 2 a 5 metros na maturidade. Destaca-se que o Código Florestal Brasileiro não define as dimensões do que pode ser denominada “Floresta”, e portanto, o Brasil, a ser signatário do protocolo de Kyoto, é obrigado a utilizar esta definição. O conceito de Desflorestamento entende-se como a conversão induzida diretamente pelo homem, de terra florestada em terra não-florestada; Revegetação define-se como atividade induzida diretamente pelo homem, para aumentar os estoques de carbono, em determinados locais por meio do estabelecimento de vegetação que cubra uma área mínima de 0,05 hectares e não se enquadre nas definições de Florestamento e Reflorestamento; e por ultimo o Manejo Florestal é determinado por um sistema de praticas e atividades para manejo e uso da terra florestal, visando o atendimento de funções ecológicas, econômicas e sociais relevantes da floresta de uma maneira sustentável.

É importante assinalar que no primeiro período de compromisso das metas de emissão (2008-2012), as atividades de Reflorestamento estão limitadas a ocorrer nas terras que não possuíam florestas antes de 31 de dezembro de 1989.

Cabe salientar, também, que existem outros limitantes para este tipo de projetos, como é o caso, no qual os países Anexo I, somente, podem utilizar certificados de redução de emissões florestais (tCERs ou ICERs siglas em inglês) em 5% das suas obrigações de cumprimento das suas metas, ou seja, 1% cada ano para o período de cumprimento 2008–2012. Este valor corresponderia a 686.415 Kt CO<sub>2</sub> como limite maximo se todos os países signatários ratificarem o protocolo de Kyoto.

Os tCERs e lCERs são de caráter temporário, e sua “vida útil” se limita ao tempo de duração de cada projeto. Os tCERs são os créditos temporários e se renovam totalmente a cada processo de verificação, já os lCERs são créditos de longo prazo, e vão se acumulando a cada processo de verificação.

Os projetos florestais deste tipo estão, normalmente, designados a entregar quantidades importantes de créditos de carbono antes de 2012. Para poder entregar estes créditos a tempo, os projetos florestais tem começado no período 2000 – 2002. Até 2007, a maioria dos projetos tinham optado pela expedição de certificados de reduções de emissão de longo prazo (lCERs), como meio para poder manejar a não-permanência (63% dos créditos de carbono a ser gerados para o 2012). Por outro lado, os certificados temporais de redução de emissão (tCERs) são menos abundantes (37% dos créditos há ser gerados para o 2012). Ainda assim, os dados mostram uma clara preferência pelos lCERs, mas, também, se tem observado no mercado que os tCERs estão cada vez mais populares. Os projetos florestais de grande escala típico do pipeline compreendem áreas de reflorestamento de entre 6.000 e 8.000 hectares (NEFF et al, 2007).

Os projetos de Florestamento e Reflorestamento no MDL estão divididos em 2 tipos; de grande escala (GE) e pequena escala (PE). Os primeiros são projetos que sobre passam as 8.000 tCO<sub>2</sub>e ou CERs por ano e os de pequena escala os que não alcançam reduzir emissões por ano mais do que essa quantidade. Todas as atividades florestais de GE e PE têm que passar pelo mesmo ciclo de procedimentos para registro e validação dos projetos e CERs no contexto do MDL. Estas etapas em forma geral são as seguintes:

- Desenho do Projeto: Elaboração do Documento de Desenho de Projeto (DDP ou PDD em inglês) e o Plano de Monitoramento e Verificação.
- Aprovação do País Hospedeiro: A Autoridade Nacional Designada (AND) expede a Carta de Aprovação (CdA).
- Validação do Desenho de Projeto (PDD) por parte da Entidade Operacional Designada (EOD).
- Registro do Projeto com o Comitê Executivo do MDL.
- Monitoramento do Projeto de Florestamento/Reflorestamento pelo desenvolvedor da atividade do projeto.
- Verificação da implementação do PDD e os resultados do monitoramento pelo EOD.
- Certificação: Declaração de verificação exitosa do PDD realizada pelo EOD
- Emissão de CERs pelo Comitê Executivo do MDL.

### **2.2.1 - Status dos Projetos MDL florestais**

Atualmente as atividades de Florestamento e Reflorestamento (Afforestation and Reforestation - A/R sigla em inglês) do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, como são catalogados pelo United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) os projetos florestais, apresentam 9 metodologias de grande escala aprovadas. Destas metodologias, somente 2 estão consolidadas pelo órgão da ONU. O numero pequeno de metodologias se deve principalmente as dificuldades da quantificação precisa da absorção de C por parte das florestas, o que reflete na lenta aprovação deste tipo de metodologia (IVIG, 2008).

Na Tabela 8 são apresentadas as metodologias aprovadas e consolidadas pelo Painel executivo do UNFCCC das atividades de A/R para grande escala.

**Tabela 8. Metodologias Aprovadas e Consolidadas de A/R de grande escala pelo UNFCCC, até 3 de dezembro de 2010**

| REFERENCIA | TITULO                                                                                                                                           | PAÍS             |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| AR-AM0002  | Restauração de áreas degradadas através de florestamento/reflorestamento (Versão 3)                                                              | Moldovia         |
| AR-AM0004  | Restauração ou florestamento de áreas atualmente utilizadas pela agricultura (Versão 4)                                                          | Honduras         |
| AR-AM0005  | Projetos de florestamento e reflorestamento para uso industrial/comercial (Versão 4)                                                             | Brasil           |
| AR-AM0006  | Florestamento / reflorestamento com árvores apoiada por arbustos em áreas degradadas (Versão 3)                                                  | China            |
| AR-AM0007  | Florestamento e reflorestamento de terras atualmente sob uso agrícola ou pastoril (Versão 5)                                                     | Equador          |
| AR-AM0009  | Florestamento ou reflorestamento em terras degradadas permitindo atividades silvipastoris (Versão 4)                                             | Colômbia         |
| AR-AM0010  | Atividades de projetos de florestamento e reflorestamento implementado nas pastagens não gerenciado em reservas e/ou áreas protegidas (Versão 4) | Brasil           |
| AR-AM0011  | Florestamento e reflorestamento de terras sujeitas à agricultura de policultivo (Versão 1).                                                      | Ghana            |
| AR-AM0012  | Florestamento ou reflorestamento de terras agrícolas degradadas ou abandonadas (Versão 1)                                                        | Argentina        |
|            |                                                                                                                                                  |                  |
| AR-ACM0001 | Reflorestamento de áreas degradadas (Versão 04)                                                                                                  | Albania          |
| AR-ACM0002 | Recuperação de áreas degradadas por meio de florestamento / reflorestamento (Versão 02)                                                          | China/Madagascar |

AM: Metodologia Aprovada. ACM: Metodologia Consolidada.

No mundo, somente dez países apresentaram até o momento metodologias deste tipo de atividade, sendo o Brasil e a China os principais com duas colaborações cada um. Pode se destacar que a maioria das metodologias foram desenvolvidas para projetos florestais de recuperação de áreas degradadas nas regiões tropicais.

As atividades A/R de pequena escala, também, são consideradas e, na atualidade somente 7 metodologias foram aprovadas pelo comitê executivo do UNFCCC, conforme são apresentadas na tabela 9 abaixo.

**Tabela 9. Metodologias Aprovadas e Consolidadas de A/R de pequena escala pelo UNFCCC, até 3 de dezembro de 2010**

| Referência | Título                                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AR-AMS0001 | Simplificada de linha de base e de monitoramento para pequena escala de florestamento e reflorestamento no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo implementado em pastos ou terras agrícolas (Versão 5)                                                   |
| AR-AMS0002 | Simplificada de linha de base e de monitoramento para pequena escala de florestamento e reflorestamento no âmbito do MDL implementado em assentamentos (Versão 2)                                                                                               |
| AR-AMS0003 | Simplificada de linha de base e metodologia de monitoramento para a arborização de MDL de pequena escala e reflorestamento implementado em zonas húmidas (Versão 1)                                                                                             |
| AR-AMS0004 | Simplificada de linha de base e metodologia de monitoramento para sistemas agroflorestais de pequena escala - as atividades de projetos de reflorestamento no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo (Versão 1)                                           |
| AR-AMS0005 | Simplificada de linha de base e metodologia de monitoramento para pequena escala de florestamento e reflorestamento no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo implementado em terras com potencial inerente baixos para suportar biomassa viva (Versão 2) |
| AR-AMS0006 | Simplificada de linha de base e metodologia de monitoramento para a pequena escala de atividade silvipastoril - arborização e reflorestamento no âmbito do mecanismo de desenvolvimento limpo (Versão 1)                                                        |
| AR-AMS0007 | Simplificada de linha de base e metodologia de monitoramento para pequena escala de atividade MDL F/R implimentada em terras de pastagem e de cultivos (Versão 1).                                                                                              |

AMS: Metodologia de Pequena Escala.

Até o dia 3 de dezembro de 2010, no âmbito do MDL, tinham sido registrados 18 projetos de Florestamento e Reflorestamento, e 1 projeto requerendo o registro no comitê executivo da UNFCCC. Sendo que a maioria dos projetos foram desenvolvidos utilizando as metodologias 0001, 0002 e 0003 de grande e pequena escala.

Na tabela 10, são apresentados os projetos, seu status e as características particulares de cada um, incluindo a quantidade de reduções de emissões de GEE estimadas.

**Tabela 10. Projetos de A/R aprovados e em vias de aprovação pelo comitê executivo do MDL (em 3 de dezembro de 2010)**

| Registrado | Título                                                                                  | Parte Hospedeira     | Outras Partes     | Metodologia *    | Reduções ** |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|------------------|-------------|
| 10 Nov 06  | Reflorestamento para a Gestão de Bacia Hidrográfica Guangxi na Bacia do Rio das Pérolas | China                | Itália<br>Espanha | AR-AM0001 ver. 2 | 25.795      |
| 30 Jan 09  | Moldávia Projeto de Conservação do Solo                                                 | Republica de Moldova | Holanda           | AR-AM0002 ver. 1 | 179.242     |

| Registrado | Título                                                                                                                                                             | Parte Hospedeira | Outras Partes | Metodologia *     | Reduções ** |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------|-------------------|-------------|
| 23 Mar 09  | Cooperativa de Pequena Escala MDL de Florestamento Atividade do Projeto Piloto sobre Terras Privadas Afetadas pela Mudança das Dunas de areia em Sirsa, Haryana    | Índia            |               | AR-AMS0001 ver. 4 | 11.596      |
| 28 Abr 09  | Cao projeto de reflorestamento Phong                                                                                                                               | Vietnam          |               | AR-AMS0001 ver. 4 | 2.665       |
| 05 Jun 09  | Reflorestamento de landmass severamente degradada em Khammam distrito de Andhra Pradesh, Índia, sob a ITC Social Projeto Florestal                                 | Índia            |               | AR-AM0001 ver. 2  | 57.792      |
| 11 Jun 09  | Seqüestro de Carbono através do reflorestamento no trópico Boliviano por pequenos produtores de "A Federação de Comunidades Agropecuárias de Rurrenabaque (FECAR)" | Bolívia          | Bélgica       | AR-AMS0001 ver. 4 | 4.341       |
| 21 Aug 09  | Uganda projeto de reflorestamento da Bacia do Nilo No.3                                                                                                            | Uganda           | Itália        | AR-AMS0001 ver. 5 | 5.564       |
| 06 Sep 09  | Reflorestamento de terras agrícolas e pastos nas comunidades de baixa renda do Departamento Paraguari, Paraguai                                                    | Paraguai         | Japan         | AR-AMS0001 ver. 4 | 1.523       |
| 16 Nov 09  | Florestamento e reflorestamento em terras degradadas no noroeste de Sichuan, na China                                                                              | China            |               | AR-AM0003 ver. 3  | 23.030      |
| 16 Nov 09  | "O reflorestamento, produção sustentável e projeto de seqüestro de carbono nas florestas secas de José Ignacio Távara, Piura, no Peru"                             | Peru             |               | AR-AM0003 ver. 4  | 48.689      |
| 07 Dez 09  | Etiópia humbo Assistida projecto de regeneração natural                                                                                                            | Etiópia          | Canadá        | AR-AM0003 ver. 4  | 29.343      |
| 02 Jan 10  | Regeneração natural assistida de Áreas Degradadas na Albânia                                                                                                       | Albania          | Italia        | AR-AM0003 ver. 4  | 22.964      |
| 15 Jan 10  | O Pequeno Grupo Internacional para Programa de Plantio de Árvores (TIST), Tamil Nadu, Índia                                                                        | India            | U. K.         | AR-AMS0001 ver. 5 | 3.594       |
| 16 Abr 10  | Projeto Florestal para a Bacia do Rio Chinchiná, uma alternativa ambiental e produtivo para a                                                                      | Colombia         |               | AR-AM0004 ver. 3  | 37.783      |

|                          | Cidade e a Região                                                                     |         |         |                   |        |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|-------------------|--------|
| 27 Mai 10                | Nerquihue MDL de pequena escala projeto de arborização utilizando inoculação no Chile | Chile   | U.K.    | AR-AMS0001 ver. 5 | 9.292  |
| 21 Jul 10                | Reflorestamento como fonte renovável de matéria-prima para uso industrial no Brasil   | Brazil  | Holanda | AR-AM0005 ver. 2  | 75.783 |
| 15 Set 10                | Reflorestamento em Áreas Degradadas no Nordeste do Guangxi                            | China   | Espanha | AR-ACM0001 ver. 3 | 87.308 |
| Requerimento de Registro | 'Posco Uruguay' Florestamento em áreas extensas de pastagem degradado                 | Uruguai |         | AR-ACM0001 ver. 3 | 21.957 |

\* AM - Grande escala, ACM – Metodologias Consolidadas, AMS – Pequena escala

\*\* Estimção de emissões de reduções em toneladas métricas de CO<sub>2</sub> equivalente por ano.

Dos projetos aprovados MDL florestais, somente um é oriundo do Brasil, apesar de que o país possui 2 metodologias já aprovadas pelo órgão internacional. Os 18 projetos aprovados de A/R representam 0,54% do total de projetos MDL registrados na UNFCCC até agosto de 2010, sendo os projetos da Indústria da Energia os que possuem a maior quantidade com 1.740 projetos, isto corresponde a 62,52% do total (Disponível em: <http://cdm.unfccc.int/Statistics/Registration/RegisteredProjByScopePieChart.html>).

### Status dos Projetos MDL A/R no Brasil

Os projetos de créditos de carbono do setor florestal no Brasil têm avançado de forma lenta, e até dezembro de 2010, somente, o projeto “*Reflorestamento como Fonte Renovável de Suprimento de Madeira para Uso Industrial no Brasil*”, baseado na metodologia AR-AM0005 e desenvolvido pela empresa Plantar S/A, e o “*Projeto MDL de Reflorestamento no Estado de São Paulo da AES Tietê*”, desenvolvido pela AES Tietê S.A. utilizando a metodologia AR-AM0010, conseguiram a aprovação por parte da Autoridade Nacional Designada (Comissão Interministerial no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo),

onde o Ministério de Ciência e Tecnologia e o Ministério de Meio Ambiente fazem parte (Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/57965.html#lista>).

O projeto da Plantar pretende, através de plantios florestais do gênero *Eucalyptus*, em aproximadamente 11,7 mil hectares no estado de Minas Gerais, a geração de estoques de carbono e remoção de gases de efeito estufa da atmosfera por meio de sumidouros (plantios), e a utilização de fontes sustentáveis de biomassa, substituindo combustíveis fósseis e biomassa não-renovável, para reduzir emissões de GEE no setor siderúrgico Brasileiro. Tais remoções chegariam a 2,27 M de toneladas de CO<sub>2</sub> até o final do período de 30 anos do projeto.

Outros dois projetos estão sendo desenvolvidos no país, um deles é o AES Tietê, o qual já tem sua metodologia aprovada, e onde se pretende reflorestar Áreas de Preservação Permanente (APP) ao redor dos reservatórios do rio Tietê. Este projeto compreende o plantio de espécies nativas numa superfície de 8.094 hectares, podendo chegar a sequestrar 2,7 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, no período de 30 anos. O projeto Soroteca Agroflorestal considera a implantação da espécie *Tectona grandis* (Teca) em 2.319 hectares, esperando remover 6,5 M de tCO<sub>2</sub>, num horizonte de 24 anos (IVIG, 2008).



## **CAPITULO III**

### **3. BIOMASSA FLORESTAL E ENERGIA**

A maior parte da energia mundial é gerada a partir de fontes não renováveis, especialmente petróleo, carvão e gás. Somente 13 % da energia mundial vêm de fontes renováveis, e 10,6 % destas são fontes renováveis de combustíveis e resíduos urbanos renováveis. O resto das energias renováveis são: hídrica, geotérmica, solar, eólica e maré-motriz (FAO, 2008).

A energia renovável, nos países em desenvolvimento, apresenta uma proporção maior dos suprimentos totais de energia que nos países desenvolvidos. Cerca de 75% da energia renovável é consumida nos países em desenvolvimento, nos quais a maior parte da produção deste tipo de energia, se baseia no uso tradicional da biomassa e na energia hidrelétrica. Os países industrializados representam 23 % do consumo mundial de energia renovável; e as economias em transição, somente 3 % (FAO, 2008).

A energia renovável se define como a energia que é produzida ou deriva-se de fontes que se renovam indefinidamente, tais como a energia hídrica, solar e eólica, ou de fontes produzidas de forma sustentável, tais como a biomassa (FAO, 2008). Portanto, a bioenergia continua sendo uma importante fonte na matriz energética para os países em desenvolvimento.

A exaustão de fontes não-renováveis e as pressões ambientais, a médio e longo prazo, poderão levar a um maior aproveitamento energético da biomassa. Atualmente, a biomassa vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de co-geração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica (ANEEL, 2005).

Para a ANEEL, do ponto de vista energético, e para fim de outorga de empreendimentos do setor elétrico, a biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, podendo ser

de origem animal ou vegetal, e que possa ser utilizada na produção de energia. Assim, a biomassa é considerada uma forma indireta de energia solar, na qual a energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos (ANEEL, 2005).

Segundo RAMAGE e SCURLOCK (1996), a quantidade de biomassa existente na terra é da ordem de dois trilhões de toneladas. Isso corresponderia, em termos energéticos, a mais ou menos 3.000 EJ por ano, ou seja, oito vezes o consumo mundial de energia primária, que é da ordem de 400 EJ por ano.

Para HALL e RAO (1999), a biomassa representa a maior fonte sustentável de energia renovável, composta por 220 bilhões de toneladas de matéria seca anual e, disponíveis para uso energético.

Uma vantagem importante da biomassa é que seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos e caldeiras. Para aumentar a eficiência do processo e reduzir impactos sócio-ambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como a gaseificação e a pirólise, também sendo comum a co-geração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética.

A FAO classifica os biocombustíveis segundo a procedência da biomassa usada na sua produção (floresta, agricultura ou resíduos urbanos) e a situação do produto. Os biocombustíveis compreendem combustíveis lenhosos, agro-combustíveis e os subprodutos urbanos, e cada um destes grupos é dividido em formas de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos que podem utilizar-se para a geração de calor ou eletricidade.

Os agro-combustíveis são considerados todos os materiais de biomassa que derivam diretamente dos cultivos destinados a produção de combustíveis e dos subprodutos agrícolas,

agroindustriais e animais. Entre eles estão o bagaço da cana-de-açúcar, casca de arroz, óleo de palma (dendê), casca de castanha de caju, casca de coco-da-bahia e outros.

A lenha é a matéria energética lenhosa predominante nas áreas rurais da maioria dos países em desenvolvimento. Por outro lado, o carvão vegetal continua sendo uma importante fonte de energia para muitos lares urbanos na África, Ásia e América Latina. Os países em desenvolvimento representam 90% do consumo mundial da lenha e carvão vegetal e, usado, principalmente, para cocção de alimentos e calefação. Nos últimos 15 anos, o consumo deste tipo de energético tem se mantido constante, entre 1.800 e 1.900 milhões de m<sup>3</sup> (FAO, 2008).

O Brasil se tornou o maior produtor de cana-de-açúcar, o qual é utilizado para a fabricação do etanol, que é o biocombustível mais importante na atualidade. Um dos resíduos desse processo é o bagaço, que também se utiliza como co-produto nas usinas sucroalcooleiras para geração de eletricidade e aquecimento, podendo chegar, estas usinas, a ser auto-suficientes na suas necessidades energéticas.

Os biocombustíveis urbanos incluem, principalmente, os produtos de resíduos tais como os lodos cloacais, gases de aterros sanitários (metano), assim como os resíduos sólidos urbanos. Na atualidade, existem alguns projetos no Brasil utilizando este tipo de biomassa para geração elétrica, mas ainda está em uma etapa incipiente.

### **3.1 - Biomassa Florestal como Fonte de Energia**

No Brasil, a biomassa lenhosa foi a principal fonte de energia primária, por mais de 4 séculos. Há mais de 60 anos atrás, a madeira respondia por 75% do total da energia consumida, já, em 1998, a energia proveniente da biomassa caiu para 9%. Isto, devido à fácil disponibilidade tecnológica e de baixo custo dos derivados de petróleo (LIMA e BAJAY, 2000).

Grande parte do aproveitamento da biomassa é pela utilização de resíduos agrícolas e florestais, resíduos gerados na indústria florestal (licor negro, serragem, ponteiros e outros) e geração de resíduos urbanos. Portanto, considerando uma expansão da geração e consumo elétrico a partir da biomassa, o fornecimento de matéria-prima estaria condicionado, principalmente, à expansão da atividade agrícola e florestal (MÜLLER *et al*, 2005).

Na busca de alternativas energéticas, dentro desse contexto, o uso da biomassa como insumo para geração elétrica considera-se de notável importância, tendo em vista que se trata de uma fonte renovável e descentralizada, que promove a geração de empregos no campo e renda adicional às famílias rurais (MÜLLER *et al*, 2005).

A celulose é considerada a fonte biológica natural renovável mais abundante do planeta, por isto, a produção de materiais e bioenergia baseada na matriz lignocelulósica, é importante para o desenvolvimento sustentável do ser humano. A celulose encontra-se nas florestas plantadas, principalmente eucaliptos, na agricultura e nos resíduos agroflorestais. A combustão de material lignocelulósico, a gaseificação, a pirólise e a digestão anaeróbica podem ser direcionadas para diversas aplicações, tais como: a geração de eletricidade, de calor e para o setor de transporte na substituição dos derivados do petróleo (MARLI, 2008).

A partir da biomassa florestal (madeira), por conversão biológica, pode ser produzido etanol, que é uma das tantas possibilidades para a produção de combustíveis líquidos. Existem outras opções para a transformação da biomassa florestal em energia: como lenha e chips, carvão vegetal, pellets e briquetes, biometanol, metiléster e dimetiléster, aceites pirolenhosos e biogás (CORVALÁN, 2006).

A biomassa florestal ou combustível lenhoso pode ser dividido nos seguintes grupos:

- Combustíveis lenhosos sólidos: lenha (madeira em bruto, chips, serragem, pellets e briquetes) e carvão vegetal;

- Combustíveis lenhosos líquidos: licor negro (um subproduto da indústria do pulpagem) e etanol, metanol e aceite pirolítico (provenientes da decomposição termoquímica o bioquímica da madeira);
- Combustíveis lenhosos gasosos: gás pirolítico (produzido pela gasificação dos combustíveis lenhosos sólidos e líquidos).

A utilização comum da madeira para energia encontra-se vinculada à sua combustão direta, na forma sólida, destinada a geração de calor para diversos fins. Esta combustão se realiza desde tradicionais fogões a lenha até modernas caldeiras geradoras de vapor, que operam a combustão em leito fluidizado (MARLI, 2008).

Os processos de conversão da biomassa lenhosa para energia são variados. Estes são brevemente apresentados na Tabela 11 a seguir:

**Tabela 11. Processos de conversão energética da biomassa lenhosa**

| Fonte                      | Processo de Conversão   | Energético                  |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Biomassa lenhosa (madeira) | Processo mecânico       | Lenha, pellets e briquetes. |
|                            | Combustão direta        | Calor                       |
|                            | <b>Pirólise</b>         | <b>Carvão vegetal</b>       |
|                            | Liquefação              | Combustível líquido         |
|                            | Hidrolise - Fermentação | Etanol                      |
|                            | Gaseificação - Síntese  | Metanol                     |
|                            | Gaseificação            | Gás combustível             |

Fonte: Elaboração própria adaptado da ANEEL, 2005.

O consumo de lenha para geração de energia deverá concentrar-se, ainda, na demanda crescente dos setores da agroindústria rural, na secagem de grãos, chá ou tabaco, na produção de tijolos e na indústria cerâmica.

### 3.2 - Carvão Vegetal: Produção e Uso

O carvão vegetal utiliza-se para fins domésticos há mais de 6 mil anos. Ainda hoje, é utilizado em atividades domésticas e em churrasqueiras para assar carnes. Como produto químico, é utilizado como carvão ativado, com um alto poder absorvente, sendo usado como descorante, degaseificante, purificador de águas e vinhos, vários usos medicinais; pode ser usado, ainda, como fonte de carbono na fabricação de sulfureto e tetracloreto de carbono, cianeto, etc. Industrialmente, o carvão vegetal é o mais importante combustível e redutor do minério de ferro, em operações siderúrgicas e metalúrgicas. (BELOTI, 2008)

Através do processo conhecido como pirólise, a madeira é transformada em carvão. Para isto, a madeira é aquecida com gases provenientes de sua própria combustão parcial, para atender, assim, as necessidades de remoção dos materiais voláteis, ricos em água, oxigênio e compostos orgânicos leves e oleosos. Os produtos resultantes são o carvão vegetal (CV), os voláteis condensáveis e os gases (alcatrão, licor pirolenhoso e gases não condensáveis). A função, principal, da carbonização da madeira é concentrar energia em volume disponível para diferentes usos (SAMPAIO, 2008).

Segundo diferentes autores, a madeira possui um poder calorífico entre 2.800 e 4.200 Kcal/kg. Para Patusco (1988), a lenha tem um poder calorífico médio de 3.300 Kcal/kg com umidade média de 25%. Para o carvão vegetal, estudos do Instituto de Eletrônica e Energia da Universidade de São Paulo, apontam que o poder calorífico inferior (PCI) médio é de até 7.365 Kcal/kg. Porém, para espécies do gênero *Eucalyptus* o carvão vegetal possui um poder calorífico superior (PCS) de 7.010,56 Kcal/kg, podendo em alguns casos chegar sobre 7.600 Kcal/kg (CARNEIRO, 2007).

O carvão vegetal consegue fixar entre 70 e 80% do carbono presente na madeira, quando carbonizado a temperaturas máximas de 500°C, com temperaturas mais elevadas (1.000°C) o

processo se denomina de *Coqueificação*, onde são zerados os voláteis e o carvão produzido chega a possuir 95% de carbono fixo e 2.000 kJ/kg (SAMPAIO, 2008). Segundo este mesmo autor, a perda de rendimento gravimétrico (massa de carvão vegetal sobre massa de madeira) no processo de coqueificação não compensaria seu ganho em poder calorífico e, portanto sua utilização. Além, é necessária a manutenção dos voláteis no carvão para serem posteriormente liberados no processo de redução no alto-forno para produção de ferro-gusa.

No processo de carbonização, o índice técnico de maior importância é o Rendimento Gravimétrico. Este índice entrega o valor em percentagem (%) do peso do CV seco versus o peso da madeira seca utilizada para produzir este CV.

A quantidade e qualidade do CV dependem da qualidade, características químicas, físicas e mecânicas da madeira empregada. Por exemplo, o conteúdo de lignina na madeira influencia significativamente o rendimento gravimétrico da carbonização (as massas geradas de carvão vegetal, líquido pirolenhoso e alcatrão). Em relação ao processo de carbonização, fatores tais como: a umidade, densidade e tamanho da madeira, a distribuição dos gases dentro dos reatores de carbonização, a temperatura final de carbonização, a taxa de aquecimento dos fornos de carbonização e a pressão de trabalho, dentre outros, exercem grande influência sobre a quantidade e qualidade dos produtos da carbonização (PINHEIRO, P.C. da, et al Apud SAMPAIO 2008).

No país têm sido desenvolvidos vários estudos que mostram diferenças nos rendimentos gravimétricos da carbonização. Em estudos de Carneiro (2007) os rendimentos variam entre 27 à 35% para espécies de Eucaliptos. Para o mesmo gênero de espécie, SAMPAIO (2003), obteve resultados que variam de 25 à 42%, separando-os em 3 grupos: rendimentos bons com média de 38%, rendimentos razoáveis com média de 32% e rendimentos baixos com média de

27%. Nos dois estudos, se observou que o rendimento gravimétrico está diretamente relacionado com a temperatura da carbonização.

O Brasil é o maior produtor mundial deste insumo energético. Aproximadamente 85% do carvão produzido é utilizado nas indústrias, 9% nas residências e 1,5% no setor comercial como pizzarias, padarias e churrascarias (BELOTI, 2008).

De um modo geral, um bom carvão vegetal para alto forno deve ser fisicamente denso, pouco friável, de granulometria uniforme e deve ter suficiente resistência à compressão química, ou seja, alta percentagem de carbono fixo e baixa percentagem de cinzas e fósforo.

### **3.2.1 - Tecnologias de Produção de CV**

Apesar do CV ser o primeiro produto industrial fabricado pelo homem, as tecnologias de carbonização não são as mais avançadas. Isto, se deve que no começo da era industrial o CV foi substituído rapidamente pelo carvão mineral e o coque, o que veio a estancar o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção de CV (SAMPAIO, 2008).

A carbonização da madeira segue uma seqüência de etapas, se inicia com o preparo da madeira, logo segue com o enchimento do forno, ignição do forno, controle da marcha da carbonização, resfriamento do forno, descarga do forno e finalmente com o armazenamento do carvão (CARNEIRO, 2007).

A fabricação do carvão se dá quase única e exclusivamente em fornos, os quais são de diferentes tipos:



- **Fornos de Terra:** Caieiras ou trincheiras e meda ou balão.
- **Fornos de Alvenaria:** fornos de encosta ou barranco, fornos de superfície “rabo quente”, forno de superfície JG, forno de superfície ou colméia e fornos retangulares (figura 6).

Estes fornos são de tijolos de barro, fácil construção, eles variam em forma, tamanho e numero de chaminés, são de baixo custo, de rendimento razoável e fácil operação, carga e descarga manual, tempos curtos de carbonização entre outros.



**Figura 6. Fornos de Alvenaria: Colméia e Retangular.**

Fonte: própria e Carneiro.

- **Fornos Metálicos:** fornos container, cilíndricos e sistema DPC (figura 7).

As características principais destes fornos são o rápido resfriamento do carvão, possibilidade de mecanização da carga da lenha e descarga do CV, controle por temperatura da carbonização, humanização do trabalho, móveis, recuperação do alcatrão, custo elevado, perda de calor, necessidade de eletricidade entre outras.



**Figura 7. Vista de fornos metálicos para carbonização**

Fonte: Carneiro, 2007.

Segundo SAMPAIO (2008), a utilização dos fornos de alvenaria no país representa 70% da produção nacional. Estes tipos de fornos podem apresentar eficiência acrescentada se forem operados e gerenciados de forma adequada. Cabe assinalar, que com esta tecnologia não é possível o aproveitamento dos voláteis da madeira, além que sua produção é de baixa escala e manual, exceto os fornos retangulares os quais são maiores, apresentando ganhos na mecanização e aumento da escala por reator. Porém, atualmente, existe fornos retangulares mais avançados equipados com sistemas de condensação de vapores e recuperadores de alcatrão.

Os fornos metálicos apresentam vantagens, já que possuem processos de carbonização contínua, que reflete em uma maior eficiência no balanço de massas, energia e melhor homogeneização do CV produzido (SAMPAIO, 2008).

### **3.2.2 - Emissões de GEE na Carbonização**

No processo da carbonização da madeira ocorrem emissões de diversos gases, entre eles  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ . O cálculo da massa de gases emitidos é realizado a partir da análise elementar dos

gases não condensáveis deste processo. Nas praticas atuais, 5% da madeira enforcada é queimada para aquecimento da carga do forno. A composição da fumaça liberada nesta fase não é conhecida. Considerando a pequena massa queimada, supõe-se a conversão completa do carbono em CO<sub>2</sub> equivalente (FERREIRA, 2000).

Os principais fatores que influenciam as emissões de GEE na carbonização são: densidade aparente da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento gravimétrico da carbonização e temperatura da carbonização.

No estudo realizado pelo ECEN, as emissões de GEE para produzir uma tonelada de CV foram estimadas em 1,22 t de CO<sub>2</sub> e 0,031 t de CH<sub>4</sub>. Isto considerando um rendimento gravimétrico de 19% (FERREIRA, 2000).

Em outro estudo técnico, realizado por Ronaldo Sampaio em 2003, foram estimadas as emissões de CH<sub>4</sub> da carbonização em fornos de alvenaria com uma chaminé. Este trabalho teve como objetivo propor estratégias para redução de metano, pelo controle da carbonização ou pela queima da corrente gasosa, convertendo este gás em dióxido de carbono.

Os testes do estudo comprovaram que a liberação do metano esta correlacionada linearmente com os rendimentos gravimétricos e, esta com a temperatura final da carbonização, ou seja, a redução das emissões de metano se dá quando tem um aumento do rendimento em massa de carvão produzido. Foram obtidos, resultados de rendimento entre 25 e 42% em massa junto com as estimativas de emissão ou fator de emissão do metano. Estes resultados são apresentados na tabela 12 abaixo.

**Tabela 12. Rendimento e Emissões de Metano do processo de carbonização da madeira**

| <b>Rendimento Gravimétrico ou produtividade do CV (%)</b> | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 |
|-----------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>F.E. (kg CH<sub>4</sub> / t CV)</b>                    | 62 | 59 | 55 | 52 | 48 | 45 | 41 | 38 | 35 | 31 | 28 | 24 | 21 | 18 | 14 | 11 |

Fonte: SAMPAIO, 2003.

No caso da carbonização de madeira proveniente de florestas plantadas, as emissões de CO<sub>2</sub> não são contabilizadas. Isto, porque se entende que como são de florestas renováveis, as emissões de carbono são absorvidas pelo crescimento da floresta nova e, portanto, se consideram climaticamente neutras (PLANTAR, 2009). Isto não ocorre se o carvão vegetal é produzido de florestas naturais sem qualquer tipo de manejo, o que significaria desflorestamento e emissão total do carbono contido nela.

Atualmente, no país, a maioria das indústrias de carvão vegetal utiliza fornos tradicionais de alvenaria, os conhecidos “rabo quente”, os quais emitem grandes quantidades de metano no processo de carbonização para a atmosfera (PLANTAR, 2007).

### **3.3 – Siderurgia a Carvão Vegetal**

O segmento siderúrgico Brasileiro é um dos mais dinâmicos e importantes da economia nacional e, esta dentro dos sete maiores produtores de aço do mundo, alcançando um faturamento de US\$4,2 bilhões, em 2008. Esse segmento é constituído por 88 empresas, 121 alto-fornos e 93 fornos ferro-ligas.

O Brasil é o maior produtor mundial de CV e, o setor industrial consome quase 85% do total, sendo o ferro-gusa, aço e ferro-ligas os principais consumidores deste carvão de lenha, que funciona como redutor (coque vegetal) e energético ao mesmo tempo.

A produção de CV, provenientes de florestas plantadas no país, cresceu de 2,4 milhões de toneladas, em 2000, para mais de 3,9 milhões de toneladas, em 2008. Sendo a região Sudeste, a com a maior participação (82% do total), em 2008 (IBGE - Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura). Em relação ao consumo de CV no Brasil, incluindo florestas plantadas e nativas, este alcançou 26,9 milhões de metros cúbicos nos últimos anos (BELOTI, 2008).

As siderúrgicas são classificadas segundo o seu processo produtivo; estas são as **integradas**, que operam nas três fases básicas de redução, refino e laminação; as **semi-integradas** que realizam o refino e a laminação, e as **não integradas** que apenas atuam numa fase do processo, de redução ou laminação. No primeiro caso, das não-integradas, estão os produtores de ferro gusa, os chamados *guseiros*, os quais utilizam o carvão vegetal em altos fornos para redução do minério. No segundo, estão os relaminadores, geralmente de placas e tarugos, adquiridos de usinas integradas ou semi-integradas e os que relaminam material sucata. No mercado produtor operam, ainda, unidades de pequeno porte que se dedicam exclusivamente a produzir aço para fundições (IBS, 2008).

O segmento das siderúrgicas integradas e semi-integradas são representadas por 25 usinas (11 integradas e 14 semi-integradas) distribuídas por nove estados. As produtoras de ferro-gusa possuem 137 altos-fornos instalados, sendo 24% da produção proveniente das usinas independentes, em 2008 (MELLO et al, 2009; IAB, 2009).

A siderurgia a CV se remonta a 1921, com a criação da Belgo-Mineira, quem utilizou este termo redutor em grande escala nos seus fornos. No entanto, a partir de 1989, com a redução da importação de carvão mineral, este setor teve um maior impulso, chegando a produzir 40% de todo o ferro-gusa no país (MELLO et al, 2009). Atualmente, a produção de ferro-gusa a carvão vegetal representa aproximadamente 29% da produção total no Brasil, em 2008 (IAB,

2009). Na tabela 13, apresenta-se a evolução dos últimos dez anos da produção de ferro-gusa no país.

**Tabela 13. Produção de ferro-gusa no Brasil por tipo de siderurgia, em toneladas**

| Ano  | Coque      | Usinas utilizando C.V. |               | Subtotal com CV   | TOTAL      |
|------|------------|------------------------|---------------|-------------------|------------|
|      |            | Integradas             | Independentes |                   |            |
| 1998 | 18.832.000 | 1.467.895              | 4.960.105     | <b>6.428.000</b>  | 25.260.000 |
| 1999 | 17.738.793 | 1.408.374              | 5.401.413     | <b>6.809.787</b>  | 24.548.580 |
| 2000 | 20.323.476 | 1.253.782              | 6.145.377     | <b>7.399.159</b>  | 27.722.635 |
| 2001 | 19.577.677 | 1.303.045              | 6.510.233     | <b>7.813.278</b>  | 27.390.955 |
| 2002 | 21.595.610 | 1.294.184              | 6.759.890     | <b>8.054.074</b>  | 29.649.684 |
| 2003 | 22.564.026 | 1.346.753              | 8.103.864     | <b>9.450.617</b>  | 32.014.643 |
| 2004 | 23.225.888 | 1.449.705              | 10.085.072    | <b>11.534.777</b> | 34.760.665 |
| 2005 | 22.460.688 | 1.649.889              | 9.773.225     | <b>11.423.114</b> | 33.883.802 |
| 2006 | 21.275.851 | 1.709.072              | 9.466.619     | <b>11.175.691</b> | 32.451.542 |
| 2007 | 24.179.141 | 1.680.903              | 9.710.856     | <b>11.391.759</b> | 35.570.900 |
| 2008 | 24.804.989 | 1.724.411              | 8.342.000     | <b>10.066.411</b> | 34.871.400 |

Fonte: Adaptado de Sindifer, IAB e DNPM.

Como pode ser observado, na última década, o pico de participação do ferro-gusa de carvão vegetal no Brasil foi nos anos 2005 e 2006 com 34%, tendo uma evolução ascendente desde o ano 1998 onde teve a menor participação (25%).

Atualmente, quando se aborda o segmento siderúrgico a carvão vegetal, os principais pólos estão nos Estados de Minas Gerais, seguido pela região do Carajás (Maranhão/Pará), o Estado de Mato Grosso do Sul, o Estado de Espírito Santo e por ultimo o Estado da Bahia (AMS, 2009).

O uso de CV na siderurgia, somente, prevaleceu até hoje no Brasil devido ao rápido crescimento da biomassa e grande disponibilidade de minérios de ferro. Este tipo de desenvolvimento industrial esta dando indícios de inclusão social e de redução de impactos ambientais, em função ao incremento da produtividade florestal no país e, do desenvolvimento de novas tecnologias de redução de minérios (SAMPAIO, 2004).

As características do CV têm pontos a favor, como a ausência de enxofre, elemento indesejável na fabricação de aço, e pontos negativos, como a baixa resistência mecânica, que inviabiliza seu emprego em fornos de redução de grande porte. Os equipamentos com maiores capacidades para uso de carvão vegetal não ultrapassam 500 mil toneladas de ferro-gusa/ano, enquanto alto-fornos a coque mineral chegam a ter capacidades perto de 3 milhões de toneladas de ferro-gusa/ano (SIEMENS, 2009). Entretanto, a produção via carvão vegetal possibilita uma simplificação do processo siderúrgico, podendo dispensar as unidades de coqueria e de desulfurização, o que representa redução de custos de capital e operacionais, além de menor poluição atmosférica e diminuição das emissões de GEE. De outro lado, os empreendimentos com o carvão vegetal renovável requerem investimentos de vulto e de prazo longo para a formação de florestas plantadas (HENRIQUES, 2010).

O BNDES e Instituto Brasileiro de Siderurgia (IBS) anunciaram, em 2007, planos da expansão da indústria siderúrgica brasileira para os próximos anos, onde se conclui que a produção de ferro e aço deverá praticamente dobrar no Brasil (BNDES, 2007). Estas projeções são apresentadas no quadro 1, mostrando os planos de expansão para o setor.

**Quadro 1. Expansão anunciada da capacidade de produção da indústria siderúrgica no Brasil.**

| Empresa                                  | Capacidade atual<br>(t/ano) | Capacidade expandida<br>(t/ano) | Prazo final para expansão |
|------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Brasil (IBS)                             | 36.6 milhões                | 50.4 milhões                    | 2011                      |
| Brasil (BNDES)                           | 36.6 milhões                | 72.0 milhões                    | 2011                      |
| Gerdau /Ouro Branco                      | 3.0 milhões                 | 4.5 milhões                     | Concluída                 |
| CST/ArcelorMittal                        | 5.0 milhões                 | 7.5 milhões                     | 2007                      |
| Grupo Gerdau                             | 7.0 milhões                 | 10.5 milhões                    | 2008                      |
| MMX                                      | (novo)                      | 1.5 milhões                     | 2008                      |
| MMX                                      | (novo)                      | Não divulgado                   | 2008                      |
| ThyssenKrupp<br>Siderúrgica do Atlântico | (novo)                      | 5.0 milhões                     | 2009                      |
| Sumitomo/V&M                             | (novo)                      | 600 mil                         | 2010                      |
| Ceara Steel                              | (novo)                      | 1.5 milhões                     | 2010                      |
| Usiminas/Cosipa                          | 9.0 milhões                 | 14.5 milhões                    | 2015                      |
| CSN Itaguaí (RJ)                         | (novo)                      | 4.5 milhões                     | Não divulgado             |
| CSN Congonhas (MG)                       | (novo)                      | 4.5 milhões                     | Não divulgado             |
| CSN Ceará                                | (novo)                      | 4.5 milhões                     | Não divulgado             |
| CVRD/ BaoSteel                           | (novo)                      | 5.0 milhões                     | Não divulgado             |

Fonte: Plantar S/A, 2009.

Segundo a PLANTAR (2009), a expansão desta indústria será, majoritariamente, com base no coque ou carvão mineral, o que aponta para um agravamento nas emissões de GEE e o déficit de florestas plantadas com fins energéticos a curto e longo prazo.

### 3.3.1 - Emissões de GEE na Produção de ferro-gusa a CV

O processo de transformação do minério (óxidos de ferro) em metal (ferro) ou em ligas de ferro com carbono (ferro-gusa) e com silício (ferro-silício), usando o carbono e os voláteis presentes no carvão mineral ou CV produz emissões de GEE para a atmosfera (SAMPAIO, 2004).



A indústria siderúrgica mundial é responsável por 5% do total das emissões de CO<sub>2</sub> no mundo, isto devido, principalmente, ao seu alto consumo energético. É, por isto, que este setor se propôs metas setoriais para mitigação das suas emissões (WORLD STEEL ASSOCIATION, 2008 apud MELLO *et al*, 2009).

O carvão vegetal renovável representa, para o Brasil, uma rota de produção que emite menos GEE, devido a que os efluentes gasosos dos reatores de redução (minialto-forno ou forno elétrico de redução) são reciclados pela biomassa florestal, ao longo do período de pré-corte. Além, o CV é mais puro e com menor teor de cinzas entre todos os energéticos sólidos utilizados para esta finalidade (SAMPAIO, 2004).

No estudo de FERREIRA (2000) para o MCT e PNUD foram estimadas as emissões de carbono na redução de minério de ferro em ferro-gusa. Estas emissões foram divididas para três gases de efeito estufa (CO<sub>2</sub>, CO e CH<sub>4</sub>) apresentados na tabela 14. O resultado final obtido foi considerando um GWP para o CO de 3 e de 25 para o CH<sub>4</sub>, o que levou a uma emissão estimada de 0,58 toneladas de CO<sub>2</sub>eq para cada tonelada de ferro-gusa produzido.

**Tabela 14. Emissões de GEE do processo de produção de ferro-gusa**

| Processo | GEE (t / t de ferro-gusa) |       |                 | Total              |
|----------|---------------------------|-------|-----------------|--------------------|
|          | CO <sub>2</sub>           | CO    | CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> eq |
| Redução  | 0,170                     | 0,122 | 0,002           | <b>0,579</b>       |

Fonte: adaptação de Ferreira, 2000.

Para SAMPAIO (1998 e 2004), no seu estudo sobre balanço das emissões atmosféricas de CO<sub>2</sub> e produção/consumo de O<sub>2</sub> na rota integrada de produção de ferro-gusa, via biomassa/CV, as emissões de GEE no processo de redução do minério de ferro nos minialto-fornos são de **1,695** toneladas de CO<sub>2</sub>eq por tonelada de ferro-gusa produzido.

É de real importância, ressaltar que este valor difere consideravelmente com o outro estudo sobre as emissões neste mesmo processo. Porém, devido que os trabalhos e estudos de SAMPAIO (1998 e 2004) possuem maior embasamento técnico e de pesquisa, estes são considerados, no meio da indústria da siderurgia a carvão vegetal, os que melhor representariam o processo de produção integrada e suas emissões atmosféricas associadas.

De qualquer maneira, esta rota menos poluidora coloca a siderurgia brasileira em posição privilegiada no que se refere às emissões atmosféricas, favorecendo que ela esteja à frente quanto à adoção de metas setoriais para a redução de GEE (MELLO et al, 2009).

Observa-se que, no contexto da sustentabilidade ambiental, as siderúrgicas do país parecem estar divididas entre dois opostos: integradas e semi-integradas vs. independentes, em especial, as produtoras de ferro gusa (MELLO, 2009).

### **3.4 - Oferta Atual e Futura da Biomassa Florestal para Energia**

Estima-se que no nível global, para o ano 2050, a principal fonte de bioenergia procederá das plantações bioenergéticas e marginalmente do aproveitamento dos resíduos da colheita. Para essa data, os resíduos industriais haver-se-ão utilizado completamente (SMEETS, *et al.*, 2005).

O Brasil é um dos poucos países, onde tem se realizado pesquisas durante décadas para a produção em grande escala de energia derivada da madeira. No país tem-se realizado investimentos em plantios florestais de crescimento rápido, majoritariamente de *Eucalyptus* spp, dedicadas a produção de madeira para obtenção de carvão destinado a indústria do aço. Também, tem-se estabelecido plantações florestais que produzem biomassa de combustão,

para geração de calor e eletricidade, e que é utilizada na indústria alimentaria, das bebidas e outras (FAO, 2008).

No país, também, existe uma imensa superfície de território, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas, que oferece excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. Além, da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não-comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica.

Os estados brasileiros com maior potencial de aproveitamento de resíduos da madeira, oriunda de silvicultura, para a geração de energia elétrica são Paraná e São Paulo. O tipo de produção de madeira, atividade extrativista ou reflorestamento, influi na distribuição espacial dos resíduos gerados. Nos casos de extração seletiva e beneficiamento descentralizado, o aproveitamento de resíduos pode-se tornar economicamente inviável (ANEEL, 2005). Segundo dados do Centro Nacional de Referencia em Biomassa (CENBio), estima-se que o potencial de geração de energia elétrica a partir de resíduos florestais para os estados de São Paulo e Paraná seja entre 27,53 e 82,9 MW, seguido por Minas Gerais e Bahia com potencial entre 18,13 e 27,5 MW.

Comparando a disponibilidade dos resíduos madeireiros, nos florestas amazônicas naturais com os plantios de *Pinus* de crescimento rápido destinadas a operações industriais típicas, no Brasil, a informação mostra que somente uma pequena proporção das árvores se transformam em produtos comercializáveis. Entre 80 e 90% do volume total de resíduos das florestas naturais e entre 60 e 70% dos plantios de *Pinus* poderia ser utilizado para a geração de energia. A maior parte deste material são as copas e outras peças descartadas, que se abandonam na floresta após a colheita (OIMT, 2005 apoud FAO 2008).

O setor siderúrgico a carvão vegetal fez crescer o consumo desse insumo, nos últimos 10 anos, em mais de 50%. Apesar do crescimento dos plantios seja na ordem de 3% /ano, é ainda insuficiente para atender à demanda crescente. O déficit tem sido em parte, compensado pelo aumento da produtividade das florestas plantadas e, através dos programas fazendeiros florestais. Não há, no presente, carvão vegetal de florestas energéticas renováveis para atender à demanda, a curto e médio prazo (Elesier Lima Gonçalves – Diretor Superintendente da ArcelorMittal em Revista Opiniões).

Segundo dados do Instituto Estadual de Florestas (IEF), no Estado de Minas Gerais, as siderúrgicas instaladas consomem, anualmente, uma média de 10 milhões de metros cúbicos de carvão vegetal produzido pela derrubada ilegal de matas nativas. Desse total, cerca de 3,5 milhões de metros cúbicos são extraídos de florestas mineiras e o resto de outros estados, principalmente Bahia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins e Piauí. Atualmente, se tramita na Assembléia Mineira, um projeto que visa, reduzir gradativamente essa permissão, de forma que, em 2017, o carvão vegetal de florestas nativas responda por apenas 10% do consumo de cada siderúrgica.

O Estado de São Paulo possui mais de 3,5 milhões de hectares de terras com aptidão florestal, que são aquelas que não competem com a produção agropecuária, ou seja, basicamente de alimentos, os quais podem ser usados para o plantio de até 800 mil hectares, visando à produção florestal bioenergética, cujo potencial de produção por hectare rivaliza com o da cana-de-açúcar (CASTANHO FILHO, 2008).

A superfície necessária, para fins energéticos no Estado de São Paulo foi calculada através de projeções de crescimento da demanda, tomando por base taxas anuais, verificadas nas últimas décadas. Projetando-se para 25 anos, com uma produtividade média estimada em 40

m<sup>3</sup>/ha/ano, resultou em 780 mil hectares, as necessidades de florestas para energia (CASTANHO FILHO, 2008).

Atualmente, no Brasil, estão incluindo várias medidas de promoção do uso sustentável da floresta, como ações fundamentais da implementação do Plano Nacional de Mudanças Climáticas, como, por exemplo, o aumento da base florestal plantada de 5,5 para 11 milhões de hectares, incluindo 2 milhões de hectares de florestas nativas e a implementação de 4 milhões de hectares de concessões florestais e outros 4 milhões de manejo florestal comunitário. Estas ações são consideradas fundamentais, para que a floresta em pé tenha mais valor do que o uso alternativo do solo e, assim, promova a mitigação dos gases de efeito estufa, a produção de madeira e de biomassa para energia.

### **3.5 - Demanda Atual e Futura da Biomassa Florestal para Energia**

Segundo dados recopilados pela Agencia Internacional de Energia (IEA sigla em inglês), os incrementos maiores na demanda de energia se registrarão nos países em desenvolvimento, onde se prognostica que a proporção mundial do consumo de energia terá um aumento de 46 para 58 por cento entre 2004 e 2030 (EIA, 2007).

No mundo, o número de pessoas que utilizam a biomassa como principal combustível para cozinhar irá aumentar, estimam-se incrementos consideráveis na África e na Ásia, excluindo a China (IEA, 2006).

Num cenário para 2015, no Brasil, se espera que 26 milhões de pessoas utilizem a biomassa tradicional lenhosa como fonte de energia para cozinhar e aquecimento e de 27 milhões para o ano 2030 (IEA, 2006).

Estima-se, atualmente, que quase a metade de toda a madeira consumida, no Brasil, destina-se ao suprimento energético, principalmente, na forma de lenha e carvão vegetal. Cabe assinalar que, uma enorme quantidade da madeira utilizada ainda provém de florestas nativas, e a sua conversão carece de compromissos tecnológicos, econômicos ou ambientais (DA SILVA, 2008).

No Brasil, aproximadamente, 30% do consumo doméstico bruto de energia é derivado de produtos da biomassa vegetal, além disso, segundo a ANEEL, a biomassa em geral representa 30% dos empreendimentos de co-geração em operação no país.

Na tabela 15, é apresentada a participação da biomassa florestal na matriz de energia elétrica brasileira das usinas em operação.

**Tabela 15. Matriz de Energia Elétrica do Brasil em 2008**

| Tipo                  |                | Capacidade Instalada |                    | %           | Total        |                    | %          |
|-----------------------|----------------|----------------------|--------------------|-------------|--------------|--------------------|------------|
|                       |                | Nº de Usinas         | (kW)               |             | Nº de Usinas | (kW)               |            |
| <b>Hidro</b>          |                | 745                  | 77.380.172         | 70,08       | 745          | 77.380.172         | 70,08      |
| <b>Gás</b>            | Natural        | 89                   | 10.598.502         | 9,60        | 118          | 11.779.530         | 10,67      |
|                       | Processo       | 29                   | 1.181.028          | 1,07        |              |                    |            |
| <b>Petróleo</b>       | Óleo Diesel    | 711                  | 3.428.481          | 3,10        | 732          | 4.725.675          | 4,28       |
|                       | Óleo Residual  | 21                   | 1.297.194          | 1,17        |              |                    |            |
| <b>Biomassa</b>       | Bagaço de Cana | 259                  | 3.430.418          | 3,11        | 311          | 4.616.750          | 4,18       |
|                       | Licor Negro    | 13                   | 859.217            | 0,78        |              |                    |            |
|                       | <b>Madeira</b> | <b>31</b>            | <b>260.317</b>     | <b>0,24</b> |              |                    |            |
|                       | Biogás         | 3                    | 41.590             | 0,04        |              |                    |            |
|                       | Casca de Arroz | 5                    | 25.208             | 0,02        |              |                    |            |
| <b>Nuclear</b>        |                | 2                    | 2.007.000          | 1,82        | 2            | 2.007.000          | 1,82       |
| <b>Carvão Mineral</b> | Carvão Mineral | 8                    | 1.455.104          | 1,32        | 8            | 1.455.104          | 1,32       |
| <b>Eólica</b>         |                | 18                   | 289.150            | 0,26        | 18           | 289.150            | 0,26       |
| <b>Importação</b>     | Paraguai       |                      | 5.650.000          | 5,46        |              | 8.170.000          | 7,40       |
|                       | Argentina      |                      | 2.250.000          | 2,17        |              |                    |            |
|                       | Venezuela      |                      | 200.000            | 0,19        |              |                    |            |
|                       | Uruguai        |                      | 70.000             | 0,07        |              |                    |            |
| <b>Total</b>          |                | <b>1.934</b>         | <b>110.423.381</b> | <b>100</b>  | <b>1.934</b> | <b>110.423.381</b> | <b>100</b> |

Fonte: ANEEL, disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.asp>

Por outro lado, a Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima do Ministério da Ciência e Tecnologia estima que o potencial de capacidade instalada do Brasil, em biomassa como fonte renovável seja de:

- 8.700 MW para bagaço de cana-de-açúcar;
- 1.300 MW para casca de arroz e **resíduos de madeira**;
- 600 MW para resíduos sólidos urbanos.

Nos últimos 10 anos, a indústria siderúrgica a carvão vegetal experimentou um aumento de 50% no consumo deste produto, sendo que deste acréscimo, apenas metade ainda é produzido com base nas florestas plantadas no país (RODRIGUES, 2008).

Segundo RODRIGUES (2008), atualmente, 32,5 milhões de toneladas de ferro-gusa (cerca de 1/3 da produção nacional em 2006) é obtida utilizando o carvão vegetal como termorreduzidor, sendo a grande parte, ainda, produzido a partir de resíduos de matas nativas (estimado em 50% em 2007).

No Brasil, um dos setores mais atingidos pela crise econômica foi o siderúrgico. A recessão econômica americana de 2008 e 2009 atingiu a produção de algumas siderúrgicas de ferro-gusa do país, principalmente da região Norte. Duas usinas paraenses – a Usimar e a Sidenorte – paralisaram as operações por falta de pedidos. Com o agravamento da crise, a maior parte dos clientes acumulou estoques suficientes para operarem até o fim do ano. A consequência disto é a queda contínua dos preços.

Segundo especialistas, o setor vai se recuperar no tempo, mas, no curto prazo deve causar diminuição nos pedidos de suprimentos, principalmente, no início da cadeia produtiva do ferro gusa, onde estão os produtores de carvão vegetal, que hoje vendem o metro de carvão (mdc) com preço médio de R\$ 100,00. No Estado do Mato Grosso do Sul foi publicada uma portaria, em 2010, alterando o valor da pauta de referencia fiscal relativa ao Carvão vegetal.

De acordo com esta portaria, o carvão vegetal doméstico, em operações internas, passa a valer R\$ 275,00 o metro cúbico. Já nas operações interestaduais, custará R\$ 165/m<sup>3</sup>. E o carvão vegetal, de uso industrial (siderúrgico), passa a valer R\$ 100,50 por metro cúbico (R\$ 402,00 a tonelada).

Para BRITO (2008), as siderúrgicas instaladas em Mato Grosso do Sul devem ser as primeiras do país a alcançar a auto-suficiência, em matéria-prima florestal.



## **CAPITULO IV.**

### **4. MATERIAIS E METODOS**

#### **4.1 – Materiais**

Para o entendimento dos cenários futuros da expansão de florestas de Eucalipto foi necessário ajustar o trabalho realizado pela Associação Mineira de Silvicultura (AMS), em 2005, intitulado “Perspectivas e Tendências do Abastecimento de Madeiras para a Indústria de Base Florestal no Brasil: Uma contribuição à construção e acompanhamento dos Cenários Futuros”, no qual trabalha com dois cenários de expansão das florestas plantadas no Brasil com diferentes usos, para o ano de 2020, como foi descrito no item 1.2.2 da presente dissertação.

- ***Cenário Tendencial:*** definido como o cenário mais provável que poderá ocorrer, se mantidas as tendências históricas e atuais. Foi baseado no comportamento passado para projetar o futuro. As principais hipóteses que regem este cenário são a não consideração de investimentos no setor e a inexistência de uma política florestal dinâmica que se possa adequar às novas tendências e mudanças verificadas no mercado de produtos florestais.
- ***Cenário Normativo:*** especifica o futuro desejado para o setor industrial de base florestal, e foi elaborado dando ênfase no entendimento do futuro, o que deve nortear as ações do presente com atores políticos e empresariais. As principais hipóteses que regem este cenário são os investimentos futuros nos segmentos da siderurgia a carvão vegetal, de papel e celulose e de painéis, substituição da madeira nativa por madeira de eucalipto e incremento no rendimento das florestas plantadas.

Devido ao fato dos cenários terem sido construídos no ano de 2005, antes da crise financeira de 2008 que atingiu a economia do mundo, as projeções de florestas plantadas de eucalipto para 2020 não poderiam ser mais consideradas como prováveis, principalmente pela baixa das exportações de produtos florestais o que afetou toda a cadeia produtiva, e que também foi corroborado em comunicação pessoal com representantes da AMS.

Visando atingir os objetivos deste estudo foram atribuídas as projeções de 2020 para 2025, tentando diminuir os efeitos da crise financeira dos anos 2008 e 2009 no setor de florestas plantadas e buscando ser mais realista com as condições atuais. A expansão dos plantios florestais de eucalipto foram ajustadas para o período de 2005 - 2025. Considerou-se o ano de 2005 como base das projeções, já que até 2025 somaria um período de 21 anos, tempo de 3 rotações de 7 anos, o qual é o tempo especificado da colheita para florestas plantadas com finalidade de produção de carvão vegetal renovável.

Para os dois cenários de expansão foram consideradas, segundo dados da ABRAF (2009), as novas áreas já plantadas com eucalipto entre 2005 e 2008 no Brasil, porém sem considerar áreas de reforma<sup>4</sup> desses mesmos anos.

Portanto, o ajuste realizado neste trabalho nos cenários futuros de expansão dos plantios florestais de eucalipto no Brasil, propostos pela AMS, consiste na seguinte forma:

- ❖ **Cenário Tendencial:** meta de 8,4 milhões de hectares em 2025, representando o plantio anual de 0,243 milhões de hectares de superfícies novas somadas às superfícies de reforma no período entre 2009 – 2025.

---

<sup>4</sup> Manejo de floresta plantada através do plantio após o corte de área anteriormente ocupada com floresta plantada. Não gera expansão de superfície plantada.

- ❖ **Cenário Normativo:** meta de 13,2 milhões de hectares em 2025, o que representaria o plantio anual de 0,525 milhões de hectares de novas áreas somadas às superfícies de reforma no período entre 2009-2025.

Assume-se que a taxa de plantio anual será constante no período para os dois cenários, sendo de 5,7% de crescimento ao ano para o Cenário Tendencial e de 12,3% ao ano para o Cenário Normativo. Na tabela 16, são representadas as superfícies anuais novas e de reforma a serem implantadas no Brasil para cada cenário de expansão.

**Tabela 16. Superfícies dos cenários de expansão de florestas plantadas de eucalipto no Brasil (hectares)**

| Ano  | Cenário Tendencial |                    | Cenário Normativo |                    |
|------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|      | Superfície nova    | Superfície reforma | Superfície nova   | Superfície reforma |
| 2005 | 262.903            | ---                | 262.903           | ---                |
| 2006 | 283.075            | ---                | 283.075           | ---                |
| 2007 | 223.917            | ---                | 223.917           | ---                |
| 2008 | 288.993            | ---                | 288.993           | ---                |
| 2009 | 243.606            | ---                | 525.959           | ---                |
| 2010 | 243.606            | ---                | 525.959           | ---                |
| 2011 | 243.606            | ---                | 525.959           | ---                |
| 2012 | 243.606            | ---                | 525.959           | ---                |
| 2013 | 243.606            | 262.903            | 525.959           | 262.903            |
| 2014 | 243.606            | 283.075            | 525.959           | 283.075            |
| 2015 | 243.606            | 223.917            | 525.959           | 223.917            |
| 2016 | 243.606            | 288.993            | 525.959           | 288.993            |
| 2017 | 243.606            | 243.606            | 525.959           | 525.959            |
| 2018 | 243.606            | 243.606            | 525.959           | 525.959            |
| 2019 | 243.606            | 243.606            | 525.959           | 525.959            |
| 2020 | 243.606            | 243.606            | 525.959           | 525.959            |
| 2021 | 243.606            | 243.606            | 525.959           | 525.959            |
| 2022 | 243.606            | 243.606            | 525.959           | 525.959            |
| 2023 | 243.606            | 243.606            | 525.959           | 525.959            |
| 2024 | 243.606            | 243.606            | 525.959           | 525.959            |
| 2025 | 243.606            | 243.606            | 525.959           | 525.959            |

Fonte: elaboração própria.

As florestas de eucalipto com fins energéticos estão diretamente ligadas ao setor siderúrgico, já que abastecem de carvão vegetal os fornos para produção de ferro-gusa. Segundo estimativas do setor, a produção de ferro-gusa, tanto produzido com coque (carvão mineral) como com carvão vegetal, deverá dobrar até 2030, passando, aproximadamente, de 34,8 milhões de toneladas em 2008 para 69,7 milhões de toneladas em 2030. Deste modo, seguindo a tendência progressiva de crescimento da produção, no ano 2020 poderão ser produzidos 53,9 milhões de toneladas de gusa, enquanto que em 2025 cerca de 61,8 milhões de toneladas são estimadas.

Para facilitar o cumprimento dos objetivos do presente estudo, foi assumido como hipótese que as estimativas de produção de ferro-gusa, previstas para o Brasil no ano 2020, manterão constante o peso percentual do ferro-gusa de carvão vegetal, que é de 29% em 2008, segundo dados da SINDIFER. Isto pode ser conferido na tabela 17 embaixo.

**Tabela 17. Projeções da produção futura de ferro-gusa no Brasil**

| Ano         | Produção de Ferro-gusa (t) |                   |                   |                   |                   |
|-------------|----------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|             | Coque                      | Carvão Vegetal    |                   | Subtotal com CV   | TOTAL             |
|             |                            | Usinas integradas | Independentes     |                   |                   |
| 2008*       | 24.804.989                 | 1.724.411         | 8.342.000         | 10.066.411        | 34.871.400        |
| <b>2020</b> | <b>38.334.983</b>          | <b>2.664.999</b>  | <b>12.892.182</b> | <b>15.557.181</b> | <b>53.892.164</b> |
| 2025        | 43.972.481                 | 3.056.910         | 14.788.091        | 17.845.001        | 61.817.482        |
| 2030        | 49.609.978                 | 3.448.822         | 16.684.000        | 20.132.822        | 69.742.800        |

Fonte: elaboração própria. \*Dados do IAB, 2009.

Note-se que os valores de 2025 e 2030 da produção de ferro-gusa utilizando coque e CV são meras estimativas de uma tendência business as usual (BAU) da produção de cada um, mas os quais não são utilizados no presente estudo.

Com as estimativas de produção de ferro no futuro é possível calcular a necessidade de carvão vegetal e com isto a superfície necessária das florestas de eucalipto, com o fim de fornecer material termo-redutor para a indústria siderúrgica no Brasil nos cenários futuros. Sendo

assim, com estes valores podem-se estimar, também, as emissões e reduções de GEE associadas a esta cadeia produtiva.

Considerou-se, como mais uma hipótese, que as florestas plantadas de eucalipto deverão fornecer 100% de carvão vegetal necessário para a produção da quantidade de ferro-gusa, que utiliza este termo-redutor, no primeiro ano objeto ou ponto de partida da presente dissertação (2020). Isto significaria que o carvão vegetal não renovável (mata nativa) não seria mais empregado para este tipo de atividade. Esta hipótese tem base, já que na atualidade tem se realizado esforços, principalmente em Minas Gerais, com a aprovação em 2009 do Projeto de Lei nº 2.771, para acabar com a utilização de CV não renovável, o qual provém, principalmente, de desmatamento ilegal nos biomas Cerrado e Amazônico.

## **4.2 – Método**

### **4.2.1 – Cálculo da produção de CV e quantidade de madeira demandada no Cenário Tendencial**

Como antes mencionado, considerou-se que no ano de 2020 a percentagem de participação de ferro-gusa à CV na produção total no Brasil se manteria constante em 29%. Na tabela 18 são apresentadas as quantidades de ferro-gusa a produzir utilizando o CV como termo-redutor.

**Tabela 18. Quantidade de ferro-gusa a base de CV no Brasil no futuro.**

| <b>Ano</b> | <b>Ferro-gusa a carvão vegetal (t)</b> |
|------------|----------------------------------------|
| 2020       | 15.557.181                             |

Fonte: elaboração própria

Esta correlação possibilitou determinar, em base a cálculos, a quantidade de CV necessário para a produção destes montantes de ferro-gusa no Cenário Tendencial. Para isto foram

considerados valores de produtividade de madeira para CV, e de CV para ferro-gusa, declarados pela literatura e por especialistas técnicos.

Assim, segundo comunicação pessoal com especialistas da Plantar, o rendimento gravimétrico da produção de CV é em torno de 30 e 40% em massa, ou seja, para cada tonelada de madeira são produzidos entre 300 e 400 kg de CV. Volumetricamente, para produzir 1 m<sup>3</sup> de CV é necessário 1,35 m<sup>3</sup> de madeira, e a densidade aparente do CV é de 0,24 - 0,25 t/m<sup>3</sup>, segundo dados da SINDIFER e comunicado por profissionais da Plantar.

Segundo os especialistas da Plantar, para produzir 1 tonelada de ferro-gusa são necessários entre 0,5 e 0,6 t de CV. A ECEN (2005) menciona uma relação de 0,725 t CV/ t ferro-gusa. Devido à tendência ser o aumento na produtividade na grande parte da siderurgia a CV no país, adotou-se um valor médio entre os mencionados pela Plantar e pelo ECEN, de 0,63 t de carvão vegetal para produzir 1 tonelada de ferro-gusa.

Sendo assim, a quantidade de CV necessário para produção de ferro-gusa em 2020 no Cenário Tendencial foi calculado utilizando as seguintes equações:

$$CV_{totj} = (PFerr_j * Rcvfer) \quad (1)$$

Onde:

$CV_{totj}$  = Quantidade de CV total necessário para produção de ferro no ano j, em toneladas.

$PFerr_j$  = Quantidade de ferro-gusa produzido a carvão vegetal no ano j, em toneladas (15,6 M).

$Rcvfer$  = Razão de conversão de ferro-gusa à CV; 0,63 tCV / t ferro-gusa.

j = 2020.

Para o cálculo da quantidade de madeira necessária para produção de CV com fim termo-redutor, foi utilizada a seguinte equação.

$$Mad_j = (CV_{totj} * MCV) / Dcv \quad (2)$$

Onde:

$Mad_j$  = Quantidade de madeira necessária para produção de CV no ano j, em  $m^3$ .

$CV_{totj}$  = Quantidade de CV total necessário para produção de ferro no ano j, em toneladas.

MCV = Razão de conversão de madeira-CV;  $1,35 m^3$  madeira/  $m^3$  de CV.

Dcv = Densidade aparente do CV;  $0,24 t/m^3$

j = 2020.

#### 4.2.1.1 – Cálculo das áreas de florestas plantadas com fins energéticos.

A quantidade de superfície da floresta plantada de Eucalipto, somente para produção de CV, é obtida através da demanda deste termo-redutor por parte da produção de ferro-gusa que o utilizará em 2020. Esta demanda determina a quantidade de madeira ( $m^3$ ) necessária para produzir o CV requerido pela siderurgia e, assim, a superfície necessária de floresta para cobrir esta mesma demanda. Isto é calculado pelo Incremento Médio Anual (IMA) ou taxa de crescimento dos plantios florestais e a quantidade de madeira disponível para colheita nos anos especificados, como demonstrado na equação a seguir:

$$SFP_j = Mad_j / RendFP_j \quad (3)$$

Onde:

$SFP_j$  = Superfície de floresta plantada para colheita no ano j, em hectares.

$Mad_j$  = Quantidade de madeira necessária para produção de CV no ano j, em  $m^3$ .

$\text{Rend}_{FP_j}$  = Rendimento volumétrico total da floresta plantada no final da rotação, em m<sup>3</sup>/hectare.

$j = 2020$ .

Este valor da superfície em hectares, ao mesmo tempo, é calculado através de uma percentagem da superfície da expansão total de florestas de eucalipto no Brasil (ver Tabela 9) para o período 2005-2025, segundo a equação 4.

$$\text{SFP}_{C_j} = P * \text{SFP}_i + \text{S}'\text{FP}_i \quad (4)$$

Onde:

$\text{SFP}_{C_j}$  = Superfície de floresta plantada para colheita no ano  $j$ , em hectares.

$P$  = Peso ou Percentagem (0-100%)

$\text{SFP}_i$  = Superfície de plantios florestais no ano  $i$ , em hectares.

$\text{S}'\text{FP}_i$  = Superfície de replantios florestais no ano  $i$ , em hectares.

$i = 2005 - 2025$

Posteriormente, esta percentagem é aplicada à expansão dos dois cenários, Tendencial e Normativo até 2025, assumindo que seria a percentagem de superfície ideal para a floresta energética. Através desta superfície de florestas plantadas com fins energéticos é possível obter o valor da quantidade potencial da produção de CV e Ferro-gusa no país para os anos 2020 e 2025 para os cenários estudados. Portanto, para cada cenário o valor absoluto de superfície varia e, com isto, suas emissões/remoções.



#### 4.2.1.2 - Cálculo da produção de CV e quantidade de madeira ofertada no Cenário Normativo

De forma inversa ao anterior, é realizado o cálculo da quantidade de CV possível de produzir no Cenário Normativo e no ano de 2025 no Cenário Tendencial. Como apresentado na equação seguinte:

$$CV_{totj} = (Mad_j / MCV) * Dcv \quad (5)$$

Onde:

$CV_{totj}$  = Quantidade de CV total disponível para produção de ferro no ano j, em toneladas.

$Mad_j$  = Quantidade de madeira disponível para produção de CV no ano j, em  $m^3$ .

$MCV$  = Razão de conversão de madeira-CV;  $1,35 m^3$  madeira/  $m^3$  de CV.

$Dcv$  = Densidade aparente do CV;  $0,24 t/m^3$

j = anos estudados; 2020 e 2025.

Com estes valores é possível, também, calcular a quantidade de ferro-gusa à produzir no Brasil para os cenários futuros, estudados na dissertação, seguindo a equação abaixo.

$$PFerr_j = CV_{totj} / Rcvfer \quad (6)$$

Onde:

$PFerr_j$  = Quantidade de ferro-gusa à produzir com carvão vegetal no ano j, em toneladas.

$CV_{totj}$  = Quantidade de CV total necessário para produção de ferro no ano j, em toneladas.

$Rcvfer$  = Razão de conversão de ferro-gusa à CV;  $0,63 tCV / t$  ferro-gusa.

j = 2020 e 2025.

#### 4.2.2 – Cálculo das remoções/emissões de carbono da expansão das florestas energéticas

Para a estimativa das remoções/emissões líquidas de C dos plantios florestais (*novos e reforma*) com fins energéticos para cada um dos cenários propostos, utilizou-se parte da metodologia de cálculo A/R AM0005 – “*Atividade de Projeto de Florestamento e Reflorestamento Implementado para Uso Industrial e/ou Comercial*”, formulado pelo grupo Plantar, aprovado pelo UNFCCC e aplicado também no seu projeto MDL nomeado “*Reflorestamento como fonte renovável de suprimento de madeira para uso industrial no Brasil*”. A qual se aplica nas condições de áreas de pastagem sem manejo ou de manejo extensivo com baixo conteúdo de carbono no solo e possibilidade de diminuição deste C pela erosão do solo, onde, também, não é esperada a regeneração natural da floresta nem a mudança no uso do solo. Esta metodologia estima o carbono da biomassa aérea ou acima do solo e abaixo do solo, sem considerar o carbono da biomassa morta, litter e carbono orgânico no solo após a aplicação da atividade de reflorestamento, como sendo uma forma conservadora de cálculo.

Optou-se por seguir esta metodologia pelo fato de ser a única que trabalha com florestas plantadas para fins comerciais. Além disso, a empresa Plantar é pioneira no Brasil neste tipo de atividade de projetos com estimativas de emissões e/ou remoções de C de florestas. E que, também, encontra-se detalhado no PDD aprovado pela AND em fevereiro de 2009.

Para o presente trabalho de dissertação foram considerados, em grande medida, os valores *default* do projeto da Plantar, isto porque reflete de maneira conservadora a realidade do país nesta atividade florestal.

Portanto, se utilizaram os seguintes valores no presente estudo para estimar as remoções e emissões de carbono dos plantios florestais.

- **Densidade da Madeira: 0,503** toneladas / m<sup>3</sup>.

Este valor representa a densidade média da madeira das espécies de *Eucaliptus spp* utilizados com maior frequência para plantios energéticos no país e na Plantar S/A. As principais espécies e híbridos são *Eucalipto Urophylla*, *Eucalipto Grandis*, *Eucalipto camaldulensis* e *Eucalipto Urugrandis*.

- **Fator de Conversão: 0,5** toneladas de carbono / tonelada de biomassa seca.

Este valor representa a fração média de carbono na biomassa lenhosa seca das florestas plantadas e foi considerado o valor *default* do IPCC 2006.

- **Fator de expansão da biomassa da parte aérea: 1,45** sem dimensão.

- **Razão Raiz / Parte Aérea: 0,38** sem dimensão.

O fator de expansão da biomassa da parte aérea e a razão raiz/parte aérea foram utilizados pela Plantar no seu projeto MDL. Estes valores se basearam em pesquisas de Ladeira (1999) em plantios florestais de eucalipto em Minas Gerais.

- **Incremento Médio Anual (IMA): 37** m<sup>3</sup> / ha / ano.

Este valor representa o crescimento de uma floresta plantada de eucalipto por hectare por ano. O volume aproximado colhido no final do ciclo de rotação (sete anos) para plantios com fins energéticos é de 259 m<sup>3</sup>. O IMA se reduz em 10% para superfícies de reforma e replantio. Estes tipos de plantios pressupõem uma densidade de 1.111 árvores por hectare (espaçamento de 3 x 3 m).

Em relação à sobrevivência dos plantios de eucalipto no período dos cenários foi assumida uma perda média de 5% das árvores (biomassa). Este valor é considerado conservador, já que para florestas comerciais de alta produtividade a percentagem de sobrevivência é cerca de 98%, ou seja, 2% de morte, segundo comunicado por técnicos da Plantar.

Nesta metodologia são considerados os aumentos nas emissões de GEE devido a fontes dentro dos limites do projeto, resultado da queima de combustíveis fósseis, queima de biomassa e aplicação de fertilizantes nitrogenados. Também foram estimadas as fugas, que são emissões de GEE fora dos limites do projeto resultantes da implantação de uma atividade de projeto de florestamento e reflorestamento. Estas emissões vêm da queima de combustíveis fósseis e deslocamento de outras atividades econômicas. As emissões dentro dos limites do projeto foram estimadas em **0,045** tC por hectare por ano e as emissões de GEE por fugas foram de **0,012** tC/ha/ano. Estas estimativas assumem que, no caso das fugas, não existirá substituição de floresta nativa por plantios de eucalipto, nem deslocamento significativo de outras atividades em outras áreas onde possam provocar desmatamento ou grandes emissões de GEE. É importante assinalar que os fatores de emissões dentro dos limites do projeto e por fugas foram extraídos dos cálculos realizados no PDD “Reflorestamento como Fonte Renovável de Suprimento de Madeira para Uso Industrial no Brasil” desenvolvido pela empresa Plantar S/A. Estes valores foram 186.739 tCO<sub>2</sub> em 30 anos de projeto e em 11.711,37 hectares para as emissões dentro dos limites do projeto e de 15.522 tCO<sub>2</sub> no mesmo período e superfície para as emissões de fuga. Com isto foi possível determinar estes fatores que são utilizados como “*default*” no presente estudo. Portanto, todos estes valores ou fatores de emissão foram aplicados nos cálculos de emissões/remoções das florestas nos Cenários Tendencial e Normativo.

Para o logro das estimativas de remoção/emissão de GEE da expansão das florestas de eucalipto com fins energéticos foram formuladas as seguintes equações de cálculo:

$$RC_T = RC_l - EC_l - F \quad (7)$$

Onde:

$RC_T$  = Remoções líquidas anuais totais de GEE da expansão das florestas plantadas de eucalipto com fins energéticos, em toneladas de carbono.

$RC_l$  = Remoções líquidas anuais de GEE por sumidouros das florestas plantadas de Eucalipto com fins energéticos, em toneladas de carbono.

$EC_l$  = Emissões líquidas anuais totais de GEE por fontes resultantes da implementação das atividades de expansão das florestas energéticas dentro das áreas dos plantios, em toneladas de carbono.

$F$  = Emissões totais de GEE por fugas, em toneladas de carbono.

As remoções de GEE dos plantios florestais da expansão do eucalipto para energia foram estimadas utilizando as equações 8 a 10 descritas a seguir.

$$RC_l = \sum \sum ( REA_{ij} + RES_{ij} ) * 0,95 \quad (8)$$

Onde:

$RC_l$  = Remoções líquidas anuais de GEE por sumidouros das florestas plantadas de Eucalipto com fins energéticos, em toneladas de carbono.

$REA_{ij}$  = Remoções da parte aérea dos plantios de eucaliptos para produção de CV, em toneladas de carbono para o ano  $i$  e idade  $j$ .

$RES_{ij}$  = Remoções abaixo do solo dos plantios de eucaliptos para produção de CV, em toneladas de carbono para o ano  $i$  e idade  $j$ .

0,95 = Valor percentual (95%) correspondente à sobrevivência dos plantios (biomassa).

$i$  = número de anos do cenário,  $i = 1,2,3,...,21$  (2005-2025).

$j$  = idade dos plantios de eucalipto,  $j = 1,2,3,...,6$ .

$$REA_{ij} = \sum \sum [(S_{ij} * (IMA * j) + (S'_{ij} * IMA * 0,9 * j))] * D * Fc * Feb \quad (9)$$

Onde:

$REA_{ij}$  = Remoções da parte aérea dos plantios de eucaliptos para produção de CV, em toneladas de carbono para o ano i e idade j.

$S_{ij}$  = Superfície nova da floresta plantada com eucalipto no ano i e com a idade j, em hectares.

$S'_{ij}$  = Superfície de reforma da floresta plantada com eucalipto no ano i e com a idade j, em hectares.

IMA = Incremento médio anual da floresta de eucalipto, neste caso foi assumido 37 m<sup>3</sup>/ha/ano.

D = Densidade média da madeira de eucalipto, neste caso foi assumido 0,503 t/m<sup>3</sup>.

Fc = Fator de conversão que representa a fração do carbono na biomassa lenhosa; 0,5 tC/t de biomassa.

Feb = Fator de expansão da biomassa da parte aérea; 1,45 adimensional.

i = número de anos do cenário, i = 1,2,3,....,21 (2005-2025).

j = idade dos plantios de eucalipto, j = 1,2,3,....,6.

0,9 = Valor (90%) de rendimento dos replantios de eucalipto.

$$RES_{ij} = \sum \sum REA_{ij} * RpA \quad (10)$$

Onde:

$RES_{ij}$  = Remoções abaixo do solo dos plantios de eucaliptos para produção de CV, em toneladas de carbono para o ano i e idade j.

$REA_{ij}$  = Remoções da parte aérea dos plantios de eucaliptos para produção de CV, em toneladas de carbono para o ano i e idade j.

RpA = Razão raiz parte aérea; 0,38 adimensional, *Default* Plantar.

i = número de anos do cenário, i = 1,2,3,....,21 (2005-2025).

j = idade dos plantios de eucalipto, j = 1,2,3,....,6.

As emissões de GEE dos plantios florestais da expansão do eucalipto para energia foram estimadas utilizando as equações 11 e 12 descritas a seguir.

$$ECI = \sum \sum ( S_{ij} * E_{ghg} ) \quad (11)$$

Onde:

ECI = Emissões líquidas anuais totais de GEE por fontes resultantes da implementação das atividades de expansão das florestas energéticas dentro das áreas dos plantios, em toneladas de carbono.

$S_{ij}$  = Superfície da floresta plantada com eucalipto no ano i e com a idade j, em hectares.

$E_{ghg}$  = Fator de emissão de GEE por fontes resultantes da implementação das atividades de expansão das florestas energéticas dentro das áreas dos plantios; *0,045 toneladas de carbono/hectare/ano*.

i = número de anos do cenário, i = 1,2,3,....,21 (2005-2025).

j = idade dos plantios de eucalipto, j = 1,2,3,....,6.

$$F = \sum \sum ( S_{ij} * E_f ) \quad (12)$$

Onde

F = Emissões totais anuais de GEE por fugas, em toneladas de carbono.

$S_{ij}$  = Superfície da floresta plantada com eucalipto no ano i e com a idade j, em hectares.

$E_f$  = Fator de emissão de GEE por fugas, resultantes da implementação das atividades de expansão das florestas energéticas fora das áreas dos plantios; *0,012 toneladas de carbono/hectare/ano*.

i = número de anos do cenário, i = 1,2,3,....,21 (2005-2025).

j = idade dos plantios de eucalipto, j = 1,2,3,....,6.

#### **4.2.2 - Cálculo das Emissões de GEE da produção de carvão vegetal (carbonização) para os cenários futuros**

Para estimar as emissões de GEE da produção de carvão vegetal foi preciso, primeiramente, correlacionar a produção de ferro-gusa nos anos 2020 e 2025 e sua demanda de CV como agente termo-redutor. Para isto foram divididos os cálculos em duas partes, segundo os cenários Tendencial e Normativo.

Para as estimativas de emissão de gases de efeito estufa no processo de carbonização ou carvoejamento, foi selecionado um fator de emissão que representasse, de forma geral, o que será mais provável no futuro neste tipo de produção no país. Isto porque o montante de emissões de GEE está diretamente relacionado com a eficiência ou rendimento gravimétrico na operação de produção do carvão vegetal e, então, com o tipo de tecnologia empregada para tal atividade.

No projeto MDL desenvolvido pela Plantar S/A, através da utilização da metodologia AM0041, foram estimadas as emissões do processo de carbonização da biomassa de suas florestas plantadas. Neste projeto teve um aumento no rendimento gravimétrico pela melhora tecnológica dos seus fornos, de 29% para 33,3%. Com este aumento no rendimento as emissões de CH<sub>4</sub> passaram de 48 kg para 33 kg por tonelada de CV.

Para o presente estudo foi assumido um rendimento gravimétrico na produção de carvão vegetal no Brasil de 34%, valor bastante conservador, pensando nas melhoras tecnológicas possíveis até o ano 2020 e 2025. Com este rendimento o fator de emissão é de 31 kg de CH<sub>4</sub> por tonelada de carvão vegetal produzido.

Para transformar o CH<sub>4</sub> em CO<sub>2</sub>eq foi aplicado o valor 25 como o Potencial de Aquecimento Global (GWP, sigla em inglês), segundo dados do próprio IPCC (2007).



A obtenção das emissões nos cenários Tendencial e Normativo foi calculada aplicando a equação 13, através de qual é multiplicada a produção de CV dos anos do estudo e o FE desta mesma produção.

$$EmCV_j = CV_{totj} * FE_{cv} * 25 \quad (13)$$

Onde:

$EmCV_j$  = Emissão total de GEE da produção de carvão vegetal no ano j, em toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

$CV_{totj}$  = Quantidade de CV total disponível para produção de ferro no ano j, em toneladas.

$FE_{cv}$  = Fator de Emissão do metano na produção de carvão vegetal (0,031 t de CH<sub>4</sub> / t de CV).

25 = GWP do metano.

j = anos estudados; 2020 e 2025.

#### 4.2.3 - Calculo das emissões de GEE na produção de ferro-gusa à carvão vegetal

Para este item foram utilizados os valores de produção de ferro-gusa à CV para os anos 2020 e 2025 expressados no cenário Tendencial, os quais estão definidos na tabela 10 (ponto 5.2.2).

Para o cenário Normativo foram utilizados os valores calculados da quantidade de ferro-gusa à CV possíveis de se produzir pela oferta da floresta plantada nos anos objeto deste estudo (2020 e 2025).

No cenário Normativo, através da superfície de florestas plantadas com fins energéticos pode ser obtido o valor da quantidade potencial da produção de CV e, com isto, a quantidade de ferro-gusa possível de produzir no país para os anos 2020 e 2025. A equação 14 mostra a forma de cálculo da quantidade de ferro-gusa a produzir.

$$\text{FerG}_j = [(\text{Mad}_j / \text{MCV}) * \text{Dcv}] / \text{Rcvfer} \quad (14)$$

Onde:

$\text{FerG}_j$  = Quantidade de ferro-gusa total produzido no ano j, em toneladas.

$\text{Mad}_j$  = Quantidade de madeira disponível para produção de CV no ano j, em  $\text{m}^3$ .

$\text{MCV}$  = Razão de conversão de madeira-CV;  $1,35 \text{ m}^3$  madeira/  $\text{m}^3$  de CV.

$\text{Dcv}$  = Densidade aparente do CV;  $0,24 \text{ t/m}^3$

$\text{Rcvfer}$  = Razão de conversão de ferro-gusa à CV;  $0,63 \text{ tCV} / \text{t ferro-gusa}$ .

j = anos estudados; 2020 e 2025.

Para o cálculo das estimativas das emissões dos gases de efeito estufa da produção de ferro-gusa, utilizou-se como FE o valor determinado por Sampaio (2004). Este FE corresponde a 1,695 toneladas de  $\text{CO}_2\text{eq}$  para cada tonelada de ferro-gusa produzido.

Portanto, as emissões foram calculadas correlacionando a produção futura de ferro-gusa com o fator de emissão.

$$\text{EmFerrG}_j = \text{FerrG}_j * \text{FE}_{\text{ferg}} \quad (15)$$

Onde:

$\text{EmFerrG}_j$  = Emissão total de GEE da produção de ferro-gusa no ano j, em toneladas de  $\text{CO}_2\text{eq}$ .

$\text{FerrG}_j$  = Quantidade de ferro-gusa total produzido no ano j, em toneladas.

$\text{FE}_{\text{ferg}}$  = Fator de Emissão da produção de ferro-gusa ( $1,695 \text{ t de } \text{CO}_2\text{eq} / \text{t de ferro-gusa}$ ).

j = anos estudados; 2020 e 2025.

#### 4.2.4 - Balanço geral das emissões/remoções de GEE dos cenários Tendencial e Normativo

Para o cumprimento do objetivo geral e específico deste trabalho de pesquisa, sobre os efeitos das florestas energéticas nas emissões/remoções de GEE e seus subprodutos, foram calculados os balanços de emissões/remoções de carbono para os dois cenários de expansão florestal - Tendencial e Normativo – e suas implicações na produção de ferro-gusa no Brasil para os anos 2020 e 2025.

As estimativas das emissões e remoções de GEE se lograram realizando um balanço geral de todo o processo, desde o plantio e crescimento da floresta, passando pela produção de CV até a produção do ferro-gusa utilizando o CV no seu processo. Para isto foi desenvolvida a seguinte equação:

$$\text{BalGEE}_{cj} = (\text{EmFerrG}_{cj} / (44/12)) + (\text{EmCV}_j / (44/12)) - \text{RCl}_{cj} \quad (16)$$

Onde:

$\text{BalGEE}_{cj}$  = Balanço das emissões de GEE do ciclo de produção do ferro-gusa à CV, no cenário c e no ano j, em toneladas de carbono.

$\text{EmFerrG}_{cj}$  = Emissão total de GEE da produção de ferro-gusa do cenário c e no ano j, em toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

$\text{EmCV}_{cj}$  = Emissão total de GEE da produção de carvão vegetal no cenário c e no ano j, em toneladas de CO<sub>2</sub>eq.

$\text{RCl}_{cj}$  = Remoção líquida anual de GEE por sumidouros das florestas plantadas de Eucalipto com fins energéticos para o cenário c no ano j, em toneladas de carbono.

c = cenário (Tendencial ou Normativo).

j = anos estudados; 2020 e 2025.

44/12 = Razão dos pesos moleculares do CO<sub>2</sub> e do Carbono.

#### **4.2.5 – Estimativa da distribuição da expansão da floresta energética no Brasil**

No presente trabalho de dissertação, não foi possível modelar a distribuição no território nacional da expansão das florestas plantadas com as informações dos Cenários Tendencial e Normativo, analisados. Porém, através de outros estudos publicados recentemente no país, foi plausível visualizar uma alocação destas áreas de florestas nos diferentes estados do Brasil, tentando, assim, cumprir um dos objetivos específicos deste trabalho.

Portanto, a metodologia empregada para estimar a distribuição das florestas energéticas no futuro para os estes dois Cenários (Tendencial e Normativo) se fez através de uma análise simples, comparando os estados com potencialidade técnica (tabela 6 do item 1.3) e as principais regiões do país com expansão de floresta plantada no futuro, segundo o estudo do NASSAR *et al* (2010). Com isto, se possibilitou determinar de forma qualitativa a intensidade da distribuição desta expansão florestal nos estados do Brasil com fins energéticos, estudados na presente dissertação. Além disso, também, foi incorporado um critério de correlação da distância dos pólos industriais siderúrgicos existentes com as diferentes regiões e/ou estados do país, ou seja, quanto mais distantes as indústrias siderúrgicas das regiões, menos intensivos os estados serão na implantação de florestas energéticas.

Para isto, foram definidas 3 intensidades de expansão de florestas energéticas:

- Alta  $> 1$  milhão de hectares.
- Média  $0,5 - 1$  milhão de hectares.
- Baixa  $< 0,5$  milhão de hectares.

Podendo-se, assim, representar qualitativamente a distribuição dos plantios florestais nos estados da união.

## CAPITULO V.

### 5. RESULTADOS

#### 5.1 - Florestas Plantadas para produção de Carvão Vegetal

Como primeiro passo, para obtenção dos resultados, foi estimada a superfície necessária da expansão das florestas plantadas, com o objetivo de fornecimento de carvão vegetal para a indústria siderúrgica no ano 2020. Para isto, como mencionado no capítulo anterior, foi realizado um cálculo de aproximação, relacionando produtividade da floresta com a quantidade requerida de CV para a produção de 29% do total de ferro-gusa no ano de 2020.

Na tabela 19 estão apresentados os valores estimados para se conseguir produzir o ferro-gusa com CV no ano de 2020, segundo as premissas deste estudo.

**Tabela 19. Quantidades de madeira e CV para a produção de ferro-gusa no Brasil**

| Ano  | Superfície de floresta para colheita (milhões de hectares) | Madeira (milhões de m³) | CV (milhões de t) | Ferro-gusa a carvão vegetal (milhões de t) |
|------|------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------------------------|
| 2020 | 0,235                                                      | 55,135                  | 9,801             | 15,557                                     |

Com o objetivo de alcançar o fornecimento de aproximadamente 55 milhões de m³ de madeira são necessários 235.351 hectares de floresta plantada para colheita em 2020. Para atingir esse valor, foi estimado que a superfície de implantação florestal desde 2005, para carvão vegetal, deveria corresponder a **50,3%** da expansão total de floresta plantada de eucalipto para o Cenário Tendencial. Com este valor percentual foi possível, também, prosseguir com as estimativas de superfícies de Eucalipto plantado e as absorções e emissões de C objeto desta dissertação.

### 5.1.1 - Cenário Tendencial

Como antes mencionado, para o fornecimento de CV para a indústria siderúrgica é necessário 50,3% da superfície da expansão total de florestas plantadas para cobrir a demanda de ferro-gusa em 2020. Na tabela 20 são apresentados os resultados obtidos das superfícies de florestas plantadas e para CV no Cenário Tendencial da expansão e as superfícies de florestas para colheita no período 2005-2025.

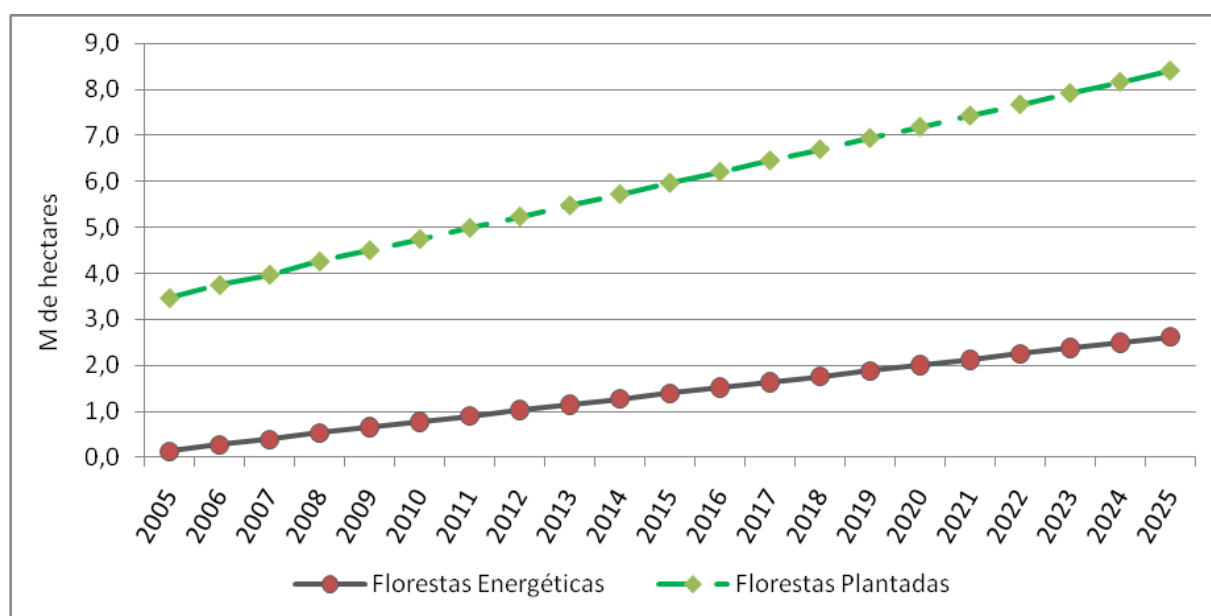
**Tabela 20. Superfícies dos plantios anuais e das áreas de colheita da expansão de florestas energéticas no Cenário Tendencial no período 2005-2025 (milhões de ha).**

| Ano         | Plantios Anuais           |                                          |                                    |              | Floresta para colheita (idade 7 anos) |
|-------------|---------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|--------------|---------------------------------------|
|             | Nova (100% produtividade) | Reforma (rebrota) (90% de produtividade) | Replanteio (100% de produtividade) | Total        |                                       |
| 2005        | 0,132                     |                                          |                                    | 0,132        |                                       |
| 2006        | 0,142                     |                                          |                                    | 0,142        |                                       |
| 2007        | 0,113                     |                                          |                                    | 0,113        |                                       |
| 2008        | 0,145                     |                                          |                                    | 0,145        |                                       |
| 2009        | 0,123                     |                                          |                                    | 0,123        |                                       |
| 2010        | 0,123                     |                                          |                                    | 0,123        |                                       |
| 2011        | 0,123                     |                                          |                                    | 0,123        | 0,132                                 |
| 2012        | 0,123                     |                                          |                                    | 0,123        | 0,142                                 |
| 2013        | 0,123                     | 0,132                                    |                                    | 0,255        | 0,113                                 |
| 2014        | 0,123                     | 0,142                                    |                                    | 0,265        | 0,145                                 |
| 2015        | 0,123                     | 0,113                                    |                                    | 0,235        | 0,123                                 |
| 2016        | 0,123                     | 0,145                                    |                                    | 0,268        | 0,123                                 |
| 2017        | 0,123                     | 0,123                                    |                                    | 0,245        | 0,123                                 |
| 2018        | 0,123                     | 0,123                                    |                                    | 0,245        | 0,255                                 |
| 2019        | 0,123                     | 0,123                                    | 0,132                              | 0,378        | 0,265                                 |
| <b>2020</b> | <b>0,123</b>              | <b>0,123</b>                             | <b>0,142</b>                       | <b>0,388</b> | <b>0,235</b>                          |
| 2021        | 0,123                     | 0,123                                    | 0,113                              | 0,358        | 0,268                                 |
| 2022        | 0,123                     | 0,123                                    | 0,145                              | 0,391        | 0,245                                 |
| 2023        | 0,123                     | 0,123                                    | 0,123                              | 0,368        | 0,245                                 |
| 2024        | 0,123                     | 0,123                                    | 0,123                              | 0,368        | 0,245                                 |
| <b>2025</b> | <b>0,123</b>              | <b>0,123</b>                             | <b>0,123</b>                       | <b>0,368</b> | <b>0,378</b>                          |

Fonte: elaboração própria.

Neste cenário, em 2020 seriam implantadas 388 mil hectares entre plantios novos, reforma e replantios. Tendo uma pequena queda em 2025 chegando a 368 mil hectares de florestas para energia.

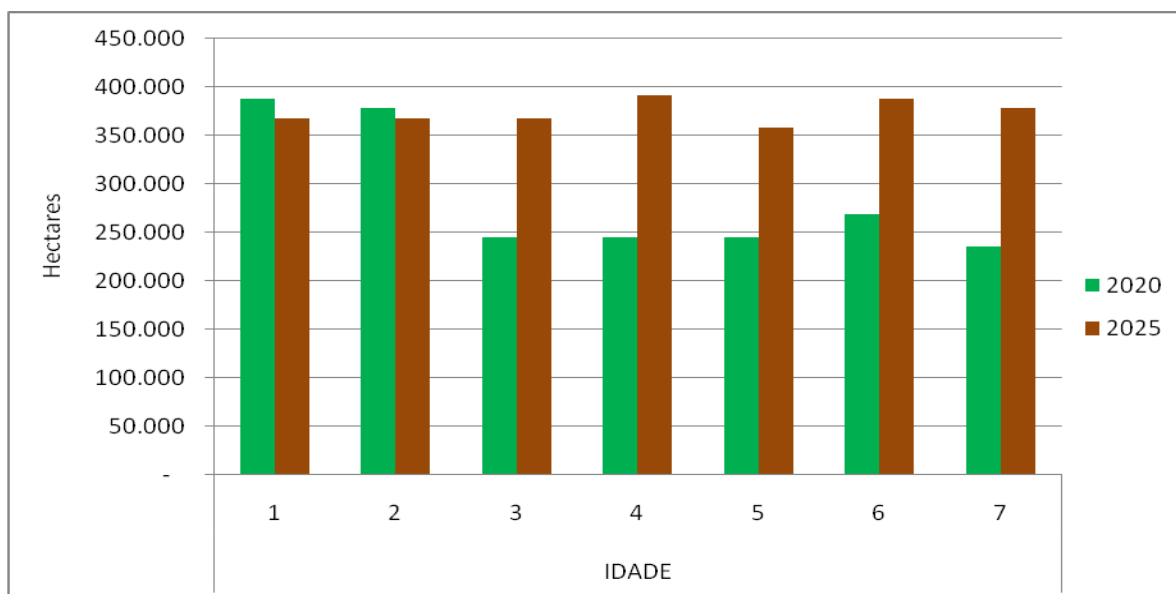
Como pode ser observado na figura 8, em 2020 a superfície de florestas energéticas corresponderia a 2 milhões de hectares (28%) do total de florestas plantadas no Brasil, e este tipo de florestas passaria para 2,6 milhões de hectares (31%) do total nacional em 2025.



**Figura 8. Superfícies Totais de Florestas Plantadas e Energéticas no Brasil para o Cenário Tendencial**

Fonte: elaboração própria.

Cabe salientar que até final desta projeção (2025) a floresta energética não conseguiu ser regulada, isto é, quando a floresta apresenta as mesmas superfícies nas diferentes idades da rotação. Esta irregularidade nas superfícies da floresta tem efeitos diretos na quantidade de madeira fornecida a cada ano. Na figura 9 são apresentadas as superfícies de floresta energética com diferentes idades nos anos 2020 e 2025.



**Figura 9. Superfícies Plantadas de Eucalipto para carvão vegetal no Brasil no Cenário Tendencial**

Fonte: elaboração própria

No final de cada rotação, aos sete (7) anos de idade, deve se realizar a colheita da floresta, quando será obtida a madeira para produção de CV. Como resultado deste cenário, no ano de 2020 serão 235.351 hectares para colheita e, em 2025, 377.608 hectares, levando a produção para 55,1 milhões de m<sup>3</sup> e 89,9 milhões de m<sup>3</sup>, respectivamente.

#### ✓ Emissões e remoções de carbono das florestas com fins energéticos no Cenário Tendencial.

As estimativas das emissões/remoções anuais líquidas totais de C dos sumidouros da expansão das florestas plantadas de eucalipto para energia no Brasil foram calculadas aplicando as equações e valores *default* apresentadas no capítulo de Materiais e Métodos. Os valores estimados estão apresentados na tabela 21.



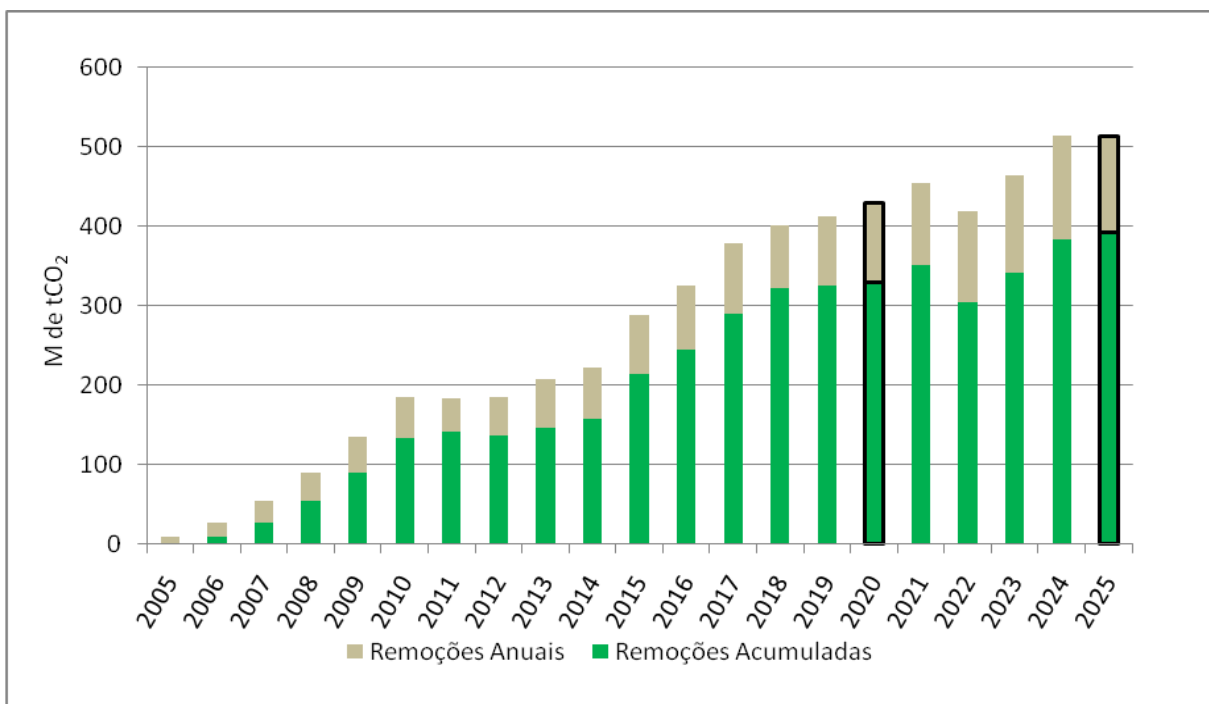
**Tabela 21. Remoções líquidas anuais de GEE das florestas energéticas no período 2005-2020 no Cenário Tendencial**

| Ano         | Milhões de toneladas de C | Milhões de toneladas de CO <sub>2</sub> |
|-------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| 2005        | 2,46                      | 9,02                                    |
| 2006        | 5,10                      | 18,72                                   |
| 2007        | 7,19                      | 26,40                                   |
| 2008        | 9,90                      | 36,31                                   |
| 2009        | 12,17                     | 44,67                                   |
| 2010        | 14,33                     | 52,57                                   |
| 2011        | 11,66                     | 42,81                                   |
| 2012        | 13,34                     | 48,97                                   |
| 2013        | 16,43                     | 60,31                                   |
| 2014        | 17,30                     | 63,49                                   |
| 2015        | 20,16                     | 73,98                                   |
| 2016        | 22,21                     | 81,49                                   |
| 2017        | 24,14                     | 88,60                                   |
| 2018        | 21,75                     | 79,81                                   |
| 2019        | 23,73                     | 87,07                                   |
| <b>2020</b> | <b>27,01</b>              | <b>99,13</b>                            |
| 2021        | 28,19                     | 103,45                                  |
| 2022        | 31,27                     | 114,77                                  |
| 2023        | 33,55                     | 123,13                                  |
| 2024        | 35,70                     | 131,03                                  |
| <b>2025</b> | <b>33,04</b>              | <b>121,26</b>                           |

Fonte: elaboração própria.

Como esperado, as remoções anuais de carbono pela floresta energética parecem estar diretamente relacionadas com o aumento da superfície plantada. Portanto, no ano de 2020 as remoções alcançariam 27 milhões de toneladas de carbono e, com o incremento de área de florestas, as remoções chegariam a 33 milhões de toneladas em 2025.

Para o cumprimento dos objetivos deste estudo foram consideradas somente as remoções líquidas anuais, não considerando nos cálculos as remoções acumuladas da expansão da floresta energética. De forma ilustrativa, na figura 10 são apresentadas as remoções anuais e acumuladas da expansão das florestas energéticas no Brasil no período estudado.



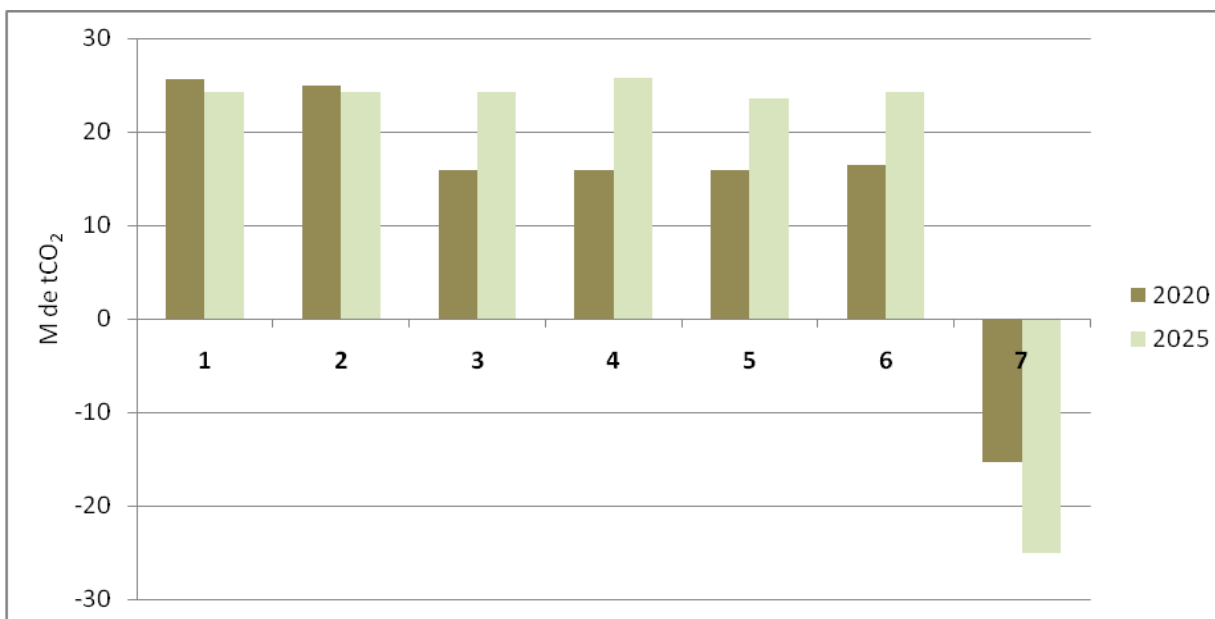
**Figura 10. Remoções totais de carbono da expansão dos plantios energéticos no Cenário Tendencial**

Fonte: elaboração própria.

Pode ser observado que as remoções em 2020 passariam de 400 milhões de toneladas quando somadas as anuais e as acumuladas ou estoque, e para o ano de 2025 as remoções totais seriam mais de 500 milhões de toneladas de carbono.

Cabe destacar que as remoções anuais de carbono representam 23% das remoções acumuladas em 2020 e 24% em 2025.

Para o cálculo das estimativas das remoções anuais líquidas das florestas energéticas, nos anos 2020 e 2025, foram subtraídas as emissões de C relativas à colheita na idade 7 das remoções anuais da floresta nas outras diferentes idades (1-6), uma vez que durante a colheita optou-se por considerar que o carbono é emitido para atmosfera, independente do destino da madeira. Na figura 11, podem ser observados os níveis de remoções/emissões da floresta energética nas suas diferentes idades.



**Figura 11. Estimativa da remoção anual líquida por idade dos plantios energéticos nos anos 2020 e 2025 no Cenário Tendencial**

Fonte: elaboração própria.

No ano 2020 as maiores remoções encontram-se nos plantios com 1 e 2 anos de idade, estimadas em 26 e 25 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, respectivamente, e as emissões se dão na idade final da rotação, onde alcançam 15,3 milhões de toneladas. Para o segundo ano do estudo, pode-se notar que as remoções apresentam maior regularidade nas diferentes idades da floresta, o que acontece pela regularização da superfície do bosque neste cenário. As remoções por idade encontram-se na faixa de 23,6 e 25,8 milhões de toneladas de dióxido de carbono. As emissões neste mesmo ano (2025) chegariam a ser de 25,1 milhões de toneladas por causa da colheita da madeira da floresta.

### 5.1.2 - Cenário Normativo

Como foi mencionado no capítulo da metodologia, para este cenário utilizou-se a mesma percentagem (50,3%) da expansão total de florestas plantadas para o Brasil do Cenário Tendencial, para o abastecimento de carvão vegetal para a indústria siderúrgica. Na tabela 22 são apresentados os resultados obtidos das superfícies de florestas plantadas para CV no Cenário Tendencial da expansão no período 2005-2025.

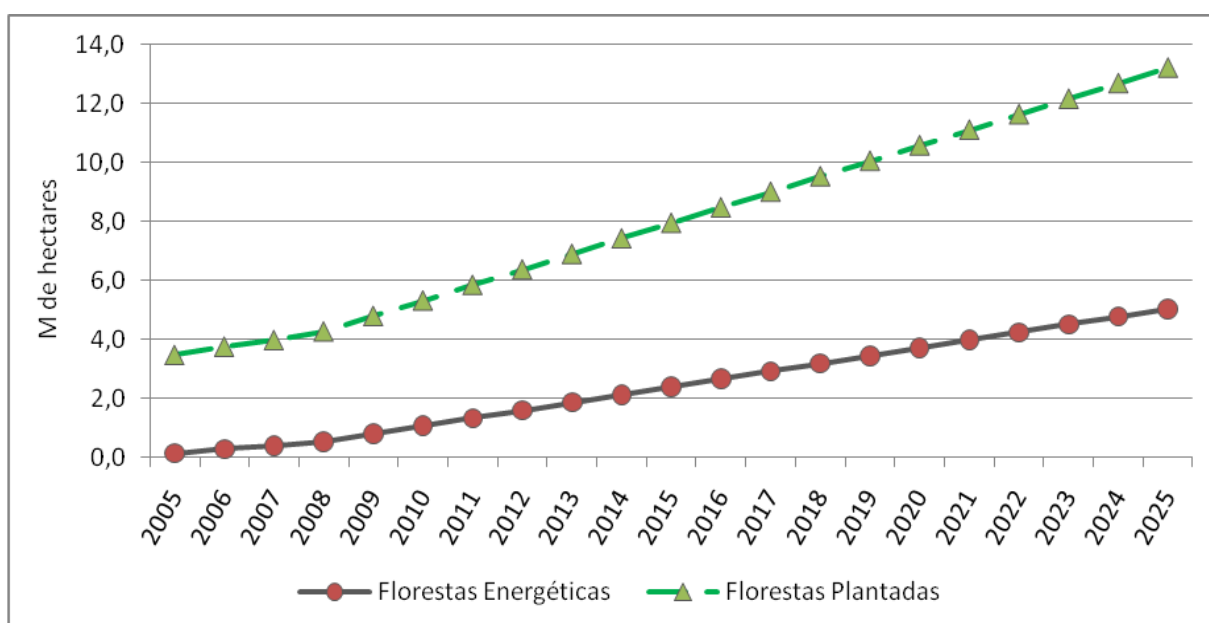
**Tabela 22. Superfícies dos plantios anuais e das áreas de colheita da expansão de florestas energéticas no Cenário Normativo no período 2005-2025 (milhões de ha)**

| Ano         | Plantios Anuais           |                                          |                                   |              | Floresta para colheita (idade 7 anos) |
|-------------|---------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|--------------|---------------------------------------|
|             | Nova (100% produtividade) | Reforma (rebrota) (90% de produtividade) | Replantio (100% de produtividade) | Total        |                                       |
| 2005        | 0,132                     |                                          |                                   | 0,132        |                                       |
| 2006        | 0,142                     |                                          |                                   | 0,142        |                                       |
| 2007        | 0,113                     |                                          |                                   | 0,113        |                                       |
| 2008        | 0,145                     |                                          |                                   | 0,145        |                                       |
| 2009        | 0,265                     |                                          |                                   | 0,265        |                                       |
| 2010        | 0,265                     |                                          |                                   | 0,265        |                                       |
| 2011        | 0,265                     |                                          |                                   | 0,265        | 0,132                                 |
| 2012        | 0,265                     | 0,132                                    |                                   | 0,397        | 0,142                                 |
| 2013        | 0,265                     | 0,142                                    |                                   | 0,407        | 0,113                                 |
| 2014        | 0,265                     | 0,113                                    |                                   | 0,377        | 0,145                                 |
| 2015        | 0,265                     | 0,145                                    |                                   | 0,410        | 0,265                                 |
| 2016        | 0,265                     | 0,265                                    |                                   | 0,530        | 0,265                                 |
| 2017        | 0,265                     | 0,265                                    |                                   | 0,530        | 0,265                                 |
| 2018        | 0,265                     | 0,265                                    |                                   | 0,530        | 0,397                                 |
| 2019        | 0,265                     | 0,265                                    | 0,132                             | 0,662        | 0,407                                 |
| <b>2020</b> | <b>0,265</b>              | <b>0,265</b>                             | <b>0,142</b>                      | <b>0,672</b> | <b>0,377</b>                          |
| 2021        | 0,265                     | 0,265                                    | 0,113                             | 0,642        | 0,410                                 |
| 2022        | 0,265                     | 0,265                                    | 0,145                             | 0,675        | 0,530                                 |
| 2023        | 0,265                     | 0,265                                    | 0,265                             | 0,794        | 0,530                                 |
| 2024        | 0,265                     | 0,265                                    | 0,265                             | 0,794        | 0,530                                 |
| <b>2025</b> | <b>0,265</b>              | <b>0,265</b>                             | <b>0,265</b>                      | <b>0,794</b> | <b>0,662</b>                          |

Fonte: elaboração própria.

Observa-se uma ordem crescente na quantidade de floresta plantada a cada ano. Em 2020 seriam implantadas, aproximadamente, 372 mil hectares entre plantios novos, reforma e replantios, e passando para 794 mil hectares de florestas para energia, em 2025.

Como mostra a figura 12, a superfície de florestas energéticas corresponderia a 3,7 milhões de hectares, ou seja, 35% do total de florestas plantadas no Brasil em 2020 e alcançaria 5,1 milhões de hectares deste tipo de florestas em 2025, sendo 38% do total.

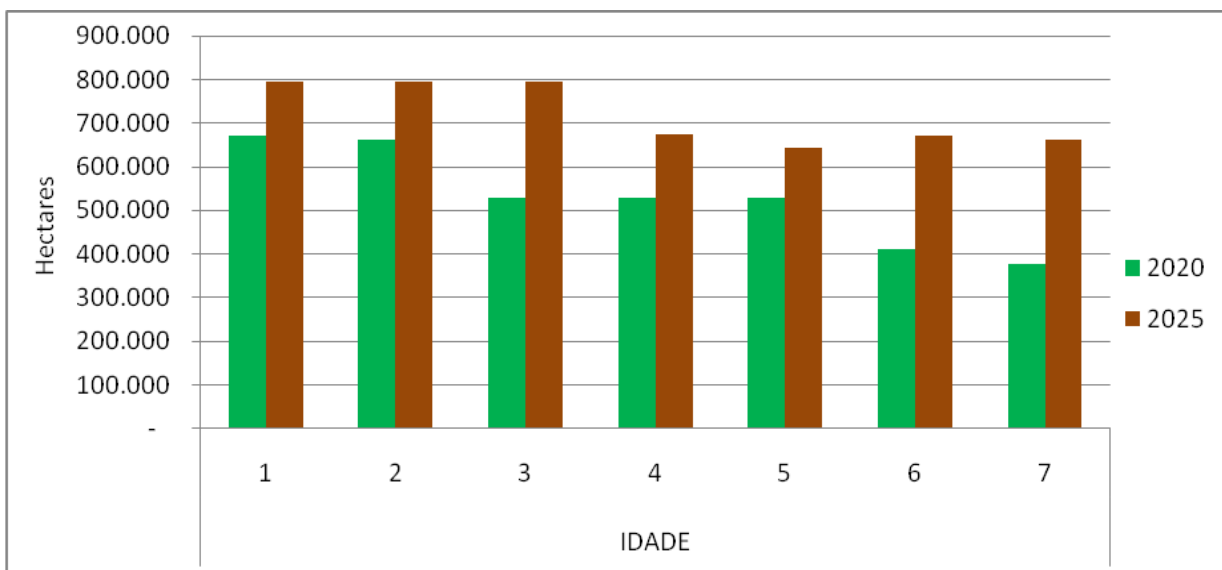


**Figura 12. Superfícies Totais de Florestas Plantadas e Energéticas no Brasil para o Cenário Normativo**

Fonte: elaboração própria.

Cabe salientar que até final desta projeção (2025) a floresta energética neste cenário, assim como no Cenário Tendencial, não conseguiu ser regulada.

Na figura 13 são apresentadas as superfícies de floresta energética com diferentes idades nos anos 2020 e 2025.



**Figura 13. Superfícies Plantadas de Eucalipto para carvão vegetal no Brasil no Cenário Normativo**

Fonte: elaboração própria.

Neste cenário, a superfície de floresta a ser explorada será de 377.487 hectares no final da rotação no ano 2020, conseguindo produzir 90,1 milhões de m<sup>3</sup> de madeira. Em 2025 a superfície estimada será de 661.880 hectares, produzindo 156,3 milhões m<sup>3</sup> de madeira com fins energéticos.

✓ **Emissões e remoções de carbono das florestas com fins energéticos no Cenário Normativo.**

As estimativas das emissões/remoções anuais líquidas totais de C dos sumidouros da expansão das florestas plantadas de eucalipto para energia no Brasil foram calculadas aplicando as equações e valores *default* apresentadas no capítulo de Materiais e Métodos. Os valores estimados estão apresentados na tabela 23.

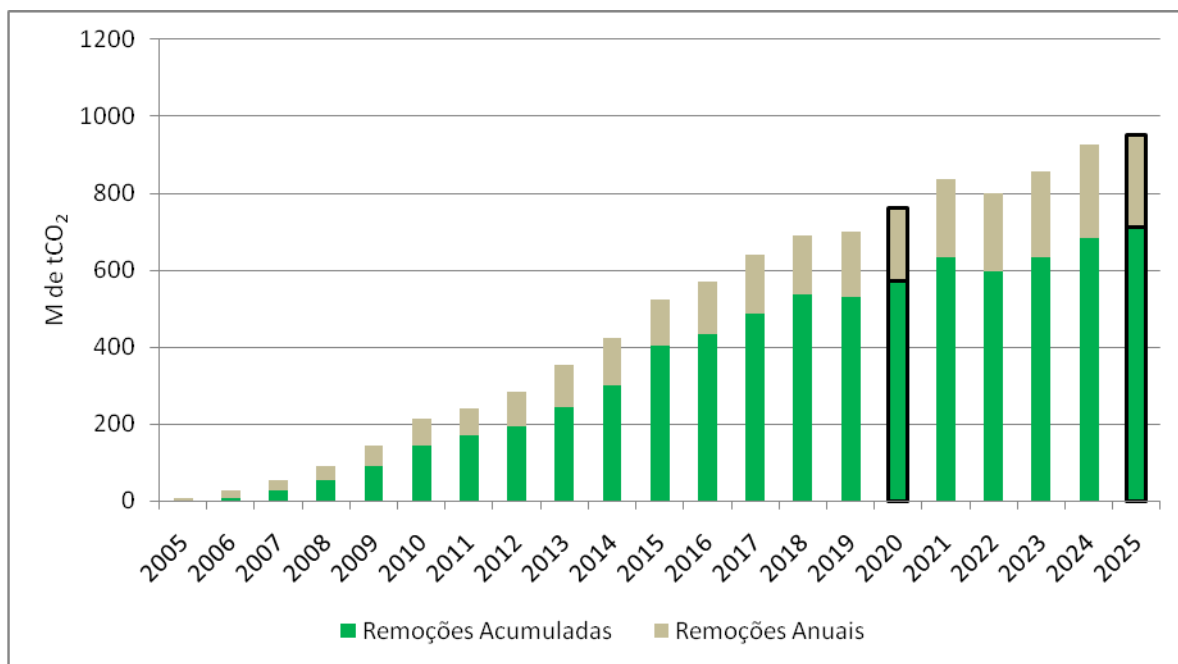
**Tabela 23. Remoções líquidas anuais de GEE das florestas energéticas no período 2005-2020 no Cenário Normativo**

| Ano         | Milhões de toneladas de C | Milhões de toneladas de CO <sub>2</sub> |
|-------------|---------------------------|-----------------------------------------|
| 2005        | 2,46                      | 9,02                                    |
| 2006        | 5,10                      | 18,72                                   |
| 2007        | 7,19                      | 26,40                                   |
| 2008        | 9,90                      | 36,31                                   |
| 2009        | 14,81                     | 54,35                                   |
| 2010        | 19,60                     | 71,94                                   |
| 2011        | 19,58                     | 71,86                                   |
| 2012        | 23,90                     | 87,70                                   |
| 2013        | 29,63                     | 108,72                                  |
| 2014        | 33,00                     | 121,11                                  |
| 2015        | 33,20                     | 121,85                                  |
| 2016        | 37,62                     | 138,08                                  |
| 2017        | 41,93                     | 153,90                                  |
| 2018        | 41,91                     | 153,82                                  |
| 2019        | 46,27                     | 169,79                                  |
| <b>2020</b> | <b>51,92</b>              | <b>190,56</b>                           |
| 2021        | 55,36                     | 203,16                                  |
| 2022        | 56,05                     | 205,71                                  |
| 2023        | 60,97                     | 223,75                                  |
| 2024        | 65,76                     | 241,34                                  |
| <b>2025</b> | <b>65,74</b>              | <b>241,25</b>                           |

Fonte: elaboração própria.

As remoções de carbono pela floresta energética no ano de 2020 alcançariam 52 milhões de toneladas de carbono e, com o incremento de área deste tipo de florestas, as remoções chegariam a cerca de 66 milhões de toneladas em 2025.

Igualmente ao Cenário Tendencial, neste caso também foram consideradas somente as remoções líquidas anuais, não considerando nos cálculos as remoções acumuladas da expansão da floresta energética. A título de ilustração, na figura 14, são apresentadas as remoções anuais e acumuladas da expansão das florestas energéticas no Brasil no período estudado.



**Figura 14. Remoções totais de carbono da expansão dos plantios energéticos no Cenário Normativo**

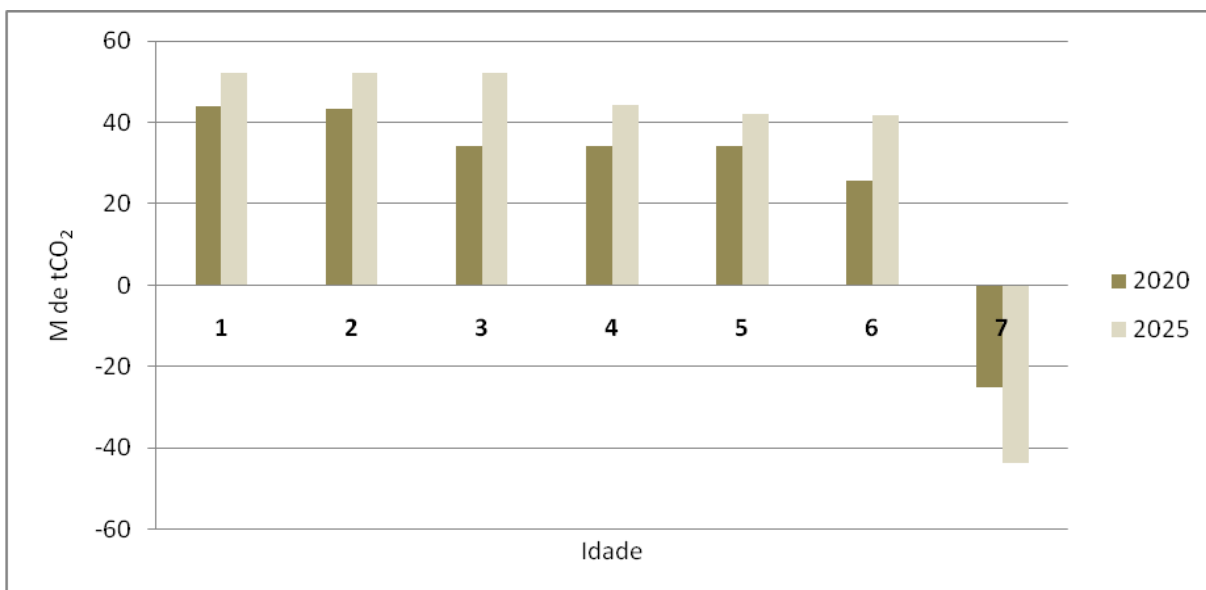
Fonte: elaboração própria.

Para este cenário as remoções em 2020 chegariam a 760 milhões de toneladas quando somadas as anuais e as acumuladas, e para o ano de 2025, as remoções totais seriam um pouco mais de 950 milhões de toneladas de dióxido de carbono.

Cabe destacar que as remoções anuais de carbono representam 25% das remoções acumuladas nos dois anos observados neste estudo (2020 e 2025).

Para o cálculo das estimativas das remoções anuais líquidas de C das florestas energéticas nos anos 2020 e 2025 seguiram o mesmo raciocínio dos cálculos do Cenário Tendencial. Na figura 15, podem ser observados os níveis das remoções/emissões da floresta energética nas suas diferentes idades.





**Figura 15. Estimativa da remoção/emissão anual líquida por idade dos plantios energéticos nos anos 2020 e 2025 no Cenário Normativo**

Fonte: elaboração própria.

No ano 2020 as maiores remoções encontram-se nos plantios com 1 e 2 anos de idade, estimadas em cerca de 43 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> para cada idade, sendo as superfícies com 6 anos as que apresentam menor absorção, com 25,6 milhões de toneladas. As emissões de carbono estão no final da rotação, quando alcançam 25,1 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>.

Para o segundo ano do estudo (2025), pode-se notar que as remoções apresentam maior regularidade, sendo 52 milhões de toneladas para as idades entre 1 e 3 da floresta e, em média, 42 milhões de toneladas para as idades entre 4 e 6 anos. Isto pode estar relacionado com a maior regularização da superfície do bosque. Por outro lado, as emissões neste mesmo ano chegariam a 43,6 milhões de toneladas devido à colheita da madeira desta floresta.

## 5.2 - Produção de Carvão Vegetal e Ferro-Gusa

Para o ano 2020 foi colocado como premissa do Cenário Tendencial que a produção de ferro-gusa a carvão vegetal (CV) mantivesse a mesma percentagem registrada em 2008. Para isto o fornecimento de madeira para fabricação do CV deve ser 100% proveniente da floresta energética.

A carbonização da biomassa das florestas plantadas para siderurgia, como mencionado no capítulo IV, será realizada em fornos com pequenas melhorias tecnológicas, as quais aumentariam o rendimento gravimétrico e, com isto, levariam à redução das emissões de metano. Lembrando que para o presente estudo foi assumido um rendimento gravimétrico de 34%, resultando em um Fator de Emissão (FE) de 31 Kg de CH<sub>4</sub> / tonelada de CV.

O abastecimento de CV para a produção de ferro-gusa no Brasil e sua participação na produção total da siderurgia de ferro-gusa no país, para os anos 2020 e 2025, são apresentados nos próximos itens para cada cenário de projeção.

### 5.2.1 - Cenário Tendencial

Neste cenário, a produção de CV em 2020 está relacionada com a quantidade pré-fixada de ferro-gusa a produzir, enquanto que no ano de 2025, a quantidade depende da oferta de madeira disponível das florestas energéticas no país. Na tabela 24 são apresentadas as quantidades de CV produzidas nos anos 2020 e 2025.

**Tabela 24. Produção de Madeira, CV e Ferro-gusa no Cenário Tendencial para o Brasil**

| Ano  | Superfície de floresta para colheita (milhões de hectares) | Produção de madeira dos plantios florestais energéticos (milhões de m <sup>3</sup> ) | Produção de Carvão Vegetal (milhões de t) | Produção de Ferro-gusa (milhões de t) |
|------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| 2020 | 0,235                                                      | 55,13                                                                                | 9,81                                      | 15,56                                 |
| 2025 | 0,378                                                      | 89,89                                                                                | 15,98                                     | 25,36                                 |

Fonte: Elaboração própria.

O peso do ferro-gusa “verde” ou produzido com CV renovável, no total de ferro-gusa produzido no Brasil, varia nos dois anos observados. Em 2020, como era a hipótese do estudo, foi de 28,9%, mas no ano de 2025, por causa da maior quantidade de oferta de CV para este uso, a percentagem poderá chegar a 41% do total de ferro-gusa produzido no país.

#### ✓ Emissões de GEE na produção de CV e Ferro-gusa

As emissões associadas à esta produção, tanto de CV e ferro-gusa verde, foram calculadas utilizando os fatores de emissão especificados no capítulo IV. A transformação de madeira para CV gera a emissão de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, mas somente o metano é contabilizado, já que o dióxido de carbono é absorvido pela próxima rotação de árvores plantadas. Sendo assim, este estudo utilizou o FE relacionado com o rendimento gravimétrico dos fornos de carvoejamento. No caso da produção de ferro-gusa verde foi utilizado o FE relacionado com a quantidade de toneladas de ferro produzida com CV para cada ano. Este fator de emissão equivale a 1,69 t CO<sub>2</sub> / t de ferro-gusa produzido nos altos fornos das plantas siderúrgicas (SAMPAIO, 2004).

Nas tabelas 25 e 26 são apresentados os resultados obtidos das emissões de GEE provenientes da produção de CV e de ferro-gusa verde no Cenário Tendencial para os anos 2020 e 2025.

**Tabela 25. Emissões de GEE da produção de CV renovável no Cenário Tendencial para o Brasil**

| Ano  | Milhões de t de CH <sub>4</sub> | Milhões de t de CO <sub>2</sub> e | Milhões de t de C |
|------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| 2020 | 0,30                            | 7,59                              | 2,07              |
| 2025 | 0,49                            | 12,38                             | 3,37              |

Fonte: elaboração própria. Sendo 1 t de CH<sub>4</sub> = 25 t de CO<sub>2</sub> (PWG). IPCC, 2007.  
1 t C = 3,67 t CO<sub>2</sub>

**Tabela 26. Emissões de carbono na produção nos altos fornos de ferro-gusa verde no Cenário Tendencial para o Brasil**

| Ano  | Milhões de t CO <sub>2</sub> | Milhões de t C |
|------|------------------------------|----------------|
| 2020 | 26,37                        | 7,18           |
| 2025 | 42,99                        | 11,72          |

Fonte: elaboração própria. 1 t C = 3,67 t CO<sub>2</sub>

Como podem ser observadas, as emissões agrupadas de produção de CV e ferro-gusa superam 9 milhões de toneladas de carbono em 2020, e para 2025, estas emissões chegariam a cerca de 15 milhões de toneladas.

### 5.2.2 - Cenário Normativo

Ao contrário do Cenário Tendencial, neste caso a produção de CV em 2020 não está relacionada com a quantidade pré-fixada de ferro-gusa a produzir, e sim com a quantidade de oferta de madeira disponível das florestas energéticas no país em 2020 e 2025. Na tabela 27 são apresentadas as quantidades de CV produzidas nos anos avaliados no presente estudo.

**Tabela 27. Produção de madeira, CV e ferro-gusa no Cenário Normativo para o Brasil**

| Ano  | Superfície de floresta para colheita (milhões de hectares) | Produção de madeira dos plantios florestais energéticos (milhões de m <sup>3</sup> ) | Produção de carvão vegetal (milhões de t) | Produção de ferro-gusa (milhões de t) |
|------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| 2020 | 0,377                                                      | 90,11                                                                                | 16,02                                     | 25,43                                 |
| 2025 | 0,662                                                      | 156,34                                                                               | 27,79                                     | 44,12                                 |

Fonte: elaboração própria

Para este cenário de expansão florestal, o peso do ferro-gusa verde no total de ferro-gusa produzido no Brasil varia nos dois anos observados. Em 2020, tal peso poderá ser de 47% enquanto que no ano de 2025, por causa da maior quantidade de oferta de CV para este uso, a percentagem poderá chegar a 71% do total de ferro-gusa produzido no país.

### ✓ Emissões de GEE na produção de CV e Ferro-gusa

As emissões associadas à esta produção, tanto de CV quanto de ferro-gusa verde, foram calculadas utilizando os fatores de emissão especificados no capítulo IV, da mesma forma como mencionado para o Cenário Tendencial.

Nas tabelas 28 e 29 são apresentados os resultados obtidos das emissões de GEE provenientes da produção de CV e de ferro-gusa verde no Cenário Normativo para os anos 2020 e 2025.

**Tabela 28. Emissões de GEE da produção de CV renovável no Cenário Normativo para o Brasil**

| Ano  | Milhões de t de CH <sub>4</sub> | Milhões de t de CO <sub>2</sub> e | Milhões de t de C |
|------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| 2020 | 0,49                            | 12,41                             | 3,38              |
| 2025 | 0,86                            | 21,54                             | 5,87              |

Fonte: elaboração própria. Sendo 1 t de CH<sub>4</sub> = 25 t de CO<sub>2</sub> (PWG). IPCC, 2007. 1 t C = 3,67 t CO<sub>2</sub>

De forma ilustrativa, na figura 16 é apresentada a melhor maneira possível de implantação das unidades de produção de CV renovável dentro das áreas florestais, com o objetivo de controlar a produção, as emissões e o escoamento.



**Figura 16. Unidade de produção de CV renovável, na empresa Plantar S/A.**

Fonte: autor.

**Tabela 29. Emissões de carbono na produção nos altos fornos de ferro-gusa verde no Cenário Tendencial para o Brasil**

| Ano  | Milhões de t de CO <sub>2</sub> | Milhões de t de C |
|------|---------------------------------|-------------------|
| 2020 | 43,1                            | 11,74             |
| 2025 | 74,78                           | 20,38             |

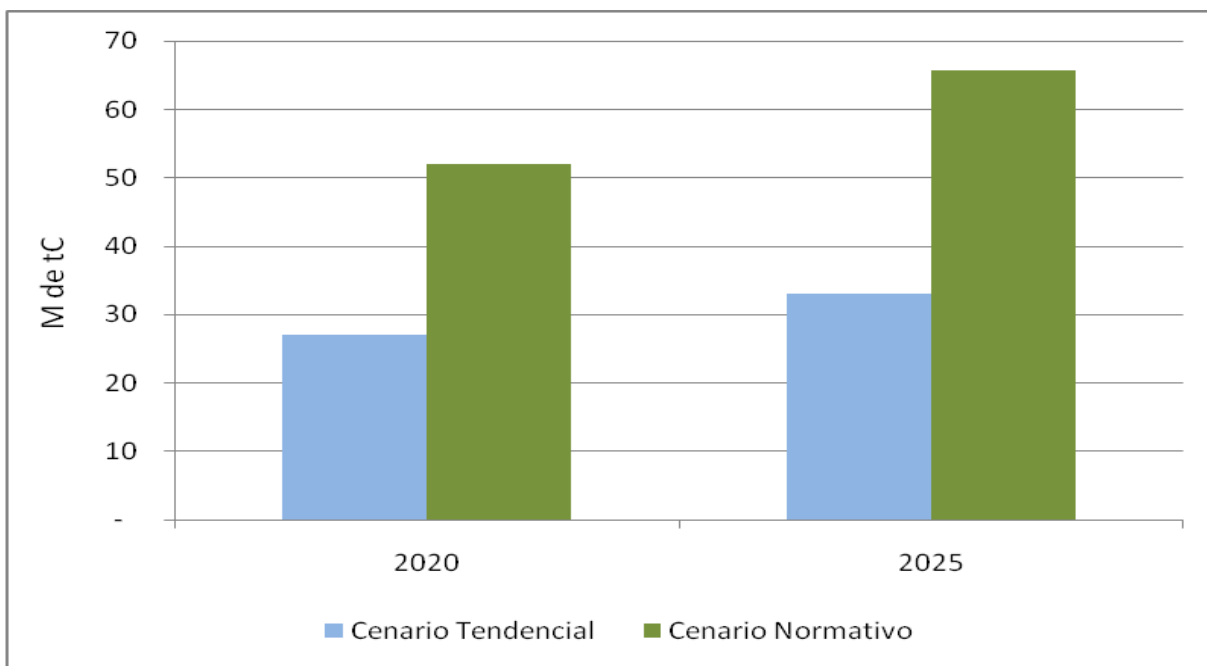
Fonte: elaboração própria. 1 t C = 3,67 t CO<sub>2</sub>

Neste cenário, as emissões somadas da produção de CV e de ferro-gusa em 2020 superam 15 milhões de toneladas de carbono e, para 2025, estas emissões chegariam a, aproximadamente, 26 milhões de toneladas.

### 5.3 - Balanço geral das emissões/remoções dos Cenários Tendencial e Normativo

Dando continuidade ao trabalho proposto, neste item serão realizadas as comparações das emissões e remoções de C entre os componentes da floresta energética, produção de CV e ferro-gusa verde, entre os dois cenários de projeção de novas florestas de eucalipto para o país. Como foi apresentado no item anterior, as remoções corresponderiam ao sequestro dos sumidouros florestais e as emissões de GEE corresponderiam aos processos de carbonização da madeira e de redução do minério de ferro nos altos fornos das indústrias siderúrgicas.

Na figura 17 podem ser observadas as diferenças entre os cenários e os anos da expansão das florestas de eucalipto com finalidade energética no Brasil, para os anos 2020 e 2025.

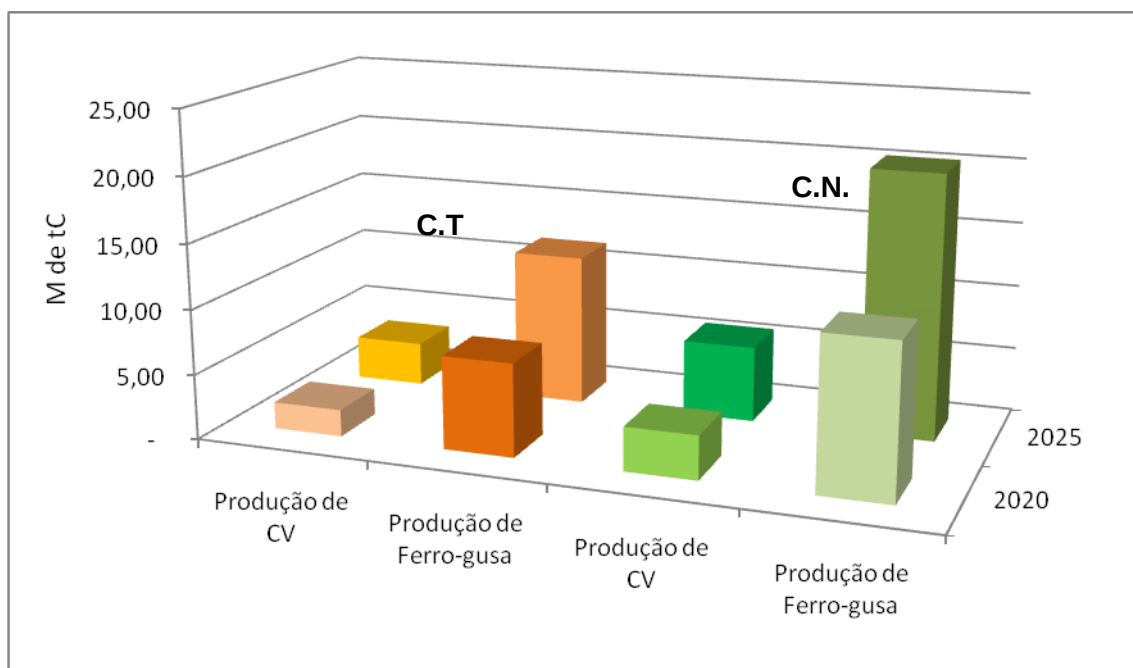


**Figura 17. Remoções de C das florestas energéticas nos dois Cenários estudados para o Brasil**

Fonte: elaboração própria.

Nos dois anos foco deste estudo, as remoções de carbono pelo crescimento das florestas energéticas no Cenário Normativo superam em mais que o dobro as remoções estimadas no Cenário Tendencial, sendo em 2020, 52 milhões de toneladas de C no Cenário Normativo contra 27 milhões de toneladas no Cenário Tendencial. Para 2025, as remoções estimadas são de 66 sobre 33 milhões de toneladas de C, respectivamente, para os cenários Normativo e Tendencial.

Por outro lado, as emissões de GEE dos processos de produção do CV e ferro-gusa verde também apresentam diferenças substanciais entre os dois cenários estudados. Na figura 18, podem ser observadas estas diferenças entre as emissões de carbono. O Cenário Tendencial aparece em diferentes tonalidades de laranja e o Cenário Normativo em diferentes tonalidades de verde.



**Figura 18. Emissões de Carbono dos processos produtivos do CV e do Ferro-gusa nos Cenários Tendencial e Normativo em Brasil**

Fonte: elaboração própria.

A produção de ferro-gusa apresenta as maiores estimativas de emissões de C nos dois cenários, passando de 7 milhões de t de C no Cenário Tendencial, em 2020, para um pouco mais de 20 milhões de toneladas no Cenário Normativo, em 2050.

A produção de CV tem o menor valor em 2020 para o Cenário Tendencial com 2 milhões de toneladas de C e não passa dos 6 milhões de toneladas no Cenário Normativo, em 2025.

Cabe lembrar que as emissões são diretamente proporcionais à quantidade de CV e ferro-gusa produzido nos anos avaliados. Portanto, não são apreciadas maiores surpresas nos resultados obtidos neste estudo.

Visando avaliar o efeito da expansão futura das florestas energéticas no Brasil, é necessário realizar a estimativa do balanço geral das emissões de GEE da cadeia da produção de ferro-gusa verde. Nos quadros 2 e 3 é apresentado o balanço das emissões de carbono da floresta



plantada e a produção de CV e ferro-gusa verde nos Cenários Tendencial e Normativo, respectivamente.

**Quadro 2. Balanço das emissões/remoções de carbono para a cadeia da produção do ferro-gusa verde no Cenário Tendencial para o Brasil**

| Ano  | Emissões Totais da produção de CV | Emissões Totais da produção de Ferro-gusa | Remoções Totais das florestas para CV | Total   |
|------|-----------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|---------|
|      | Milhões de t de C                 |                                           |                                       |         |
| 2020 | 2,07                              | 7,19                                      | 27,01                                 | (17,75) |
| 2025 | 3,37                              | 11,72                                     | 33,04                                 | (17,95) |

Fonte: elaboração própria.

O balanço geral das emissões de carbono gerou resultados negativos nos dois anos estudados, significando que as remoções ou o sequestro dos gases foram maiores do que as quantidades de carbono emitido. Segundo estas estimativas, no ano de 2020, as remoções alcançariam 65,2 milhões de t de CO<sub>2</sub>e e, em 2025, chegariam a 65,9 milhões de t de CO<sub>2</sub>e para este cenário.

**Quadro 3. Balanço das emissões/remoções de carbono para a cadeia da produção do ferro-gusa verde no Cenário Normativo para o Brasil**

| Ano  | Emissões Totais da produção de CV | Emissões Totais da produção de Ferro-gusa | Remoções totais das florestas para CV | Total  |
|------|-----------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|--------|
|      | Milhões de t de C                 |                                           |                                       |        |
| 2020 | 3,38                              | 11,74                                     | 51,92                                 | (36,8) |
| 2025 | 5,87                              | 20,38                                     | 65,74                                 | (39,5) |

Fonte: elaboração própria.

Conforme ocorrido no caso anterior, o Cenário Normativo apresentou resultados negativos no balanço das emissões, significando que as remoções das florestas são consideravelmente maiores que as emissões dos processos produtivos ou da cadeia de produção do ferro-gusa.

Nos anos 2020 e 2025, as remoções resultaram em um valor total de 135,1 e 144,9 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>e, respectivamente.

De forma comparativa, o Cenário Normativo consegue remover ou absorver da atmosfera, em média, duas vezes a quantidade de dióxido de carbono absorvido pelo Cenário Tendencial, no período estudado nesta dissertação.

#### **5.4 – Distribuição das Florestas Energéticas no Brasil**

Como mencionado no item da metodologia, a visualização qualitativa da distribuição da expansão das áreas de florestas energéticas no país foi possível através de um análise comparativo entre estudos publicados recentemente que trabalharam este tema.

O estudo de NASSAR *et al* (2010) do Instituto do Comercio e Negociações Internacionais - ICONE, projetou dois cenários futuros da expansão florestal, onde a área total ocupada por tais florestas no cenário de referência baseia-se nas projeções contidas no PNE, o qual informa a área total ocupada por eucalipto, pinus e demais madeiras tropicais para todo o Brasil. A superfície total ocupada com florestas plantadas no país partiu de 5,2 milhões de hectares em 2006 e chegará a 8,5 milhões em 2030, o que representa um crescimento de 60% no período. Para o outro cenário, chamado de “baixo carbono”, que tem como hipótese central o aumento da demanda de carvão vegetal provenientes de florestas de produção substituindo o carvão vegetal de florestas nativas e o carvão mineral para a produção de ferro-gusa, a superfície destinada a plantios florestais no decorrer do período analisado, de 2006 a 2030, aumentará 112%, passando de 5,2 para 11,2 milhões de hectares.

Para PIKETTY *et al* (2009) a distribuição das florestas plantadas, especificamente para energia, se daria nas áreas com maior potencial técnico no país, segundo os critérios

anteriormente mencionados no Capítulo I e que totalizariam, aproximadamente, 67 milhões de hectares no Brasil.

Com o intuito de realizar uma correlação entre estes estudos, são apresentadas as áreas de expansão de florestas plantadas (produção) do estudo de NASSAR *et al* (ICONE) (2010) e os resultados das áreas tecnicamente potenciais de receber este tipo de plantios segundo PIKETTY *et al* (2009), nas diferentes regiões no país (Quadro 7). Cabe salientar que foram ajustadas as regiões do estudo do PIKETTY *et al* para se poder comparar as informações com as regiões do estudo do ICONE.

**Quadro 4. Comparação da distribuição da expansão das florestas plantadas v/s a superfície com potencial técnico para florestas energéticas nas regiões do Brasil (milhão de hectares)**

| Região               | ICONE (Nassar <i>et al</i> ) |                       | PIKETTY <i>et al</i>                  |
|----------------------|------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
|                      | Cenário Referencia           | Cenário Baixo Carbono | Superfície com potencialidade técnica |
| Norte Amazônia       | 0,33                         | 0,49                  | 4,1                                   |
| MAPITO - Bahia       | 1,37                         | 1,53                  | 31,7                                  |
| Nordeste Litorâneo   | 0,31                         | 0,31                  | 2,7                                   |
| Centro-Oeste Cerrado | 0,91                         | 0,99                  | 22,7                                  |
| Sudeste              | 2,71                         | 4,97                  | 5,9                                   |
| Sul                  | 2,83                         | 2,89                  | ---                                   |
| <b>BRASIL</b>        | <b>8,5*</b>                  | <b>11,2*</b>          | <b>67,1</b>                           |

Fonte: elaboração própria, baseado em NASSAR *et al*, (2010) e PIKETTY *et al* (2009). \*Superfície em 2030

Considerando o cenário de baixo carbono e de referência, é possível observar, correlacionando a expansão florestal com a disponibilidade de terra, que a região Sudeste apresentaria a maior extensão de área de plantios, seguida pela região MAPITO-Bahia e, em terceiro lugar a Região Centro-Oeste Cerrado.

A região Sul, apesar dos cenários do ICONE apresentar uma área considerável de expansão, não haveria superfície com potencialidade técnica com fins energéticos, segundo o estudo de PIKETTY *et al* (2009). Isto se dá, principalmente, porque as indústrias siderúrgicas não se

encontram nesta parte do país e, portanto, não é considerada nesta análise de expansão de florestas energéticas.

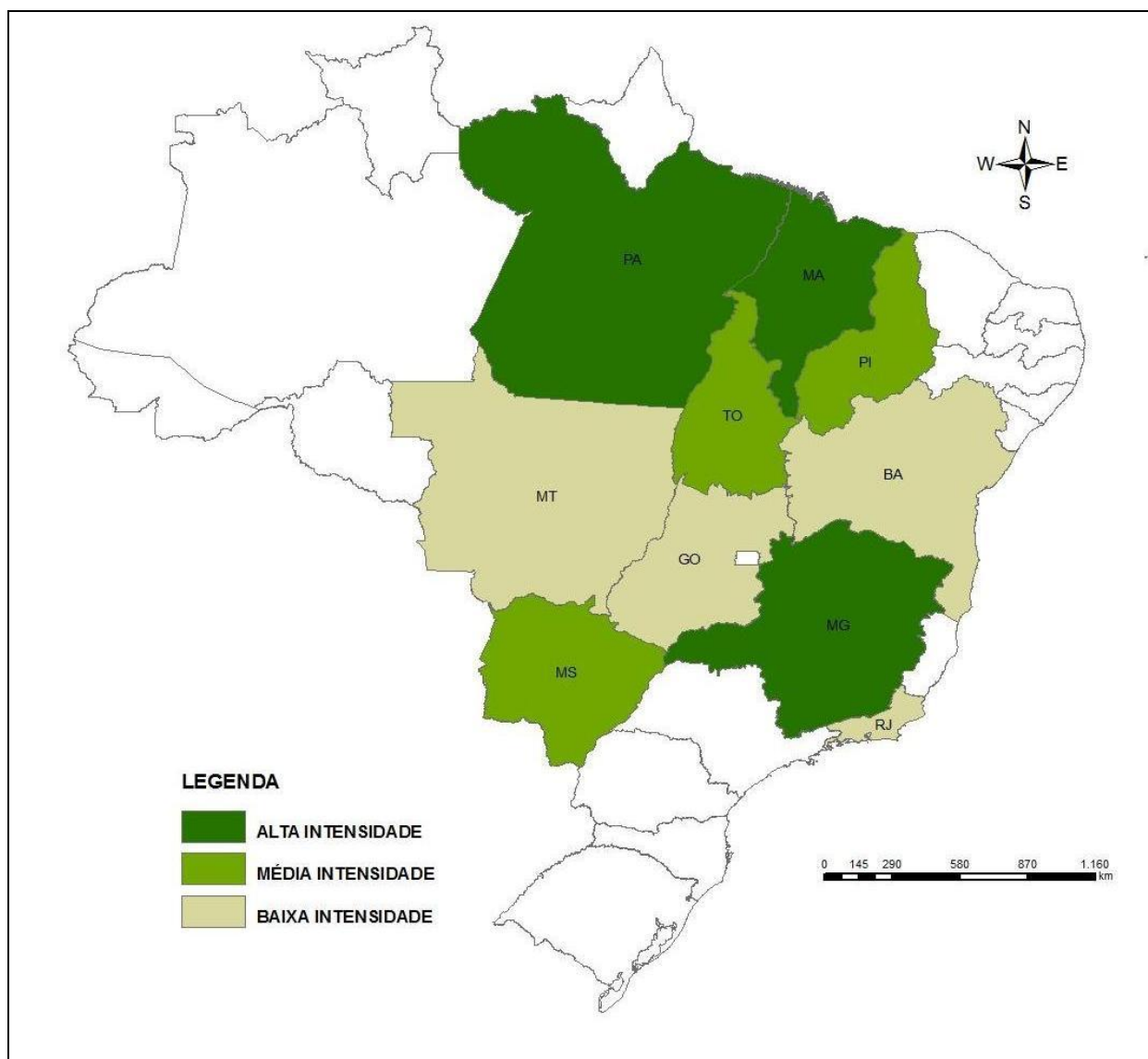
Através de uma análise simples, comparando os estados com potencialidade técnica e as 3 principais regiões do país com expansão de floresta plantada mais incorporando um critério de correlação da distância dos pólos industriais siderúrgicos existentes com as diferentes regiões do país, foi possível determinar de forma qualitativa a intensidade da distribuição da expansão de florestas energéticas nos estados do Brasil para os Cenários Tendencial e Normativo, estudados na presente dissertação.

As 3 intensidades definidas da expansão de florestas energéticas são: Alta, Média e Baixa. Podendo-se, assim, representar qualitativamente a distribuição dos plantios florestais nos estados da união.

Apesar do Estado do Rio de Janeiro não se encontrar dentro das unidades da federação na pesquisa do PIKETTY *et al* (2009), cabe salientar que o estudo da FIRJAN (2009) determinou que no Estado do Rio existem cerca de 694 mil hectares de áreas com “pastagens naturais” e “pastagens plantadas degradadas”, as quais apresentam baixíssima produtividade. Isto indica que uma parcela expressiva das mesmas poderia ser usada para o plantio de florestas comerciais sem nenhum impacto expressivo sobre a produção pecuária.

Desta forma, se sugeriu que o Estado do Rio poderia adotar como meta o plantio de 100.000 hectares de florestas com fins industriais, o que corresponderia a pouco mais de 14% de suas “pastagens naturais” e “pastagens plantadas degradadas”. Esta expansão se daria em regiões onde existem grandes extensões de áreas degradadas, como é o caso do noroeste fluminense, onde seria favorecida a recuperação destas áreas, contribuindo para sua melhoria (FIRJAN, 2009).

Na figura 19 é apresentada de forma ilustrativa a intensidade da expansão das florestas energéticas para os cenários Tendencial e Normativo no território do país. Assume-se que o comportamento da distribuição das florestas será o mesmo nos dois cenários estudados.



**Figura 19. Intensidade da expansão das florestas energéticas no Brasil nos Cenários Tendencial e Normativo**

Fonte: elaboração própria.

## **CAPITULO VI**

### **6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES FINAIS**

As florestas plantadas, estabelecidas mediante o florestamento e o reflorestamento, desempenham um papel de particular importância em prover uma ampla gama de bens e serviços. Existe cada vez mais consciência pública de que os produtos de madeira têm mais vantagens em relação aos materiais convencionais. A madeira é renovável e eficiente, até mesmo do ponto de vista energético. Além disso, sua produção, efetuada de forma responsável, favorece o meio ambiente.

O Brasil é um dos maiores produtores e o maior consumidor mundial de produtos de origem florestal. Setores estratégicos da economia brasileira, como a siderurgia, a indústria de papéis e embalagens, e a construção civil, são altamente dependentes do setor das florestas plantadas (MMA, 2009).

#### **6.1 - Remoções de GEE dos Cenários de Expansão das Florestas Energéticas**

Na Segunda Comunicação Nacional do Brasil (inventário de emissões de GEE), publicada recentemente pelo MCT (2010), foram divulgados os valores das emissões brasileiras de GEE da mudança do uso do solo, correspondente principalmente ao desmatamento nos biomas da Amazônia e Cerrado, para o ano 2005. Estas emissões representam 68% das emissões totais de CO<sub>2</sub>e para o Brasil, o que torna ao setor de florestas e mudança do uso do solo como a mais importante fonte de emissões do país. Segundo o PNMC (2008), as emissões provenientes da mudança do uso do solo serão diminuídas em 2020, pela restrição do desmatamento nos principais biomas (Amazonia e Cerrado), chegando a ser da ordem dos 400 milhões de t de CO<sub>2</sub>.

Visando entender a problemática e suas possíveis soluções, foi realizada uma comparação geral entre as emissões da mudança do uso do solo em 2005 e as estimadas para 2020 e as potenciais remoções futuras de carbono pelo crescimento das florestas plantadas de eucalipto com fins energéticos dos cenários Tendencial e Normativo no Brasil (Quadro 4).

**Quadro 5. Comparação entre as emissões passadas e remoções futuras de carbono no setor de Uso do Solo e Florestas.**

|                               | Ano                             |          |         |         |                                 |         |         |
|-------------------------------|---------------------------------|----------|---------|---------|---------------------------------|---------|---------|
|                               | 2005                            | 2020     | (20/05) | (20/20) | 2025                            | (25/05) | (25/20) |
|                               | Milhões de t de CO <sub>2</sub> |          | %       |         | Milhões de t de CO <sub>2</sub> | %       |         |
| <b>Mudança no Uso do Solo</b> | 1.356,05                        | 415*     |         |         | ----                            |         |         |
| <b>Cenário Tendencial</b>     | ----                            | - 65,14  | 5       | 16      | - 65,87                         | 5       | 16      |
| <b>Cenário Normativo</b>      | ----                            | - 135,06 | 10      | 32      | - 144,97                        | 11      | 35      |

Fonte: elaboração própria. \*valor estimado no PNMC (NAMAs)

Observa-se que se cumprida a expansão somente de florestas energéticas do Cenário Tendencial, as remoções de carbono teriam o potencial de neutralizar ou compensar até 5%, em 2020 e 2025, em relação às emissões do desflorestamento acontecido em 2005. Se comparadas com as emissões estimadas para 2020, as remoções das florestas energéticas deste cenário poderiam neutralizar, aproximadamente, 16% do total. Já para o Cenário Normativo, a compensação, em relação às emissões de 2005, poderia chegar a ser de 10% em 2020 e de 11% em 2025. Comparando com as emissões do PNMC para 2020, as remoções da floresta energética seriam capazes de neutralizar entre 32% e 35% nos anos estudados na presente dissertação. Esta comparação reflete a importância de contrapeso que possuem as florestas plantadas sobre as emissões originadas da mudança do uso do solo e desflorestamento de matas naturais.

Por outro lado, o estudo do BANCO MUNDIAL (2010a) focalizou as florestas de produção de carvão vegetal renovável para a indústria de ferro e aço. As projeções futuras para florestas

de produção usando carvão vegetal renovável basearam-se no crescimento anual estimado do mercado de ferro e aço durante o período do estudo (3,7%) e na participação no mercado de todos os agentes termo-redutores (coque mineral, CV não renovável e CV renovável).

O Cenário de Referência supõe a continuação da situação de mercado atual, onde a participação dos termo-redutores seriam divididos em 66% baseados em coque mineral, 24% em CV não renovável e 10% em CV renovável. Além disso o Cenário de Referência supõe, principalmente, a continuação da carência de políticas públicas e de financiamento adequado do setor, a baixa produtividade na produção de madeira e a eficiência do processo de carbonização da madeira.

De acordo com o Cenário de Referência, calculou-se que as florestas de produção possam sequestrar 315 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> durante o período analisado de 20 anos (2010-2030). Para o Cenário de Baixo Carbono, o potencial de remoção foi estimado supondo a substituição total de CV não renovável a partir de 2017 e a intensificação do uso de CV para 46% da produção total de lastro de ferro e aço, até 2030. Com isso, o volume total sequestrado neste cenário seria igual a 377 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, no mesmo período.

No Cenário de Referência, foi considerada uma demanda de cerca de um milhão de hectares de florestas de produção para suprir a produção de ferro-gusa. No cenário de Baixo Carbono, esta demanda subirá para 3,6 milhões de hectares, o que representa uma captação adicional de aproximadamente 560 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, quando é contabilizado o desmatamento evitado pela substituição de CV não renovável pelo CV renovável (BANCO MUNDIAL, 2010a).

Comparando os resultados do estudo do Banco Mundial com os resultados obtidos no presente estudo, podem ser apreciadas diferenças significativas nas quantidades de gás absorvido pela floresta energética nos cenários futuros. Isto se deve, principalmente, ao fato



de que as hipóteses utilizadas e as quantidades de superfície das florestas com fins energéticos nos estudos serem diferentes até o final do período dos cenários (Quadro 5).

**Quadro 6. Resultados obtidos das superfícies de florestas energéticas e as remoções médias anuais para cenários futuros do estudo do Banco Mundial e a Dissertação**

|                                                                                 | Estudo do Banco Mundial |                          | Dissertação        |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|
|                                                                                 | Cenário de Referência   | Cenário de Baixo Carbono | Cenário Tendencial | Cenário Normativo |
| <b>Superfície total de Florestas Energéticas* (M de hectares)</b>               | 1                       | 3,6                      | 2,6                | 5,1               |
| <b>Remoções médias anuais das Florestas Energéticas (M t de CO<sub>2</sub>)</b> | 15,8                    | 18,9                     | 75,4               | 132,5             |

Fonte: elaboração própria. Obs. \*Superfícies acumuladas até o final dos cenários.

Por causa da diferença dos resultados entre o estudo desta dissertação e a do Banco Mundial, torna-se complexo realizar qualquer tipo de correlação entre os dados analisados. No entanto, de forma geral, observa-se a existência de um grande potencial de absorção de carbono por parte dos plantios florestais com fins energéticos. Isto, também, pode ser corroborado pelo Plano Nacional de Mudanças Climáticas apresentado pelo país em dezembro de 2009 na Conferência das Partes nº15 em Copenhague, onde o país, através de suas Ações de Mitigação Nacionalmente Apropriadas (NAMAs, sigla em inglês) para a indústria siderúrgica, estabeleceu metas de redução de emissões de GEE entre 8 e 10 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> para 2020, com foco no uso de CV renovável, substituindo o carvão mineral e o CV não renovável das florestas nativas para a produção de ferro-gusa e aço (MMA, 2009).

É importante ressaltar que os cenários não são previsões, mas sim uma série de imagens possíveis de como o futuro poderá se desdobrar, dadas certas condições, e servem como ferramentas apropriadas para analisar de que forma as forças motrizes podem influenciar no resultado de emissões futuras e para avaliar as incertezas associadas. Além disso, auxiliam nas análises de mudanças climáticas e avaliação de impactos, adaptação e mitigação. Observa-se que a possibilidade é baixa de que qualquer uma das trajetórias de emissões ocorrerá

exatamente como descrita em um dado cenário. Os cenários, com suas emissões futuras de GEE, são o produto de sistemas dinâmicos complexos, determinados por forças motrizes tais como crescimento demográfico, desenvolvimento sócio-econômico e mudança tecnológica, cujas evoluções possuem um alto grau de incerteza (LA ROVERE, 2002).

Em relação ao potencial de seqüestro de C pelas florestas energéticas, na presente dissertação se obtiveram produtividades anuais entre 48 e 50 toneladas de CO<sub>2</sub> per hectare, as quais refletiriam os avanços no material genético das árvores e de manejo silvicultural das florestas energéticas no futuro. Segundo o estudo do BANCO MUNDIAL (2010b), foram observados valores mínimos e máximos de produtividade (tCO<sub>2</sub>/ha/ano) para este tipo de reflorestamento no Brasil. De maneira geral, a região Nordeste apresentou os menores valores, que em média ficou em 39,8 tCO<sub>2</sub>/ha/ano. No outro extremo, os maiores potenciais de remoção anual de carbono foram observados na região Sul, onde a média ficou em 48,5 tCO<sub>2</sub>/ha/ano, chegando a valores máximos de 58 toneladas de dióxido de carbono por hectare por ano, enquanto que a média da região Sudeste ficou em 41,3 tCO<sub>2</sub>/ha/ano. Cabe salientar que no estudo o B.M. não considera, no modelo de absorção, as práticas de manejo e correção de solo das florestas plantadas, as quais refletem valores mais elevados desta produtividade.

## **6.2 – Expansão e Dinâmica do Uso do Solo das Florestas Energéticas**

Em relação à expansão futura das florestas plantadas no Brasil, existem varias hipóteses sobre as superfícies a se alcançar. Deste modo, a BRACELPA (2010) estima que em 2017 o total de superfície plantada arbórea será de aproximadamente 8,8 milhões de hectares, tanto para fins de papel e celulose, energia e madeira. Segundo Jefferson Mendes, em 2010, especialista do setor florestal, o total de área com floresta plantada poderia chegar a 12 milhões de hectares até o final da presente década. O estudo de NASSAR *et al* (ICONE) (2010), como antes

mencionado, projetou dois cenários futuros da expansão florestal, onde a área total ocupada pelas florestas plantadas no cenário de referência chegará a 8,5 milhões em 2030. E para o cenário de baixo carbono, que tem como hipótese central o aumento da demanda de carvão vegetal provenientes de florestas de produção substituindo o carvão vegetal de florestas nativas e o carvão mineral para a produção de ferro-gusa, a superfície chegará a 11,2 milhões de hectares.

No quadro 6, são apresentados comparativamente os resultados da expansão das florestas energéticas entre os diferentes autores e o presente estudo de dissertação.

**Quadro 7. Projeções da expansão de florestas plantadas no Brasil segundo vários estudos**

|      | BRACELPA              | ICONE (NASSAR <i>et al</i> , 2010) |                          | Dissertação          |                     |
|------|-----------------------|------------------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|
| Ano  |                       | Cenário de Referência              | Cenário de Baixo Carbono | Cenário Tendencial** | Cenário Normativo** |
|      | (milhões de hectares) |                                    |                          |                      |                     |
| 2017 | 8,8                   | 7,7*                               | 8,0*                     | 6,5                  | 9,0                 |
| 2025 | --                    | 8,2*                               | 10,0*                    | 8,4                  | 13,2                |
| 2030 | --                    | 8,5                                | 11,2                     | --                   | --                  |

Fonte: elaboração própria. Obs: \*calculadas pelo autor; \*\*corresponde somente a florestas de eucalipto.

É possível observar a existência de algumas diferenças entre as distintas projeções da expansão florestal no país, principalmente comparando à BRACELPA e as demais, havendo diferenças que chegam até 2,3 milhões de hectares. Entre o estudo de NASSAR *et al* (2010) e o presente trabalho de dissertação, as diferenças chegam, no ano de 2025, a 3,2 milhões de hectares se comparados os cenários de maior expansão. No entanto, nos cenários de menor expansão florestal, no mesmo ano, as diferenças são pouco significativas (0,2 milhões de hectares).

Segundo os estudos analisados, observa-se, portanto que as quantidades das superfícies da maior expansão florestal (de dois dígitos) são plausíveis de acontecer no médio-prazo no país.

Segundo o estudo do NASSAR *et al* - ICONE (2010), a alocação de terras para florestas plantadas é determinada exogenamente ao modelo e representa uma restrição ao crescimento das demais culturas agrícolas. No cenário de referência, em termos das dinâmicas regionais, a região Sul chegará a ter 3,7 milhões de hectares em 2030, ultrapassando a região Sudeste e tornando-se a região de maior área. Também, a região MAPITO e Bahia (Maranhão, Piauí e Tocantins + Bahia) apresentará um crescimento de área de 124%, o que representa uma área de 1,5 milhões em 2030. Já, no cenário de baixo carbono, onde as florestas de produção têm como princípio um aumento da demanda de carvão vegetal para suprir a substituição de carvão mineral e carvão vegetal de florestas nativas na produção siderúrgica, a distribuição das áreas alocadas para florestas de produção entre as regiões do modelo em 2030 apresenta um crescimento da participação da região Sudeste de 33 para 44% da área no Brasil, comparando este cenário de baixo carbono com o cenário de referência. Este resultado é explicado, principalmente, pela alta concentração da indústria siderúrgica nesta região e resulta em uma menor participação da região Sul, que caiu de 31% para 25%. Esta acomodação se dá em grande parte nas áreas de pastagens (NASSAR *et al*, 2010).

Em relação aos resultados da expansão qualitativa das florestas energéticas, obtidos na presente dissertação, é possível visualizar que esta expansão se dará, de forma mais intensiva, nos estados onde já se encontram grandes superfícies de eucalipto para fins energéticos, como são MG, MA e PA, seguidos com media e baixa intensidade de expansão pelos estados onde a atividade siderúrgica esta começando (MS) e/ou nos estados vizinhos aos estados produtores de ferro-gusa, como PI, TO, MT, GO, BA e RJ.

### **6.3 - Estimativa dos Custos e Receitas da Implantação dos Cenários**

Apesar de não fazer parte dos objetivos do presente estudo de dissertação, foram estimados os possíveis custos associados ao esforço de redução de emissões pelo uso das florestas energéticas para a indústria siderúrgica do país. Estes valores foram estimados através dos custos de abatimento da aplicação de ações de mitigação das emissões de GEE para o Brasil apresentado no estudo do BANCO MUNDIAL (2010a).

Estes custos de abatimento foram para a implantação da ação da substituição de carvão vegetal não renovável por carvão vegetal renovável, os quais estão entre US\$14 e US\$32 por cada tonelada de CO<sub>2</sub> evitada, segundo uma taxa de desconto que vai desde 4 a 12%, respectivamente.

Para se realizar uma estimativa dos custos associados, foi considerado como hipótese que 50% do CV utilizado na produção de ferro-gusa vêm de florestas plantadas e que o restante vem do desmatamento de florestas nativas até o final dos Cenários Tendencial e Normativo. O custo de mitigação é calculado para medir o esforço de tornar o CV utilizado para siderurgia totalmente renovável (100%), isto seguindo o preconizado pela ação do estudo do Banco Mundial.

Sendo assim, foi utilizada uma faixa dos valores de custo de abatimento apresentado pelo B.M. (14 e 32 US\$/tCO<sub>2</sub>), além de considerar, também, que 50% das remoções de carbono das florestas energéticas nos cenários Tendencial e Normativo seriam realmente emitidas pelo desmatamento de florestas nativas. Na tabela 30 são apresentados os resultados dos custos totais de abatimento das emissões nos cenários futuros.

**Tabela 30. Estimativa dos custos de abatimento da redução de emissões pelas florestas plantadas nos Cenários Tendencial e Normativo.**

| Ano  | Cenário Tendencial                        |                         | Cenário Normativo                         |                         |
|------|-------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|
|      | Redução de emissões (M tCO <sub>2</sub> ) | Custos totais (Bi US\$) | Redução de emissões (M tCO <sub>2</sub> ) | Custos totais (Bi US\$) |
| 2020 | 49,6                                      | 0,7 - 1,6               | 95,3                                      | 1,3 - 3,1               |
| 2025 | 60,6                                      | 0,8 - 1,9               | 120,6                                     | 1,7 - 3,9               |

Fonte: elaboração própria.

Pode ser observado que o Cenário Normativo, por ser mais intensivo no crescimento e uso de florestas energéticas, precisará de uma maior quantia de recursos para sua implantação até 2025, ficando numa faixa de entre 1,3 e mais de 3 bilhões de dólares anuais no período 2020-2025.

No caso de possíveis receitas pela implantação de projetos de reflorestamento e florestamento no mercado Kyoto (MDL) ou no mercado voluntário, supondo como hipótese que somente 10% das reduções de emissões florestais (ver tabelas 21 e 23) sejam plausíveis de elegibilidade e considerando uma faixa de preço médio de entre 5 à 10 US\$/tCO<sub>2</sub> (valores atualmente pagos para este tipo de CERs), as receitas anuais, no Cenário Tendencial para 2020, seriam aproximadamente entre 49 e 99 milhões de dólares, e em 2025 entre 61 e 121 milhões de US\$. Para o Cenário Normativo, as receitas chegariam a faixa de US\$95-191 milhões em 2020, e entre US\$120 e US\$241 milhões, em 2025.

É importante destacar que estes resultados de valores são estimativas, que servem somente para ter uma ordem de grandeza dos custos e receitas associados às ações de mitigação das emissões de GEE no setor florestal com fins energéticos. Portanto, recomenda-se realizar estudos de viabilidade técnica-econômica da implantação destes cenários de expansão, que deverão refinar os valores aqui apresentados.

#### **6.4 - Conclusões**

No estado atual de déficit de superfícies de floresta plantada, pela menor taxa de plantio do que de uso, a oferta de madeira fica comprometida para a próxima década, em decorrência também do longo tempo de maturação dos projetos de reflorestamento. Portanto, torna-se indispensável a implementação de políticas públicas para maiores incentivos ao reflorestamento, acompanhado de aumento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) neste setor (EMBRAPA, 2009).

Por sua vez a expansão das florestas energéticas, que são culturas de períodos longos de maturação, enfrenta algumas barreiras, como acesso a maquinaria para a manutenção e colheita da madeira e investimentos de grandes volumes de recursos para a compra de terras. Os instrumentos de crédito e financiamento são fundamentais para o desenvolvimento da atividade florestal, principalmente por parte dos pequenos e médios produtores rurais. Atualmente o setor florestal brasileiro tem a seu dispor linhas de crédito para pequenos projetos florestais que são operacionalizadas por bancos públicos federais através da concessão por parte do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA). Dentro dos mecanismos de financiamento disponíveis para o setor de florestas plantadas no Brasil destacam-se: PROPFLORA, que é o Programa de Plantio Comercial e Recuperação de Florestas, desenvolvido pelo BNDES, o BB Florestal, que é o Programa de Investimento, Custeio e Comercialização Florestal do Banco do Brasil o qual visa à implantação e expansão da área de florestas destinadas ao uso industrial no país. Com o apoio de vários ministérios, o programa está voltado para toda cadeia do agronegócio, partindo dos mini e pequenos produtores da agricultura familiar até a agricultura empresarial, passando pelas cooperativas e empresas exportadoras do setor madeireiro. E o PRONAF Florestal, que é o Programa Nacional de Fortalecimento da

Agricultura Familiar Florestal resultante de uma parceria entre o Ministério do Meio Ambiente e o MDA. Dentro deste existem outros programas tais como o PRONAF ECO, lançado pela Secretaria de Agricultura Familiar do Ministério do Desenvolvimento Agrário (SAF/MDA), e o PRONAF Energia Renovável e Sustentabilidade Ambiental, que tem por finalidade financiar a implantação, utilização e/ou recuperação de tecnologias de energia renovável (energia eólica, solar e biomassa; mini-usinas de biocombustível; entre outras) (ABRAF, 2009). Conclui-se, para este ponto, que existem vários desafios a ser superados nos próximos anos para a implantação tanto do Cenário Tendencial como Normativo da expansão de novas florestas de eucalipto com fins energéticos nas diferentes regiões e estados do Brasil.

A biomassa florestal, representada pelo eucalipto, apresenta-se como uma fonte segura, perene e renovável de energia para os países tropicais, como o Brasil. Devido à imperiosa necessidade nacional de matéria-prima, não se encontrou, entre as inúmeras espécies nativas e algumas exóticas, qualquer outra que ocorresse com o eucalipto, pela perfeita adequação físico-química da madeira para os fins industriais, o rápido crescimento, a elevada produção de sementes, a resistência às pragas e doenças, a facilidade de tratamentos silviculturais e a grande plasticidade do gênero (FERREIRA, 2000).

Brasil é o único país no mundo que utiliza o CV na indústria siderúrgica. A substituição do CV não renovável ou carvão mineral pela utilização de CV renovável pode resultar em uma maior remoção de carbono no país, chegando num potencial de redução de 3 toneladas de CO<sub>2</sub> para cada tonelada de ferro processada na siderurgia (MMA, 2009). Este tipo de substituição considerará uma grande demanda de energia para produção de ferro-gusa, e que representa um impacto no uso da terra com fins de biocombustíveis nacionais.



Para um cenário de baixo carbono, com base na evolução recente e na expectativa do setor, segundo a PLANTAR (2009), e ainda diante de restrições ambientais mais rigorosas quanto ao uso de energéticos fósseis no país num horizonte não muito distante (PNMC, 2008), projetou-se que a relação de carvão vegetal na produção de ferro-gusa possa passar dos atuais 29% para 46% em 2030, assumindo que todo esse carvão novo e adicional seja originário de florestas plantadas. No caso dos resultados obtidos na presente dissertação, esta relação varia dependendo do cenário. Assim sendo, o Cenário Tendencial poderia chegar a fornecer, em 2025, carvão vegetal suficiente para produzir 41% do total de ferro-gusa no país. No caso do Cenário Normativo, esta oferta poderá atender 71% da produção total de ferro-gusa, no ano 2025. Observa-se, portanto, o potencial que tem a floresta energética de eucalipto de poder deslocar, não somente o CV não renovável, como, também, substituir parte da quantidade de carvão mineral utilizado na indústria siderúrgica nacional.

Do ponto de vista da oferta de matéria-prima para a produção de CV renovável (plantio de florestas energéticas), existiria um grande potencial positivo para o país, tanto no lado da sustentabilidade do desenvolvimento econômico-social como do lado ambiental e dos recursos naturais. Já que dentro das alternativas energéticas, a utilização de biomassa, quando corretamente planejada, provoca menores danos ao ambiente, sejam estes locais, regionais e/ou globais.

No aspecto global, o plantio de florestas no seu processo de crescimento, até chegar à sua maturidade de colheita, cria um estoque dinâmico de carbono absorvido da atmosfera e fixado na sua biomassa, além da produção e regeneração de oxigênio para a atmosfera. Este carbono fixado ou “recuperado” corresponderia ao carbono emitido nas etapas de carbonização e siderurgia. A produção de oxigênio serve para alimentar os reatores das etapas industriais da

siderurgia, o que converte as florestas como única entre todos os processos e tecnologias existentes no planeta.

Segundo os resultados de emissões/remoções de CO<sub>2</sub> obtidos para os dois cenários de expansão de florestas energéticas, objeto desta dissertação, e comparadas com as ações de mitigação (NAMAs) na indústria siderúrgica, assinaladas pelo governo Brasileiro para 2020, no que se refere à substituição de coque e carvão vegetal não renovável por carvão vegetal renovável, onde se estimam reduções entre 8 e 10 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (PNMC, 2010), pode se concluir que tanto o Cenário Tendencial como o Cenário Normativo são amplamente favoráveis, não somente na redução das emissões, como também nas remoções dos GEE em todo o processo de produção do ferro-gusa. Isto pode ser observado, já que em 2020 as remoções são estimadas entre 65 e 135 milhões de t de CO<sub>2</sub> para os dois cenários, sendo entre 6 e 13 vezes mais do que as reduções estimadas pelo PNMC.

As perspectivas do uso do MDL para premiar a produção de aço “verde” têm renovado o interesse pela siderurgia a CV, buscando-se tecnologias mais limpas e eficientes, incluindo a utilização de subprodutos (do alcatrão e dos gases efluentes). Estima-se que para cobrir a produção atual de gusa seria necessária uma área plantada de 3,3 milhões de hectares (EMBRAPA, 2009).

No que se refere aos impactos ambientais locais e regionais, a carbonização das florestas plantadas envolve a transformação da madeira em carvão vegetal (sólido) e a liberação de vapores e gases (alcatrão, licor pirolenhoso e gases não condensáveis). Este processo está praticamente livre de enxofre, evitando assim os compostos formadores da chuva ácida, como o SO<sub>2</sub> (SAMPAIO, 2004). Além disso, as florestas plantadas garantem a proteção das florestas nativas dentro do marco da Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente,

conservando, então, certas espécies da flora e fauna natural. Isto se dá principalmente pelo desvio da pressão sofrida pela mata nativa para extração da madeira para diferentes fins.

Os plantios florestais com fins energéticos, além de ajudarem na conservação da floresta nativa, trazem, também, vários benefícios econômicos e sociais. Isto, porque a tecnologia da conversão da biomassa utiliza de forma intensiva a mão-de-obra rural, estendendo-se ainda à utilização de capital para máquinas e equipamentos sofisticados. A manutenção da mão-de-obra local, fincada nas áreas rurais diminui a migração às periferias dos centros urbanos, e assim o cordão de pobreza nas cidades.

Portanto as atividades associadas à silvicultura, dentro do conceito de auto-sustentabilidade, aumentam a conservação dos ecossistemas naturais e elevam os ingressos das populações rurais, alçando sua qualidade de vida e movimentando a economia local. É importante assinalar que a silvicultura auto-sustentável deve cobrir, tanto os interesses privados como os interesses públicos (governos e dos povos camponeses), com o objetivo de criar benefícios mútuos, evitando conflitos pelo uso da terra.

Finalmente, pode-se dizer que o Brasil possui, no futuro próximo, uma grande oportunidade a nível mundial de se tornar em uma das economias mais respeitadas do meio ambiente e seus recursos naturais, sem necessidade de grandiosos esforços. O projeto da produção em grande escala do “aço verde” pelo governo atual, assinalada nas NAMAs, que inclui diretamente as florestas energéticas, poderá tornar a pegada ecológica, principalmente ao do carbono, da indústria siderúrgica nacional cada vez menos intensiva. Um exemplo disto pode ser a indústria automobilística, já que os carros de combustível flexível (*flexfuel*), que são movidos tanto a álcool quanto à gasolina ou a mistura dos dois, além de emitir menos CO<sub>2</sub> a atmosfera pela combustão, poderão ser construídos com base em chapas de “aço verde”, o que poderá

torná-los em carros estruturalmente mais “limpos”, que por sua vez implicará numa maior aceitação da sociedade e em uma melhor abertura de novos mercados internacionais.

Com isto, a produção florestal energética planejada poderá contribuir para o redimensionamento da matriz energética do país e, além disso, o Brasil terá mais uma alternativa para entrar numa economia de baixo carbono e ficar numa posição de destaque mundial em relação às ações contra as mudanças climáticas globais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N.; RODE'S, L.; ZULAUF, W.. 1989. *Um plano de reflorestamento diferencial para o Brasil: O plano Floram. Identificação de áreas para reflorestamento no espaço total do Brasil*. Coleção Documentos. Instituto de Estudos Avançados – IPEA – Universidade de São Paulo; 3a Série Ciências Ambientais, 30 p. il.

ABRAF - Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. 2009. *Anuário Estatístico da ABRAF: ano base 2008*. Brasília. 129 pg.

ADUAN, R.; VILELA, M.; DOS REIS, F.. 2004. *Os Grandes Ciclos Biogeoquímicos do Planeta*. Documentos 119. Embrapa Cerrados. Planaltina – DF. 25 pg.

AMS - Associação Mineira de Silvicultura. 2009. *Anuário Estatístico 2009*. 23 pg. Disponível em: <[www.silvminas.com.br](http://www.silvminas.com.br)>. Acessado em 20 jan. 2010.

AMS - Associação Mineira de Silvicultura. *Perspectivas e Tendências do Abastecimento de Madeira para a Indústria de Base Florestal no Brasil: Uma Contribuição à Construção e Acompanhamento dos Cenários Futuros*. 12 pg. Abril 2005.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. 2005. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. 2ª Edição. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/EdicaoLivros2005atlas.cfm>>

BANCO MUNDIAL. 2010(a). *Estudo de Baixo Carbono para o Brasil*. Departamento de Desenvolvimento Sustentável. Região da América Latina e Caribe. 280 pg.

BANCO MUNDIAL. 2010(b). *Estudo de Baixo Carbono para o Brasil. Sequestro de Carbono e Reflorestamento. Tema B. Relatório Técnico I*. Equipe Técnica: Iniciativa Verde, Osvaldo Stella Martins, Magno Castelo Branco, Renato Miazaki de Toledo. 43 pg.

BELOTI, S., 2008. *Carvão Vegetal*. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/carvao-vegetal-doc-doc-a7207.html>> Acesso em 25 janeiro de 2010.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2007. *Siderurgia: Dimensionamento do Potencial de Investimento*. Por Paulo Sergio Moreira da Fonseca, Marcos D'Abreu Alecrim e Marcelo Machado da Silva. 28 pg.

BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel. 2010. *Contribuição da Indústria Florestal na Mitigação das Mudanças do Clima*. CONGRESSO MADEIRA 2010. Elizabeth de Carvalhaes. 23 de Junho, 2010. São Paulo, Brasil

BRASIL. 2005. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Plano Nacional de Agroenergia*. Brasília, DF. 120 p.

CAMPOS, C.; MUYLAERT, M.; ROSA, L. P.. 2005. *Historical CO<sub>2</sub> emission and concentrations due to land use change of croplands and pastures by country*. Science of the Total Environment, 3 – 2005

CARNEIRO, A. de C. O. 2007. Seminário Florestas Plantadas. *Qualidade da madeira e tecnologias para produção de carvão vegetal*. Campo Grande – MS. Disponível em: <<http://www.reflore.com.br/palestras/QualidadeDaMadeiraETecnologiasParaProducaoDeCarvaoVegetal.pdf>>

CASTANHO FILHO, E. P.. 2008. *Florestas e Bioenergia*. Disponível em <<http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=242>>. Acesso em 8 de dezembro de 2008.

CERRI, C. E.; CERRI, C.C.. 2006. *Agricultura e Aquecimento Global*. Centro de Energia Nuclear na Agricultura e Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo – USP. São Paulo. 9 pg.

COLLABORATIVE PARTNERSHIP ON FORESTS. 2008. *Strategic framework for forests and climate change*. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/16639-1-0.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2010.

CORVALAN, P. 2006. *Etanol a partir de la madera de Pino Insigne: ¿Es posible la sustitución del petróleo a Partir de la biomasa?*. Ambiente Forestal. Revista de Extensión. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Año 1, Nº 2. pag 8-9.

DA SILVA, H. D. 2008. *O projeto Florestas Energéticas*. Disponível em: <[http://painelflorestal.com.br/exibeNews.php?id=1359&cod\\_editorial=&url=news.php&pag=0&busca=>](http://painelflorestal.com.br/exibeNews.php?id=1359&cod_editorial=&url=news.php&pag=0&busca=>)>. Acessado em 4 de dezembro de 2008.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2009. Florestas energéticas. Inovação para Sustentabilidade. Embrapa Agroenergia / Florestas. MAPA. Brasil. 11 pg.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2010. *Evaluación de los recursos forestales mundiales. Principales Resultados*. Roma, Itália. 12 p.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2006. *Global Forest Resources Assessment 2005: Main Report*. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/008/a0400e/a0400e00.htm>>. Acesso em 18 nov. 2008.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2008. *Bosques y Energia: Cuestiones Claves*. ESTUDIO FAO: MONTES nº154. Roma, Itália. 86 p.

FAO - United Nations Food and Agriculture Programme, 2007. *State of the World's Forests*. 144 pg.

FEARNSIDE, P. M. 2008. *Florestas Energéticas*. Painei Florestal. Disponível em: <[http://painelflorestal.com.br/exibeNews.php?id=1435&cod\\_editorial=&url=news.php&pag=0&busca=](http://painelflorestal.com.br/exibeNews.php?id=1435&cod_editorial=&url=news.php&pag=0&busca=)>. Acessado em 2 de dezembro de 2008.

FERREIRA, O. C. 2000. *Emissão de Gases de Efeito Estufa na Produção e Consumo do Carvão Vegetal na Siderurgia*. Economia & Energia. N°20, Maio/Junho de 2000. Disponível em <<http://ecen.com/eee20/emiscar2.htm>>. Acessado em 25 de out. 2009.

FIRJAN – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. 2009. *Silvicultura Econômica no Estado do Rio de Janeiro*. Estudos de Desenvolvimento para o Estado do Rio de Janeiro. N° 5, 16 pg.

FONSECA, F. H.. 2009. *Obstáculos ao desenvolvimento do setor florestal para a produção de biomassa para energia*. 1º. Congresso Brasileiro de Florestas Energéticas, Belo Horizonte, 2 a 5 de junho de 2009.

HALL, D.O.; RAO, K. K.. 1999. *Photosynthesis* (Studies in Biology). Cambridge: Cambridge University 6th edn. 214 pp.

HENRIQUES, M. 2010. *Potencial de Redução de Emissão de Gases de Efeito Estufa pelo Uso de Energia no Setor Industrial Brasileiro*. Tese (Doutorado). Programa de Planejamento Energético – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. 309 p.

IAB - Instituto Aço Brasil. 2009. *Relatório de Sustentabilidade 2009*. 69 pg.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura*. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=291&z=p&o=24&i=P>>

IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia. 2008. 1º Encontro Nacional de Siderurgia. *Siderurgia em Foco* n°8, 6 pag. Disponível em: <[http://www.ibs.org.br/siderurgiaemfoco%5CSiderurgia\\_Foco\\_jun08\\_IBS.pdf](http://www.ibs.org.br/siderurgiaemfoco%5CSiderurgia_Foco_jun08_IBS.pdf)>. Acesso em 20 nov. 2009.

IEA – International Energy Agency. 2006. *World Energy Outlook 2006*. París, Francia.

IEA – International Energy Agency. 2007. *Renewables in global energy supply*. París, Francia. Disponível em: <[www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable\\_factsheet.pdf](http://www.iea.org/textbase/papers/2006/renewable_factsheet.pdf)>

INT - Instituto Nacional de Tecnologia. 2009. *Mudanças Climáticas e Tecnologia*. Cadernos de Tecnologia nº2. Rio de Janeiro. 72 pg.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf)>. Acesso em: 30 set. 2009.

IVIG - Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais. 2001. *Contribuição Históricas de Gases de Efeito Estufa - GEE*. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

IVIG - Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais. 2008. *Contribuição da Base Florestal ao Ciclo do Carbono*. Câmara Técnica de Energia e Mudança do Clima do CEBDS, COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. 60 pg.

LADEIRA, B. C.. 1999. Crescimento, produção de biomassa e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp. sob três espaçamentos, em uma seqüência de idades. Viçosa: UFV.

LA ROVERE, E. L.. *Cenários de Emissões*. Seminário de Disseminação dos Relatórios do Grupo de Trabalho III do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro, 5 de julho de 2002.

LIMA, C. R.; BAJAY, S. V. A. 2000. *Reposição florestal obrigatória e o planejamento energético regional*. Revista Baiana de Tecnologia – TECBAHIA. EDITEC, Camaçari. 1(15): 140-144.

MARCOVITCH, J. *Mitigação de gases de efeito estufa : a experiência setorial e regional no Brasil*. São Paulo. FEA/USP, 2009. 120 p. Disponível em: <[http://www.usp.br/mudarfuturo/2009/pdf/09\\_05\\_22\\_cap2.pdf](http://www.usp.br/mudarfuturo/2009/pdf/09_05_22_cap2.pdf)>

MARLI. 2008. Disponível em: <<http://www.florestasenergeticas.cnptia.embrapa.br/estado-da-arte/projeto-de-gestao/>>. Acesso em 17 de novembro de 2008.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006a. *Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Emissões e Remoções de Dióxido de Carbono por Conversão de Florestas e Abandono de Terras Cultivadas*.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia, 2006b. *Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Emissões e Remoções de Dióxido de Carbono por Mudanças nos Estoques de Florestas Plantadas*.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. *Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Informações Gerais e Valores Preliminares*, 2009.



MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. 2010. *Segunda Comunicação Nacional do Brasil a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. Brasília – DF. Brasil.

MELLO et al, 2009. *Competitividade e Sustentabilidade Ambiental da Siderurgia Brasileira*.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. 2009. *Contribuições Brasileiras para a mitigação das mudanças climáticas*. Governo do Brasil. 24 pg.

MÜLLER, M. D.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; BRITO, J. O. 2005. *Avaliação de um Clone de Eucalipto Estabelecido em Diferentes Densidades de Plantio para Produção de Biomassa e Energia*. RENABIO. Biomassa & Energia, v.2, n.3, pág. 177-186.

NAE - Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. 2005. *Mudança do Clima, Volume II, Mercado de Carbono. Caderno NAE nº4, (abril 2005)*. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação de Governo e Gestão Estratégica. Brasília – DF. Brasil. 502 p.

NASSAR, A., HARFUCH, L., MOREIRA, M., CHIODI, L. e ANTONIAZZI, L. 2010. *Estudo de Baixo Carbono para o Brasil Modelagem do Uso do Solo*. Relatório Final. Instituto do Comercio e Negociações Internacionais – ICONE. Brasil. 83 p.

NEEF, T., EICHLER, L., DEECKE, I. & FEHSE, J. 2007. Actualización sobre los mercados para compensaciones forestales para la mitigación del cambio climático. Turrialba, C.R: CATIE. 42 p.

OBERLING, D. F.. 2008. *Avaliação Ambiental Estratégica da Expansão de Etanol no Brasil: uma Proposta Metodológica e sua Aplicação Preliminar*. Dissertação (Mestrado). Programa de Planejamento Energético – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro. 214 p.

PATUSCO, J. A. M. 1988. COBEN 05/88. Balanço Energético Nacional - BEN 1988.

PHILIPS, O.; ARAGÃO, L.; LEWIS, S.; FISHER, J.; LLOYD, J.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, G. e MALHI, Y. 2009. *Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest*. SCIENCE. Vol. 323. Pg 1344 – 1347.

PIKETTY, M. G., WICHERTC, M., FALLOT, A., AIMOLA, L.. 2009. *Assessing land availability to produce biomass for energy: The case of Brazilian charcoal for steel making. biomass and bioenergy*. nº33, pag 180–190.

PLANTAR S.A. 2007. *Formulário do documento de concepção do projeto para atividades de projetos de florestamento e reflorestamento (CDM-AR-PDD)*. Mitigação de emissões de Metano na Produção de Carvão Vegetal da Plantar Brasil, Versão 3. 227 pg.

PLANTAR S.A. 2009. *Formulário do documento de concepção do projeto para atividades de projetos de florestamento e reflorestamento (CDM-AR-PDD)*. Reflorestamento como Fonte Renovável de Suprimento de Madeira para Uso Industrial no Brasil, Versão 3. 231 pg.

PNMC – Plano Nacional de Mudanças Climáticas. 2008. Governo Federal. Comitê Interministerial Sobre Mudança do Clima. Decreto nº 6.263 de 21 de novembro de 2007. Brasília. Brasil.

POGGIANI, F. 1989. *Estrutura, funcionamento e classificação das florestas: implicações ecológicas das florestas plantadas*. Documentos Florestais. Piracicaba-SP.

RAMAGE, J.; SCURLOCK, J. 1996. Biomass. In: BOYLE, G. (Ed.). *Renewable energy: power for a sustainable future*. Oxford: Oxford University Press, cap. 4, pág.137-182.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, L. C.. 1999. *Aptidão agrícola das terras do Brasil: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos.

RODRIGUES, R. 2008. *Florestas energéticas: de volta ao futuro*. Disponível em: <[http://painelflorestal.com.br/exibeNews.php?id=1358&cod\\_editorial=&url=news.php&pag=0&busca=>](http://painelflorestal.com.br/exibeNews.php?id=1358&cod_editorial=&url=news.php&pag=0&busca=>)>. Acessado em 4 de dezembro de 2008.

ROSA, R.; MESSIAS, R.; AMBROZINI, B. 2003. *Importância da Compreensão dos Ciclos Biogeoquímicos para o Desenvolvimento Sustentável*. Instituto de Química de São Paulo. Universidade de São Paulo – USP. São Carlos. 56 pg.

ROXO, C. A. 2003. *Proposta de agenda do setor brasileiro de florestas plantadas*. Seminário “A Questão Florestal e o Desenvolvimento”, Brasília, 8 de julho de 2003.

SAMPAIO, R. S. 2003. Projeto Plantar. Emissões na etapa de carbonização. Relatório Final. RS Consultants. 14 pg.

SAMPAIO, R. S., 2008. *Estudo Prospectivo do Setor Siderúrgico: Biomassa para Siderurgia*. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. 18 pg.

SAMPAIO, R. S.. *Agente Redutor na Produção de Metais – Exemplo do Eucalipto na Produção de Ferro-Gusa*. Biomassa & Energia, v. 1, n. 2, p. 145-155, 2004. RENABIO.

SCHLESINGER, W. H. 1997. *Biogeochemistry: an analysis of global change*. 2nd. ed. San Diego: Academic Press. 588 pg.

SEIXAS, F.; COUTO, L.; RUMMER, R. B. 2006. *Harvesting Short-Rotation Woody Crops (Srwc) For Energy*. RENABIO. Biomassa & Energia, v.3, n.1, pág. 1-16.

SIEMENS, 2009. “*Maior Alto-forno da Índia Entra em Funcionamento na JSW Steel*”. Metalurgia, Processos e Tecnologias – MPT, edição brasileira 3/2009, pp. 20-21.

SINDIFER - Sindicato das Indústrias de Ferro de Minas Gerais. Disponível em:

<http://www.sindifer.com.br/inst.html>. Acessado em 12 Dez 2009.

SMEETS, E.; FAAIJ, A.; LEWANDOWSKI, I. 2005. *Global Land Use Patterns and the Production of Bioenergy to 2050*. Utrecht University, Department of Science, Technology and Society, Copernicus Institute for Sustainable Development and Innovation. Heidelberglaan 2, 3508 TC Utrecht, The Netherlands.

TREXLER, M. C.; HAUGEN, C.. 1995. *Keeping it green: tropical forestry opportunities for mitigating climate change*. Washington, DC: World Resources Institute.