UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU

CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS

MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ANÁLISE QUALIQUANTITATIVA DO BALANÇO DE CARBONO EM EMPRESA DO SETOR FLORESTAL DESTINADA À PRODUÇÃO DE MOLDURAS

MÁRCIO PENTEADO GEROMINI

BLUMENAU

2004

MÁRCIO PENTEADO GEROMINI

ANÁLISE QUALIQUANTITATIVA DO BALANÇO DE CARBONO EM EMPRESA DO SETOR FLORESTAL DESTINADA À PRODUÇÃO DE MOLDURAS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Regional de Blumenau como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Nelson Yoshihiro Nakajima

BLUMENAU

2004

MÁRCIO PENTEADO GEROMINI

ANÁLISE QUALIQUANTITATIVA DO BALANÇO DE CARBONO EM EMPRESA DO SETOR FLORESTAL DESTINADA À PRODUÇÃO DE MOLDURAS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental na Universidade Regional de Blumenau - FURB, pela comissão formada pelos professores:

Prof. Dr. Nélson Yoshihiro Nakajima - FURB
Orientador

Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa - UFPR
Examinador

Prof. Dr. Masato Kobiyama - UFSC
Examinador

Prof. Dr. Marcelo Diniz Vitorino - FURB
Examinador

Blumenau, 31 de agosto de 2004

À minha filha Júlia, por sua delicadeza e por seus beijos na saída para o trabalho e ao chegar dele e ao meu filho Felipe, que nasceu na fase final deste projeto e trouxe ainda mais luz para mim, para a Flávia e para a Júlia.

Dedico à minha esposa Flávia, minha amiga, que com muita coragem e paciência me apoiou nesta caminhada. Caminhada que não foi fácil, com muitas curvas e mudanças de rumo, mas que conseguimos sair mais uma vez vitoriosos e com energia para buscarmos novas estradas.

Dedico aos meus pais que me deram a maior herança que se pode ter, a educação, amor e carinho que nunca economizaram, e pelo esforço sem limites e incondicional que alocaram para minha formação como pessoa e profissional.

Aos meus irmãos Flávio e Estela, por serem meus irmãos e amigos em todos os momentos de nossas vidas.

Obrigado, meu Deus, por esta jornada que, com muita alegria e muito amor, dedico a estas pessoas tão iluminadas que fazem parte de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradecer e escolher a quem agradecer não é tarefa fácil, talvez por que os merecedores são muitos e o risco do esquecimento pode magoar quem de alguma maneira me ajudou neste projeto.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao meu tio Jaime e à minha tia Zilna, que nunca negaram esforços para me prestar auxílio enquanto eu morava em Curitiba, à minha tia que, intencionalmente ou não, me despertou interesse pela área florestal e ao meu tio Jaime pelas moquecas domingueiras que acabaram se tornando um dos pratos que mais gosto de fazer e de saborear.

Ao meu amigo Carlos Sette Júnior, estagiário e futuro Engenheiro Florestal, que foi peça chave na execução dos trabalhos de campo e no desenvolvimento e apresentação desta dissertação.

Ao Professor Nelson Nakajima, que com todo seu conhecimento e experiência sempre esteve presente nas dúvidas e direcionamentos do trabalho.

A todos meus amigos da Terranova que auxiliaram neste projeto, especialmente ao Vaider, Luciano, Renato, Fontana, Germano, Vilmar, Fausto, Rodrigo e Sérgio.

À Terranova, por acreditar no trabalho e disponibilizar recursos para sua execução.

Aos colegas Reinaldo e Ribas da Mobasa.

Ao pessoal da EPAGRI de Caçador.

Ao co-orientador Jorge Alberto Muller.

Aos professores da Engenharia Ambiental que me ajudaram a entender um pouco mais sobre a complexidade que é o meio ambiente.

RESUMO

Os problemas ambientais que se apresentam nos dias de hoje e que direcionam para um futuro insustentável para todo o mundo são gerados pelo próprio homem, que para sua subsistência e principalmente para seu bem estar, necessita de forma infinita de recursos que possam lhe satisfazer e lhe proporcionar estabilidade em seu ciclo vital. Esta situação insustentável, próxima ao caos, despertou na humanidade uma nova realidade, onde os passivos e impactos ambientais atuais deixados por nossos ascendentes começaram a servir de alerta, principalmente quando se pensa na herança para nossos filhos. Este estudo tem como objetivo demonstrar que para um problema ambiental, a busca do conhecimento sistêmico e a apresentação de diversas formas de atuação são a base para que se possam alcançar novas formas de desenvolvimento visando o uso sustentável dos recursos naturais. Neste trabalho a captura de carbono pelos plantios é considerada como uma parte do balanço e não como resultado final do processo. Os resultados encontrados demonstram que a influência das emissões geradas pelos subprodutos gerados no processo quase anulam o trabalho de captura realizado pelos reflorestamentos (quando não há novo plantio do que foi colhido), apresentando apenas um saldo positivo de 8,23 % do que foi capturado pelas árvores. Se houver reposição do que foi colhido, o resultado final será uma armazenagem (é o que realmente se retira de CO_2 da atmosfera) equivalente a 53,83% da quantidade de CO_2 que entrou no processo industrial através da madeira me tora. Desta forma o estudo demonstra que a questão ambiental efeito estufa tem que ser estudada sempre de forma sistêmica, analisando-se todos os componentes do processo, visando obter resultados consistentes e que represente ciclos de longo prazo.

Palavras-chave: Carbono. Captura. Emissão.

ABSTRACT

The environmental problems that have appeared nowadays and that direct to provisions of a unsustainable future for all the world are created by the actions of the own man who, for his subsistence and mainly for his well being, needs, in a intensive way, goods which can give him satisfaction and allow stability in his lifetime. This uncomfortable situation, near to the chaos, originated a new reality in the last decades in making, where the real impacts of the environment legated by our ancestors began to worry all the people specially those who think in which to inherit to his descendents. This work has a objective to show that, for an environment problem, the search of a systemic knowledge and the possibilities of action are basic principles to reach effective results that direct to new kinds of development that permit to aim the sustainable use of the natural resources. In this work the carbon's arrest by the forests is considered like a part of the stock and not as a final result of the activities in trees plantations.

The final results show that the emission's influence created by the subproduct of the process almost annul the arrest's work made by the forests (when doesn't occur a new crop from what was gathered in the year), just revealing a positive balance about 8.23% from the real amount arrested by the trees. If occurs the replacement of the harvest, the final result will be a carbon stock equivalent to 53,83% from the carbon amount that was used in the industrial process**.** So, this work shows that the environment subject greenhouse effects has to be studied always in a systemic way, analyzing all the components of the process, intending to get consistent results that represents long term cycles.

Key-words: Carbon. Capture. Emissions.

SUMÁRIO

LISTA DE GRÁFICOS 11

LISTA DE FIGURAS 12

LISTA DE TABELAS 13

1 INTRODUÇÃO 17

2 OBJETIVO 19

2.1 OBJETIVOS SECUNDÁRIOS 20

3 REVISÃO DE LITERATURA 20

3.1 EFEITO ESTUFA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS 20

3.1.1 Emissões de gás carbônico 20

3.1.2 Conseqüências das emissões de gás carbônico 29

3.2 CONVENÇÃO DO CLIMA 31

3.3 PROTOCOLO DE QUIOTO 31

3.4 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO - MDL 33

3.5 CRÉDITO DE CARBONO 40

3.6 METODOLOGIA PARA INVENTÁRIO DE EMISSÕES DOS GASES EFEITO ESTUFA 41

3.6.1 Inventário de fontes móveis 42

3.6.2 Método top-down 43

3.6.3 Método bottom-up 44

3.7 DISTRIBUIÇÃO NATURAL DA ESPÉCIE *Pinus taeda* 45

3.8 DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE *Pinus taeda* 45

3.9 CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA ESPÉCIE *Pinus taeda* 46

3.10 BIOMASSA 47

3.10.1 Método direto 48

3.10.2 Método indireto 48

3.11 DENSIDADE BÁSICA 49

3.12 ESTIMATIVA DO CARBONO ORGÂNICO EM ALGUMAS TIPOLOGIAS FLORESTAIS 49

3.13 CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS 55

4 **MATERIAL E MÉTODOS** 59

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 59

4.1.1 Clima 60

4.1.2 Hidrografia 61

4.1.3 Solos 63

4.2 SISTEMA ESTUDADO 63

4.3 METODOLOGIA ADOTADA PARA O CÁLCULO DA CAPTURA DE CARBONO 64

4.3.1 Inventário florestal 64

4.3.2 Índice de sítio. 65

4.3.3 Definição das partes da árvore a serem quantificadas 66

4.3.4 Sistemática de coleta de dados 66

4.3.5 Determinação da densidade 69

4.3.6 Determinação da biomassa 70

4.3.7 Obtenção das amostras para análise de carbono 70

4.3.8 Determinação do carbono orgânico 71

4.3.9 Determinação do fator carbono 73

4.4 METODOLOGIA ADOTADA PARA CÁLCULO DA EMISSÃO DE CARBONO 73

4.4.1 Medição direta nos pontos de emissão 73

4.4.2 Cálculo de emissão através dos fatores da Guidelines for National Greenhouse Gás Inventories 75

4.5 METODOLOGIA ADOTADA PARA O CÁLCULO DO BALANÇO DE CARBONO 76

4.5.1 Determinação da quantidade de carbono nos produtos acabados, no cavaco, na madeira cepilhada e na madeira rústica 77

4.5.2 Estimativa de Incremento de Carbono 78

4.5.3 Determinação da quantidade de cepilho e serragem 79

4.5.4 Emissão pela caldeira 79

4.5.5 Emissões pelas atividades florestais e industriais 79

5 RESULTADOS 80

5.1 ESTRATIFICAÇÃO 80

5.2 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA 80

5.3 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS 81

5.4 DENSIDADE E PORCENTAGEM DE CARBONO 81

5.4.1 Valores de densidade e carbono 81

5.4.2 Análise dos dados de densidade por idade 87

5.4.3 Resultado da densidade por terço da árvore analisado 90

5.4.4 Resultado da porcentagem de carbono por idade 92

5.4.5 Porcentagem de carbono por índice de sítio 96

5.4.6 Fator carbono e fator de CO_2 97

5.4.7 Porcentagem de carbono na casca 98

5.5 ESTIMATIVA DO INCREMENTO DE CARBONO POR IDADE 99

5.6 EMISSÕES 100

5.7 BALANÇO DE CARBONO 102

5.8 CO_2 ARMAZENADO ANUALMENTE 103

5.9 FATOR EMISSÃO DE CO_2 104

5.10 BALANÇO DE MASSA 105

5.11 CÁLCULO DE EMISSÃO PELO MÉTODO DIRETO E COMPARAÇÃO COM O FATOR GREENHOUSE 106

6 CONCLUSÕES 109

7 RECOMENDAÇÕES 112

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 113

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Aumento da concentração de CO_2 na atmosfera 21

Gráfico 2 - Contribuição relativa de gases provenientes de atividades antrópicas ao efeito estufa 22

Gráfico 3 - Produção global de CO_2 25

Gráfico 4 - Temperatura do globo terrestre - limites inferior e superior 29

Gráfico 5 - Elevação do nível do mar - limites inferior e superior 30

Gráfico 6 - Densidade média dos terços inferior (TI), terço médio (TM) e terço superior (TS) 91

Gráfico 7 - Porcentagem de carbono por idade 92

Gráfico 8 - Porcentagem de carbono por índice de sítio 96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeção das emissões de CO_2 para 2010 22

Figura 2 - Processos específicos do solo que afetam o destino do retorno da biomassa de C orgânico para o solo.....56

Figura 3 – Área em estudo 60

Figura 3 – Grande bacia hidrográfica do Paraná 62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fontes de Emissão de CO2 22

Tabela 2 - Setores responsáveis pelas emissões de CO2 23

Tabela 3 - Emissões de CO2 provenientes da produção de diversos produtos 24

Tabela 4 - Emissões de CO2 derivados do consumo de combustíveis fósseis nos setores de consumo de energia 26

Tabela 5 - Emissões totais de CO2 pelos solos devido às mudanças no uso da terra e manejo agrícola 27

Tabela 6 - Principais países emissores de CO2 em 1997 27

Tabela 7 - Produtividade do gênero Pinus para diferentes idades 47

Tabela 8 - Estoque de biomassa e carbono orgânico em Pinus taeda 50

Tabela 9 - Estoque de carbono nos componentes da biomassa de eucalipto (Mg ha) 51

Tabela 10 - Estimativa de carbono fixado pelas florestas do gênero Pinus 51

Tabela 11 - Dados médio de biomassa e de carbono orgânico (Kg árvore) estocados em diferentes estratos do clone IAN 873 de seringueira 53

Tabela 12 - Estimativas de biomassa e CO em diferentes idades de *Acacia mearnsi* 53

Tabela 13 - Conteúdo de carbono (Mg) em produtos florestais brasileiros - 2002 54

Tabela 14 - Teor de carbono orgânico do solo em plantações florestais, nativas e exóticas no estado do paraná 57

Tabela 15 - Teor de carbono orgânico do solo em plantações florestais, nativas e exóticas, no estado do Rio Grande do Sul....58

Tabela 16 - Precipitações em 2002 e 2003 (mm) 61

Tabela 17 - Estratos estabelecidos no estudo 68

Tabela 18 - Pontos de emissão medidos diretamente 74

Tabela 19 - Estratificação por idade e índice de sítio 80

Tabela 20 - Relação hipsométrica 81

Tabela 21 - Relação dos parâmetros dendrométricos dos povoamentos de *Pinus taeda* 81

Tabela 22 - Densidade e porcentagem de carbono para florestas de 05 anos 82

Tabela 23 - Densidade e porcentagem de carbono para florestas de 12 anos 83

Tabela 24 - Densidade e porcentagem de carbono para florestas de 14 anos 83

Tabela 25 - Densidade e porcentagem de carbono para florestas de 18 anos 84

Tabela 26 - Densidade e porcentagem de carbono para florestas de 25 anos 84

Tabela 27 - Densidade e porcentagem de carbono para florestas de 26 anos 85

Tabela 28 - Resumo da densidade por idade 87

Tabela 29 - Resumo estatístico (densidade em Kg/m³ por idade) 87

Tabela 30 - Anova 88

Tabela 31 - Comparações múltiplas de Tukey-Kramer 88

Tabela 32 - Resumo estatístico (26 anos) 91

Tabela 33 - ANOVA 91

Tabela 34 - Resumo estatístico 92

Tabela 35 - ANOVA 92

Tanela 36 - Resumo estatístico 93

Tabela 37 - ANOVA 93

Tabela 38 - Comparação múltipla de Tukey-Kramer 93

Tabela 39 - Resumo estatístico 97

Tabela 40 - ANOVA 97

Tabela 41 - Fator de carbono e de dióxido de carbono por m³ de madeira 98

Tabela 42 - Porcentagem de carbono na casca por idade 98

Tabela 43 - Estatística descritiva 99

Tabela 44 - Incremento de CO_2 por hectare 100

Tabela 45 - Emissão de CO_2 pelas atividades florestais 101

Tabela 46 - Emissão de CO_2 pelas atividades industriais 102

Tabela 47 - Balanço de carbono 103

Tabela 48 - Saldo final de CO_2 por ano (toneladas) 104

Tabela 49 - Quantidade de CO_2 emitido por tonelada de CO_2 capturado 104

Tabela 50 - Balanço de massa 105

Tabela 51 - Emissão direta pelas máquinas da colheita florestal 106

Tabela 52 - Emissão direta pelas máquinas da colheita florestal 107

Tabela 53 - Estatística descritiva da escavadeira hidráulica modelo 312 107

Tabela 54 - Resumo da estatística descritiva 108

1 INTRODUÇÃO

A relação entre a sociedade e a natureza, principalmente após a revolução industrial, no século XVIII, foi marcada pela exploração predatória dos recursos naturais, não se respeitando a capacidade regenerativa e assimilativa do meio ambiente. Com os impactos ambientais e as conseqüências destes cada vez mais perceptíveis na sociedade, surge a necessidade de uma nova visão, um novo modelo de desenvolvimento e conscientização. O termo desenvolvimento sustentável explica bem esta nova visão da relação homem e natureza, desenvolver o presente, porém deixar condições para as gerações futuras também se desenvolverem.

Nas últimas décadas começaram a surgir várias questões ambientais nas mais diversas esferas (local, regional e global), sempre resultantes ou aceleradas pelas ações antrópicas no meio ambiente, gerando conflitos e iniciando questionamentos e posicionamentos que colocam em dúvida o próprio conceito de desenvolvimento sustentável.

Os principais problemas ambientais globais atuais são: a chuva ácida, o efeito estufa e a própria guerra, entre outros, que, de acordo com suas abrangências e intensidades, podem proporcionar impactos ambientais, sociais e econômicos de difícil reversibilidade.

O presente estudo é relacionado ao problema ambiental "efeito estufa", termo muito utilizado atualmente e que vem tomando grande importância no cenário mundial, devido às mudanças climáticas e as oportunidades ambientais, sociais e econômicas que desperta.

Durante a década de 80, houve uma intensificação das pesquisas científicas sobre mudanças climáticas. Tornou-se cada vez mais evidente que um dos principais problemas ambientais a serem enfrentados é a intensificação do processo natural de aquecimento global denominado efeito estufa pela emissão desenfreada de gases, principalmente o gás carbônico (CO_2), oriundo de atividades antrópicas, principalmente as relacionadas à queima de combustíveis fósseis (petróleo) e ao desflorestamento.

O volume de pesquisas levou à formação do Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas, IPCC em 1988, organizado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA e Organização Meteorológica Mundial - OMM.

Reconhecendo as alterações climáticas como "uma preocupação comum da humanidade", governos, cientistas, organizações não governamentais se reuniram com base no

IPCC, para discutir a questão, propuseram-se a elaborar uma estratégia global para "proteger o sistema climático para gerações presentes e futuras".

Vários encontros internacionais denominados Conferências das Partes - COP foram realizados, porém a de maior relevância foi a Conferência realizada no Japão, na cidade de Kyoto. Deste encontro nasceu o chamado protocolo de Kyoto que estabelece metas de redução dos gases do efeito estufa para os principais países poluidores do mundo.

O protocolo estabelece ainda mecanismos de flexibilização com a finalidade de possibilitar o cumprimento das metas de redução das emissões. Um dos mecanismos estabelecidos é o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, que segundo os artigos 12.2 e 12.3 do Protocolo, tem por objetivo assistir os países não incluídos no Anexo I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final de reduções, e assistir os países incluídos no Anexo I (basicamente países "desenvolvidos") para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões.

São contempladas ações e programas para redução de emissões de gases efeito estufa, através da adoção de novas tecnologias, bem como a retirada da atmosfera de quantias excedentes destes gases através da captura e fixação dos mesmos da atmosfera, executando projetos como os de reflorestamentos.

O Protocolo abre novas oportunidades de negócios, seja no âmbito nacional ou internacional através de commodities ambientais que são avaliadas pela quantidade de toneladas de gases do efeito estufa que são evitadas, reduzidas ou fixadas pelos projetos implantados, bem como outros valores em benefícios ambientais, sociais e econômicos gerados pelo projeto.

Os projetos implantados no setor florestal são valorados com base na quantidade acumulada de carbono fixado pelas árvores. Segundo Schumacher (2000) o estoque médio de carbono fixado em um plantio de *Pinus taeda* é de 79 Mg ha^{-1} com rotação de 20 anos.

Diante deste panorama de alterações climáticas e conseqüentes impactos em todo o planeta, o homem se vê na necessidade de buscar alternativas para reverter este processo que por ele mesmo foi provocado.

As intenções e ações de fato, devem partir de todas as áreas da sociedade, através de parcerias e realização de trabalhos científicos e operacionais de caráter sério e sistêmico, levando-se sempre em consideração as questões sociais, ambientais e econômicas.

Com relação à capacidade de captura de carbono por diferentes espécies florestais, já existem alguns trabalhos que fornecem informações confiáveis e outros estão em andamento. Este estudo, além de abordar o tema de captura de carbono por espécie florestal, inclui uma outra variável tão importante quanto à captura. Esta variável é a emissão de carbono durante os processos florestais e os processos industriais de beneficiamento de madeira.

O conhecimento da captura e das emissões de dióxido de carbono poderá dizer o quanto realmente se armazenou de carbono durante o processo, e este armazenamento de carbono no produto acabado poderá indicar qual será o resultado do processo, ou seja, se gera um impacto positivo ou negativo ao efeito estufa.

Este trabalho foi desenvolvido basicamente através de duas sistemáticas de obtenção de dados:

a) quantificação da captura de CO_2 das florestas de pinus em distintas idades (05, 12, 14, 18, 25 e 26 anos);

b) quantificação das emissões de CO_2 resultantes de todo o processo florestal e industrial desde a semeadura até a disponibilização do produto acabado no pátio da empresa.

Espera-se que este projeto sirva como base de informações para definição de projetos futuros, visando à redução nas emissões dos gases do efeito estufa e à obtenção de retornos econômicos através do Protocolo de Quioto ou alternativas que possam vir a se concretizar nos panoramas nacional e internacional.

2 OBJETIVO

Obter o balanço entre a quantidade de carbono armazenada pelos plantios de *Pinus taeda* e a quantidade de carbono emitida pelos processos florestal e industrial desde a semeadura até a obtenção do produto acabado na empresa.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Pesquisar a variabilidade da densidade da madeira em várias situações de idade e manejo;
b) Pesquisar a variação da densidade dentro da árvore, no sentido longitudinal;
c) Pesquisar a influência do sítio e da idade sobre a porcentagem de carbono;
d) Obter fatores de conversão de volume de madeira em pé para tonelada de carbono e de dióxido de carbono nas diferentes idades em estudo;
e) Pesquisar quais atividades do processo florestal e industrial são as principais emissoras de CO_2;
f) Estabelecer comparações entre o método do protocolo de gás e o método direto adotado no estudo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 EFEITO ESTUFA E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

3.1.1 Emissões de Gás Carbônico

A atmosfera tem uma composição bastante homogênea, principalmente em seus primeiros 96 km, sendo composta predominantemente por nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2), perfazendo em conjunto, 99%.

Vários outros gases encontram-se presentes em pequenas quantidades e, naturalmente, constituem os conhecidos gases do efeito estufa - GEE, como o dióxido de carbono (CO_2), ozônio (O_3), metano (CH_4) e óxido nitroso (NH_3), juntamente com o vapor d'água, apresentam a propriedade de reter o calor.

Atenção prioritária tem sido dada ao dióxido de carbono (CO_2), uma vez que o volume de suas emissões para a atmosfera representa algo em torno de 60% do total das emissões dos GEE e o tempo de sua permanência na atmosfera é de pelo menos 100 anos".(BNDES, 1999,

p.1). No gráfico 1 pode-se observar a evolução das concentrações de dióxido de carbono em um período de 140 anos.

O CO_2 distribuído na atmosfera age como a cobertura de uma estufa sobre o planeta, permitindo a passagem da radiação solar, mas evitando a liberação da radiação infravermelha emitida ou refletida pela superfície da Terra. Assim, pela ação do efeito estufa natural, a atmosfera se mantém cerca de 30°C mais aquecida, possibilitando, com isso, a existência da vida no planeta.

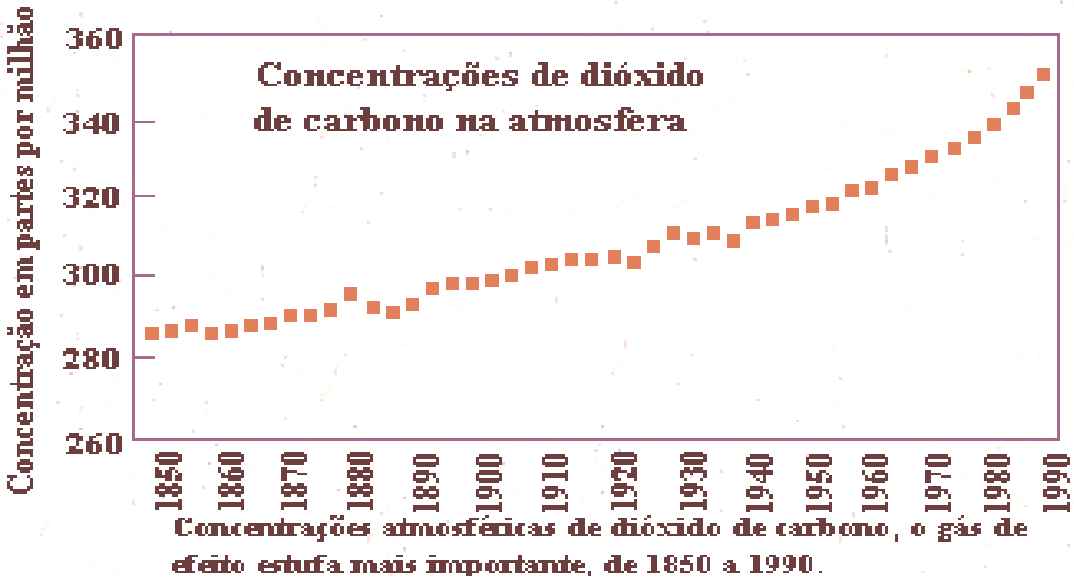


Gráfico 1 – Aumento da concentração de CO_2 na atmosfera

Fonte: Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT (1990).

Somando-se ao processo natural, as atividades do homem, também denominadas antrópicas, resultaram em contribuições adicionais de GEE, acentuando a concentração dos mesmos na atmosfera e, conseqüentemente, ampliando a capacidade de absorção de energia que naturalmente já possuem.

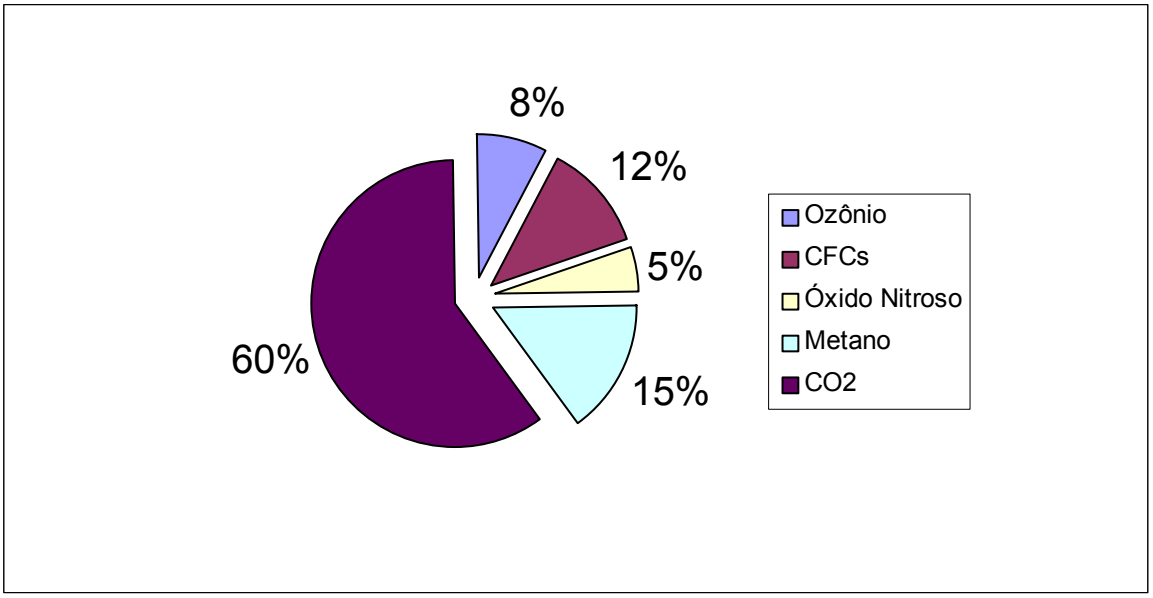


Gráfico 2 - Contribuição relativa de gases provenientes de atividades antrópicas ao efeito estufa

fonte: adaptado de Krupa (1997)

As emissões antrópicas de CO_2, decorrem principalmente da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), em indústrias, veículos em circulação, sistemas domésticos de aquecimento e pelo desflorestamento. Nas tabelas 1 e 2 estão representadas as situações recentes de emissão de CO_2 no Brasil, excluindo as emissões por desmatamentos.

Tabela 1– Fontes de emissão de CO_2.

Fonte de emissão de CO_2 (1990)	**%**
Petróleo	58
Queima de madeira	16
Coque metalúrgico	12
Carvão	10
Gás natural	4
Total	100

Fonte: BNDES (1999)

Tabela 2 – Setores responsáveis pelas emissões de CO_2

Setores Responsáveis (1990)	**%**
Indústria	38
Transportes	33
Residencial	10
Agricultura e agropecuária	7
Transformação de energia	6
Outros	6
Total	100

Fonte: BNDES (1999)

O nível de emissão mundial de dióxido de carbono em 1990 era de 7,4 bilhões de toneladas/ano, das quais 6,0 bilhões provenientes do setor de energia, 1,2 bilhão como resultado de queimadas e derrubadas de florestas (mudança no uso da terra) e 0,2 bilhão da produção de cimento (IPCC, 2001).

Segundo dados da ABIMCI, diferente do que se imagina, a atividade de base florestal tem contribuído para a sustentabilidade das florestas. "Em países ou regiões onde as atividades de base florestal prosperam, os índices de conversão do solo para outros usos são baixos. Além disso, cresce a percepção de que o produto madeira é ambientalmente correto", lembra o presidente da entidade. A madeira é um produto renovável e se destaca nas formas mais modernas de análise ambiental, como na análise do ciclo de vida. O consumo energético para produção de madeira é 70 vezes menor que o consumido na produção de alumínio, 17 vezes menor que na do aço e 3 vezes menor que na produção do concreto. Outro aspecto relevante em relação ao meio ambiente é a taxa de emissão de carbono. A madeira se destaca pelo fato de ter uma emissão negativa, pois retém parte do carbono da atmosfera. Conforme demonstrado na tabela 3, o alumínio, por exemplo, emite 2.400 kg carbono/tonelada, o tijolo 149 kg carbono/tonelada e o concreto 46 kg carbono /tonelada. Enquanto a madeira serrada apresenta um índice negativo de 460 kg carbono/tonelada.

Tabela 3 – Emissões de CO_2 provenientes da produção de diversos produtos

Material	**Emissão (Mg/ton)**
Plástico	2,8
Alumínio	2,4
Aço	1,1
Vidro	0,63
Tijolo	0,15
Concreto	0,046
Madeira Serrada	-0,46

Fonte: adaptado de ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente

De acordo com Resende (2000),

> Os países industrializados são responsáveis por cerca de 71% das emissões globais de CO_2. Os países em desenvolvimento, com 80% da população mundial produzem aproximadamente 18% das emissões globais. Dentro de uma política de ampliação de seus parques industriais, os países em desenvolvimento, durante a década de 80, aumentaram as emissões de CO_2 em torno de 5% ao ano, enquanto que os países industrializados aumentaram sua contribuição numa taxa em torno de 0,7% ao ano.

Caso as taxas de industrialização, desmatamentos e queimadas continuem no mesmo ritmo, os países em desenvolvimento emitirão em pouco tempo, a mesma quantidade de CO_2 que os países industrializados.

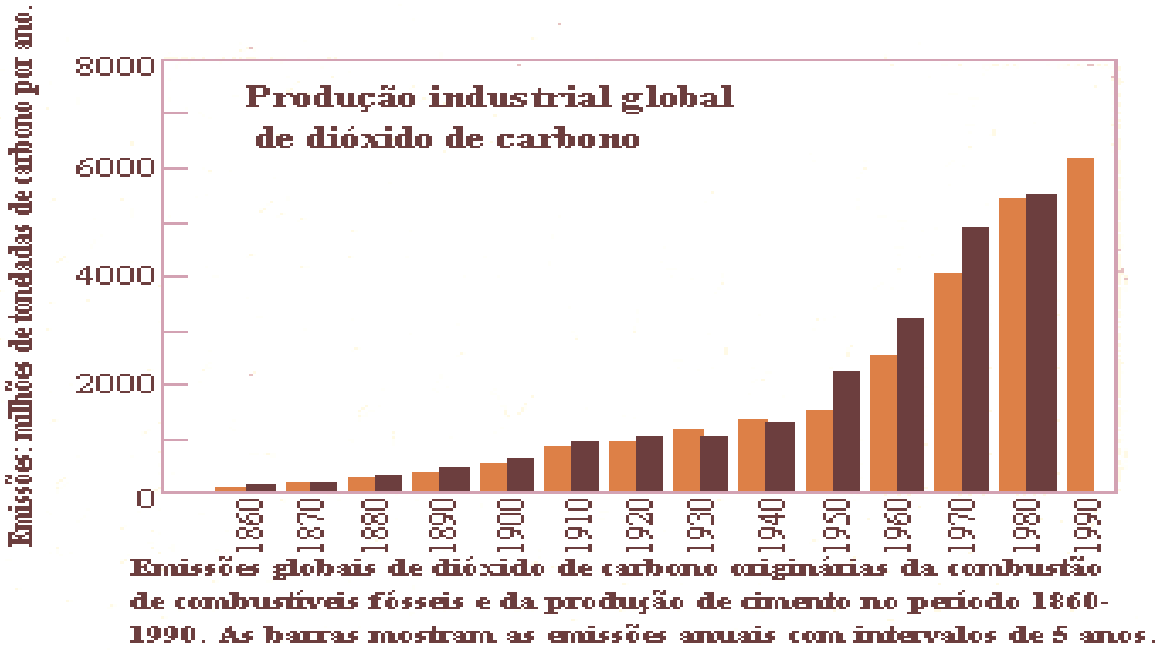


Gráfico 3 – Produção global de CO_2

Fonte: MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia (1990)

Em termos concretos, segundo Goldemberg (1999), no setor moderno, isto é, indústria, comércio e transporte, o Brasil emite, anualmente, 60 milhões de toneladas de carbono e este número aumenta aproximadamente 5% ao ano.

As emissões de CO_2 derivadas do uso de combustíveis fósseis no sistema energético brasileiro, segundo o Programa de Planejamento Energético – PPE, evoluíram de cerca de 194,8 Mt, em 1990, para 227,5 Mt, em 1994, apresentando um crescimento de cerca de 16,8% no período (ou seja, uma média anual de cerca de 4%). A utilização do óleo diesel foi a principal fonte de emissões, contribuindo com cerca de 33 a 34% das emissões totais. Este combustível juntamente com o óleo combustível, o coque metalúrgico e a gasolina são responsáveis por mais da metade das emissões de CO_2.

Tabela 4 - Emissões de CO_2 derivadas do consumo de combustíveis fósseis nos setores de consumo de energia

Setores	**1990**		**1991**		**1992**		**1993**		**1994**	
	Gg CO_2	**%**	**Gg CO_2**	**%**	**Gg CO_2**	**%**	**Gg CO_2**	**%**	**Gg CO_2**	**%**
Energético	13226,3	7,3	11875,2	6,3	12462,4	6,5	13471,4	6,7	13954	6,6
Residencial	13767,5	7,6	14140,6	7,4	14650,2	7,6	15184,1	7,5	15188,4	7,2
Comércio e Público	2546,4	1,4	2428	1,3	2458	1,3	2411,6	1,2	3523,9	1,7
Agropecuário	9997,8	5,5	10425,5	5,5	10726,2	5,6	11851,1	5,9	12516,4	5,9
Industrial	59850,3	33,2	65771,8	34,7	66635,1	34,6	69839	34,6	72272,2	34,3
Transporte	81142,2	44,9	85165,7	44,9	85807,6	44,5	89214,8	44,2	93331,3	44,3
Total	180530,5	100	189806,9	100	192739,5	100	201972,1	100	210786,2	100

Fonte: Programa de Planejamento Energético – PPE

1 Gg = 1.000 toneladas

As emissões de GEE por desmatamento no Brasil, excluindo formação de reservatório hidroelétrico, foi de 270 milhões de tC/ano no período de 1990 a 1994, enquanto o valor correspondente à década 1986-1995 foi 393 milhões de tC/ano. Além do desmatamento, há também emissões de derrubada e de dano pelo fogo na floresta, porém estes não estão incluídos.

O cerrado é o segundo bioma em extensão no Brasil e tradicionalmente foi utilizado para atividades pecuárias extensivas nas amplas pastagens nativas da região. Hoje se estima que cerca de 45% da área nativa do cerrado tenha sido totalmente transformada (MIRANDA e MIRANDA, 2000).

O cerrado brasileiro se comporta como um dreno de carbono, fixando cerca de 55 Kg de CO_2/ha/dia, durante a estação chuvosa (MIRANDA e MIRANDA, 2000). Todavia, durante a estação seca, a vegetação se comporta como uma fonte emissora de carbono para a atmosfera. Este balanço é positivo, havendo um acúmulo de aproximadamente 2 tC/ha/ano, duas vezes mais do que o determinado por Grace et al. (1995 apud MIRANDA e MIRANDA, 2000) para a floresta Amazônica.

As emissões de CO_2 pelos solos devido à mudança no uso da terra, principalmente pelo avanço das fronteiras agrícola e pecuária podem ser observados na tabela 5 em um período de 5 anos, destacando–se a região nordeste como grande emissora deste gás pela mudança no uso da terra.

Tabela 5 - Emissões totais de CO_2 pelos solos devido às mudanças no uso da terra e manejo agrícola

Região	**1990**	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**
			Tg			
Norte	133,82	133,41	132,9	132,63	131,97	131,5
Nordeste	186,06	184,98	184,0	182,95	182,1	180,75
Centro-Oeste	137,12	136,31	135,6	135,2	133,93	131,75
Sudeste	21,51	20,61	20,09	19,42	18,83	17,03
Sul	102,34	100,05	99,74	98,89	97,49	94,52
Total	580,86	575,37	572,32	569,09	564,33	555,55

Fonte: MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

1 Tg = 1.000.000 toneladas

Em nível mundial os Estados Unidos lideram o ranking das emissões globais de GEE, com cerca de 36% do total das emissões, isto se deve principalmente à queima de combustíveis fósseis, provenientes da indústria e do transporte.

Tabela 6 - Principais países emissores de CO_2 em 1997

País	**Emissões(Gg)**	**%**
EUA	4.957.022	36,1
Federação Russa	2.388.720	17,4
Japão	1.173.360	8,5
Alemanha	1.012.443	7,4
Reino Unido	584.078	4,3
Canadá	457.441	3,3
Itália	428.941	3,1
França	366.536	2,7
Espanha	260.654	1,9

Fonte: adaptado do Anexo I – Artigo 25 do Protocolo de Quito, 1997

1 Gg = 1.000 toneladas

Na figura 1, pode-se observar a projeção para 2010 das emissões em toneladas de CO_2, destacando-se os Estados Unidos como grande responsável pelo aumento das emissões.

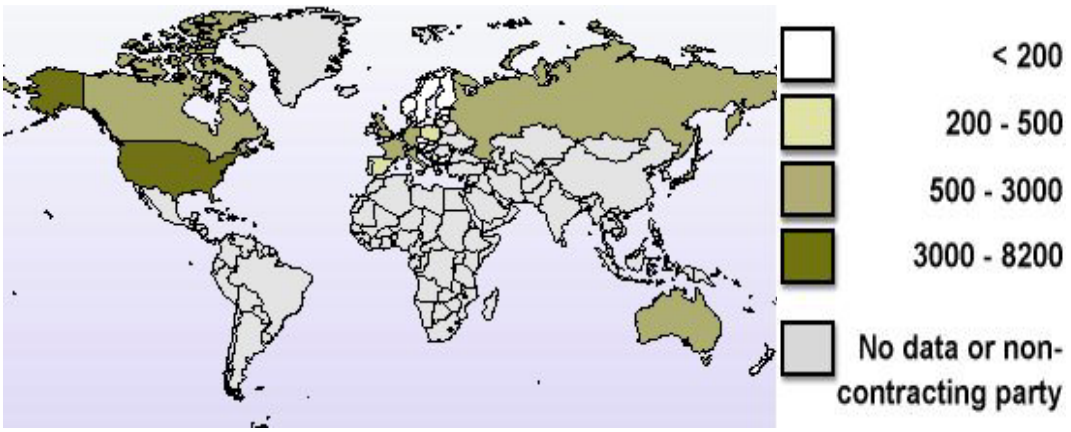


Figura 1 – projeção das emissões de CO_2 para 2010

Fonte: United Nations Environment Programme – UNEP (2004)

O Brasil, em 1995, encontrava-se na 21ª posição, porém ao incluir as queimadas e os desmatamentos, passa a ser o 5º maior emissor (SANTILLI 2000 apud ROCHA, 2002). "Estima-se que existam de 10.000 a 25.000 toneladas de carbono para cada quilômetro quadrado de floresta tropical, sendo que com as queimadas, cerca de 2/3 deste carbono seja transformado em CO_2" (REZENDE, 2000, p.23). A taxa de desmatamento tem se mantido numa média anual acima dos 15.000 km^2 por ano desde 1995, quando um uso racional da floresta demandaria menos de 5.000 km^2 por ano (VIOLA, 2002).

Segundo Viola (2002), aproximadamente 80% da população brasileira está vinculada a atividades produtivas que não dependem de altas emissões de carbono e conseqüentemente tem uma taxa de emissões per capita e por unidade de PIB muito inferiores a média dos países desenvolvidos e emergentes, isto se deve principalmente pelo alto peso da hidroeletricidade na matriz energética. O restante da população brasileira está ligada (direta ou indiretamente) à agricultura tradicional, à conversão de uso da terra na fronteira agrícola e à atividade madeireira ineficiente/predatória, e conseqüentemente, são responsáveis por emissões de carbono per capita superiores à média dos países emergentes e por unidade de PIB muito superiores à média dos países desenvolvidos e emergentes.

3.1.2. Conseqüências das emissões de gás carbônico

A partir dos dados disponíveis até 1990 e da tendência de emissões nos níveis atuais, sem a implementação de políticas específicas para redução de emissões, a projeção do Intergovernamental Panel on Climate Change - IPCC é que o aumento da temperatura média na superfície terrestre seja entre 1° e 3,5°C no decorrer dos próximos 100 anos, enquanto o aumento observado no século XIX foi entre 0,3 e 0,6°C.

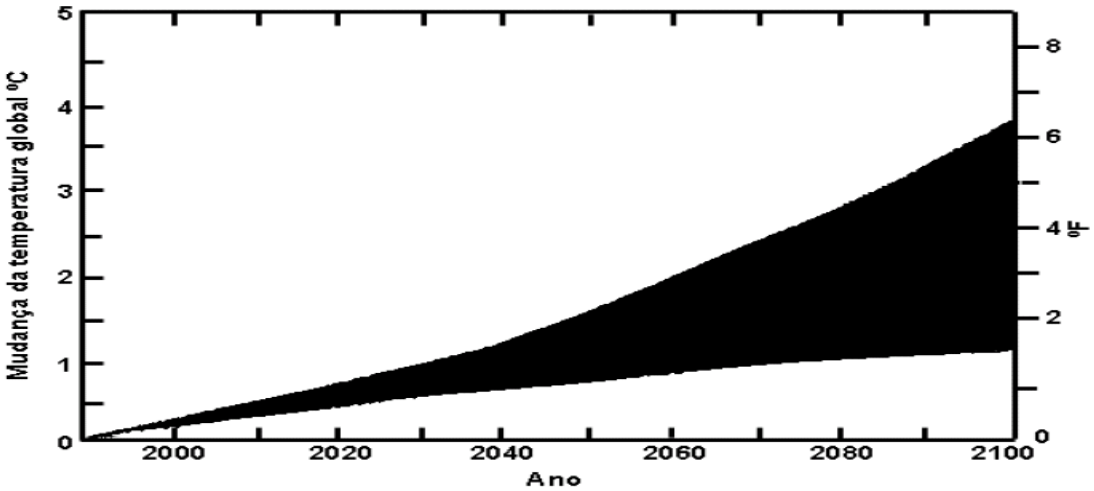


Gráfico 4 - Temperatura do globo terrestre - limites inferior e superior
Fonte: UNEP - United Nations Environment Programme e WMO - World Meteorological Organization, citados por IPCC (1992)

Uma das conseqüências mais relevantes do aquecimento global é a elevação do nível dos oceanos, o que já vem sendo detectado conforme estudo do United Nations Environment Programme e World Meteorological Organization (gráfico 5). Caso esse problema se agrave, o nível dos oceanos pode subir cerca de um metro, inundando regiões densamente povoadas nos litorais.

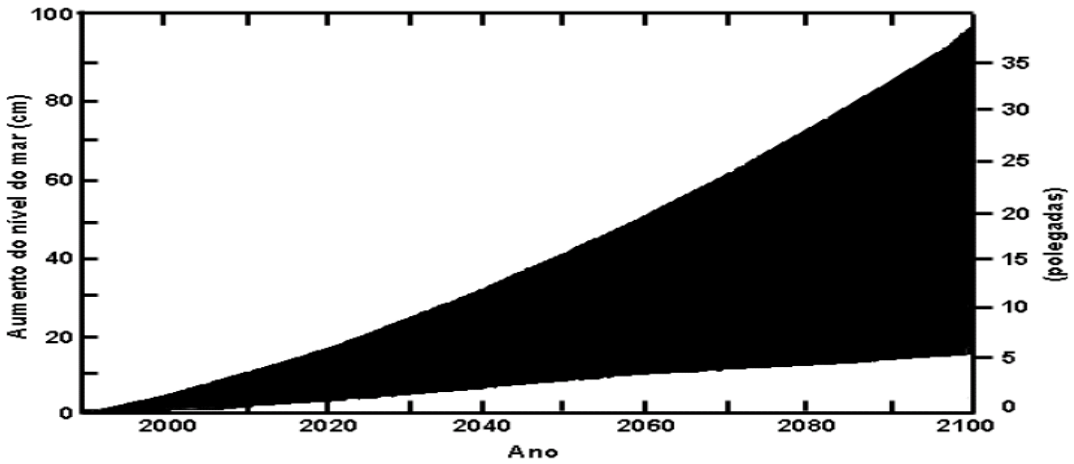


Gráfico 5 - Elevação do nível do mar - limites inferior e superior
Fonte: UNEP - United Nations Environment Programme e WMO - World Meteorological Organization, citados por IPCC (1992).

Outra conseqüência é o superaquecimento da região equatorial e a alteração das zonas climáticas em seus limites de latitude, o que provocaria desertificação e afetaria áreas produtoras de alimentos, além de aumentar a população de insetos. Doenças como malária e dengue podem aparecer em países temperados, casos de diarréia e infecção alimentar podem aumentar drasticamente.

Já há indícios de que algumas das alterações climáticas previstas por cientistas, como grandes inundações e secas, estejam começando a ocorrer. Pesquisas recentes sugerem que as temperaturas médias não se alteram necessariamente de forma gradual e contínua, podendo ocorrer "saltos" repentinos após períodos de estabilidade.

Segundo IPCC (2001b apud ROCHA, 2002) os impactos econômicos, sociais e ambientais, decorrentes do aquecimento global, afetarão todos os países, porém serão sentidos de maneira diferenciada.

No Brasil, o cenário de alterações climáticas aponta que, nos últimos cem anos, a temperatura média anual subiu aproximadamente 0,5°C (IPCC, 1992). Os três anos mais quentes ocorreram todos na década de 90, a mais quente deste século a nível global. Apesar do rápido desmatamento observado atualmente no Brasil, ainda são poucas as evidências que apontem para uma diminuição generalizada da precipitação. Na verdade, os registros de precipitação existentes desde o início do século indicam um aumento da precipitação anual em cerca de 4%, ao longo do século XX (IPCC, 1992).

3.2 CONVENÇÃO DO CLIMA

Em 1992, durante a Rio92, foi estabelecida a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas com base no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), elaborado pelo PNUD (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) e pela OMM (Organização Meteorológica Mundial), no qual realizou uma avaliação do conhecimento existente até então sobre o clima no Planeta Terra.

A Convenção do Clima estabeleceu um órgão denominado Conferência das Partes - COP, que tem a responsabilidade de manter regularmente sob exame a implementação da Convenção, assim como quaisquer instrumentos jurídicos que a Conferência das Partes vier adotar, além de tomar as decisões necessárias para promover a efetiva implementação da Convenção.

A Convenção do Clima tem como meta propor ações para as Partes (países) para que estes estabilizem as concentrações atmosféricas dos GEE. As Partes da Convenção devem, criar instrumentos e mecanismos, promover a gestão sustentável e demais condições que possibilitem alcançar a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível que não interfira perigosamente no sistema climático.

A Convenção do clima entrou em vigor em 1994 e conta atualmente com 186 países. Desde então as partes têm se reunido para discutir o assunto e tentar encontrar soluções para o problema.

3.3 PROTOCOLO DE QUIOTO

A Convenção do clima realizada em Quioto, 1997, destaca-se como uma das mais importantes, pois nela foi estabelecido o Protocolo de Quioto, onde os países industrializados se comprometeriam a reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em pelo menos 5% dos índices de 1990, no período de 2008-2012 (5,2% em média). O protocolo foi aberto para assinatura em 1998 e entrará em vigor 90 dias após sua ratificação por pelo menos 55 países membros da

Convenção, incluindo os países desenvolvidos responsáveis por pelo menos 55% do total das emissões de CO2 em 1990.

O país que não cumprir sua meta terá a diferença das emissões debitada da alocação para o próximo período de compromisso, já previsto no protocolo. O Artigo 18 do Protocolo prevê que as partes poderão aprovar outros meios para lidar com os casos de não cumprimento das metas. O Protocolo é claro quanto à obrigatoriedade de redução das emissões, e quanto à necessidade de mecanismos para contabilizar estas reduções.

O Protocolo estabelece ainda medidas necessárias ao comprimento das metas, atribuindo ênfase às obrigações por parte das nações industrializadas, as quais, por sua vez, requerem garantia de participação significativa dos países em desenvolvimento.

O Protocolo de Quioto inclui três mecanismos de flexibilização a serem utilizados para cumprimento dos compromissos da Convenção. Esses mecanismos pretendem possibilitar que os objetivos de redução sejam atingidos de maneira mais eficiente do ponto de vista de custos de cada país, sem, no entanto, comprometer a meta ambiental em questão. Os mecanismos de flexibilização são:

a) cotas transacionáveis de emissão de carbono;
b) implementação conjunta;
c) mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL.

Os dois primeiros mecanismos, constituídos de modo a serem utilizados entre países do Anexo I (basicamente países industrializados), objetivam a contabilização de reduções líquidas de emissões de gases com execução de projetos em outros países, também do Anexo I.

O mecanismo de cotas transacionáveis (Artigo 17 do Protocolo de Kyoto) possibilita que os países industrializados possam adquirir suas taxas de emissões, facilitando assim o cumprimento dos níveis de emissões estabelecidos pelo protocolo.

O mecanismo de implementação conjunta (Artigo 6 do Protocolo de Kyoto) permite que os países do Anexo I desenvolvam e transfiram tecnologias, projetos e valores, possibilitando créditos de compra e venda das emissões entre estes países. A idéia consiste em que um projeto gere “unidades de redução de emissões” que poderão ser posteriormente utilizadas pelo país

investidor para adicionar à sua quota de emissões, sendo deduzidas das cotas de emissão do país beneficiado.

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL (Artigo 12 do Protocolo de Kyoto) por sua vez foi desenvolvido a partir de uma proposta da delegação brasileira que previa a constituição de um Fundo de Desenvolvimento Limpo, que seria constituído por recursos financeiros dos grandes países emissores no caso de não atingirem metas de redução consentidas entre as partes, adotando o princípio do poluidor-pagador.

Em outubro de 2003, foi criada a Chicago Climate Exchange - CCX, uma bolsa auto-regulada criada nos Estados Unidos, que congrega 52 empresas e organizações não-governamentais de diversos setores da economia e nacionalidades. Por meio da CCX, as companhias operam o comércio de emissões dos gases GEE. As empresas que integram a CCX, que tem caráter voluntário, se adiantaram ao Protocolo de Quioto. Desde que foi criada a bolsa, registra-se um aumento no volume das negociações, que chegou em fevereiro de 2004 a 400 mil toneladas de carbono (NAKAMURA, 2004).

3.4 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO - MDL

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo consiste na possibilidade de um país que tenha compromisso de redução adquira certificados de redução de emissões (CRE) de gases de efeito estufa em projetos gerados em países em desenvolvimento como forma de cumprir parte de seus compromissos.

A idéia consiste em que cada tonelada de CO_2 deixada de ser emitida, ou retirada da atmosfera por um país em desenvolvimento poderá ser negociada no mercado mundial, criando um novo atrativo para as reduções das emissões globais dos GEE.

O MDL e as condições básicas a serem seguidas para qualificar projetos para gerar reduções certificadas de emissão estão definidos no artigo 12 do Protocolo de Kyoto. Ao estabelecer as metas, o Protocolo divide os países em Anexo I (desenvolvidos) e não-Anexo I (em desenvolvimento).

O MDL tem por objetivo diminuir os custos globais de redução de emissões de GEE e, ao mesmo tempo, também apoiar iniciativas que promovam o desenvolvimento sustentável em países em desenvolvimento.

Artigo 12.2 do Protocolo de Kyoto descreve:

> O objetivo do mecanismo de desenvolvimento limpo deve ser assistir às Partes não incluídas no Anexo I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, e assistir às Partes incluídas no Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos no artigo 3.

Serão estabelecidas metas de redução de CO_2 junto aos principais emissores. As empresas que não conseguirem, ou não desejarem reduzir suas emissões poderão comprar Certificados de Redução de Emissões (CRE) em países em desenvolvimento e usá-los para cumprir suas metas. Tais projetos devem implicar reduções de emissões adicionais àquelas que ocorreriam na ausência do projeto, garantindo benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo para a mitigação da mudança do clima.

É fundamental o estabelecimento de um Conselho Executivo do MDL e também, que a Conferência das Partes designem órgãos que certifiquem projetos relacionados ao MDL. Estes órgãos devem trabalhar sob a direção e supervisão do Conselho Executivo e devem ter um processo regulatório e de auditoria forte, ser transparente e com credibilidade.

Artigo 12.4 do Protocolo de Kyoto descreve:

> O mecanismo de desenvolvimento limpo deve sujeitar-se à autoridade e orientação da Conferência das Partes na qualidade de reunião das Partes deste Protocolo e à supervisão de um conselho executivo do mecanismo de desenvolvimento limpo.

O setor florestal brasileiro oferece oportunidades inigualáveis de compensação de carbono através do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. O Brasil tem tanto a maior área remanescente de florestas tropicais com grande quantidade de biomassa quanto a maior emissão corrente por taxa anual de desmatamentos destas florestas. Estes fatos significam que qualquer medida que resulte em redução da taxa de desmatamento no Brasil evitaria a emissão dos gases de efeito estufa e manteria estoques de carbono.

Segundo decisão 11 da Conferência das Partes realizada em Marraqueche (COP7), a elegibilidade das atividades de projetos florestais (LULUCF) no MDL está limitada a florestamento e reflorestamento e que para o primeiro período de compromisso (2008 – 2012) o total de Certificados de Redução de Emissões - CERs resultantes destes projetos utilizados por uma Parte (país) para contabilizar suas reduções não pode ser superior a 1% das emissões do ano base (1990) multiplicado por cinco. Esta decisão estabelece alguns princípios que devem guiar o tratamento de atividades no LULUCF, tais como:

a) a mera presença de estoques de carbono seja excluída da contabilidade;
b) que a reversão de qualquer remoção decorrente de atividades LULUCF sejam contabilizadas no tempo apropriado;
c) que a contabilidade exclua as remoções resultantes de:
- elevação das concentrações e CO_2 acima de seus níveis pré-industriais;
- deposição indireta de nitrogênio;
- efeitos dinâmicos decorrentes da estrutura etária resultante de atividades e práticas antes do ano de referência.

De acordo com Brown et al (1996), 15% das emissões globais dos gases do efeito estufa podem ser compensadas através do plantio e/ou bom manejo de florestas. Quatro milhões de hectares de florestas já se encontram em regime de bom manejo florestal, financiados através de investimento para absorção de carbono. Se esta tendência de investimento continuar, pode-se esperar um enorme fluxo de novo capital para o setor florestal. Isto também terá reflexos positivos no que diz respeito aos objetivos de promover a sustentabilidade e a conservação da biodiversidade.

A última Conferência das Partes (COP9) realizada em dezembro de 2003 em Milão na Itália, através da decisão 19, define:

Floresta é uma área mínima de terreno de 0,05 – 1,00 hectare com cobertura de copa de árvore com mais de 10 – 30 por cento, com árvores com potencial de altura mínima de 2 – 5 metros na maturidade, in situ. Uma floresta pode constituir de formações florestais fechadas onde árvores de várias formações e sub-bosque cobrem uma alta proporção do terreno, ou floresta aberta. Estandes naturais jovens e todas as plantações que ainda forem atingir densidade de copa

de 10 – 30 por cento ou altura de árvore de 2 – 5 metros são consideradas florestas, assim como áreas que normalmente formam parte de uma área florestal e que estão temporariamente sem estoque como resultado de intervenção humana tal como corte ou causas naturais e que são esperadas a reverter para floresta;

Ainda através da decisão 19 da COP9 são definidos:

Florestamento é a conversão diretamente induzida pelo homem de terreno que não foi floresta por um período de pelo menos 50 anos para floresta, através da plantação, semeadura, ou promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes; e

Reflorestamento é a conversão diretamente induzida pelo homem de terreno não florestal para terreno florestal através da plantação, semeadura, ou promoção induzida pelo homem de fontes naturais de sementes, em terreno que foi florestal mas que foi convertido para terreno não florestal. Para o primeiro período de compromisso, as atividades de reflorestamento se limitarão a reflorestamento em terrenos que não continham florestas em 31 de dezembro de 1989.

É adotada uma linha de base para auxiliar na validação de projetos de florestamento e reflorestamento para o MDL. A linha de base é o cenário que razoavelmente representa a soma das mudanças nos estoques de carbono nos reservatórios de carbono dentro dos limites do projeto que teria ocorrido na ausência da atividade de projeto proposta. A linha de base deve ser estabelecida de forma transparente e conservadora com relação à escolha da abordagem, hipóteses, metodologias, parâmetros, fontes de dados, fatores chave e adicionalidade, e considerando incertezas.

Os projetos potenciais de MDL no Brasil aparecem nos setores energético e florestal. As plantações florestais são um próspero negócio no Brasil. A produção industrial de madeira, provenientes de florestas plantadas, aumentou 53% entre 1990 e 1995 para aproximadamente 106,5 milhões de metros cúbicos (PRADO, 1995). O alto retorno financeiro permitirá às plantações florestais fornecerem créditos de MDL com custo muito baixo. O custo do carbono seqüestrado para plantações de celulose e carvão seria menor do que US$ 1,50 por tonelada (MOTTA et al., 2000) ao passo que plantações para madeira já são atualmente rentáveis e assim aceitariam qualquer preço positivo para carbono.

Pesquisadores do Instituto de Botânica de São Paulo acreditam que o Jatobá, uma árvore extremamente adaptada aos ecossistemas brasileiros e presente em praticamente todo o território nacional, pode ser um bom candidato a desempenhar o papel de fixador de CO_2, ou mostrar como essa tarefa poderá ser desempenhada por outras plantas.

Os estudos com mudas de *Hymenaea courbaril* (Jatobá) indicam que quando cultivadas por três meses num local com 720 ppm de CO_2 no ar, o dobro da atual concentração atmosférica, duplicam a absorção deste gás e a produção de carboidratos e, aumentam em até 50% a sua biomassa, principalmente nas folhas e raízes, sendo que nesta idade as plantas ainda não produzem madeira. Sugere-se que o Jatobá pode continuar seqüestrando CO_2 enquanto cresce em ambientes com altas concentrações deste gás.

Se o comportamento desta espécie adulta for semelhante ao de sua muda em ambiente controlado, essa árvore "engordará" consideravelmente caso a atmosfera do Planeta Terra atinja os 720 ppm de CO_2, estimados para 2075.

Segundo Buckeridge (2002) a intenção é entender o mecanismo fisiológico dessa planta, para um dia tentar otimizar a assimilação de carbono no jatobá e outras árvores tropicais, que devem ter um mecanismo semelhante. Porém ainda há muito que avançar e não se sabe, por exemplo, quanto deste dióxido de carbono a mais que entra na planta acaba saindo em sua respiração, ou ainda, se este aumento da absorção de CO_2 se dará também com condições de pressão e temperatura que se observará quando a atmosfera atingir os 720 ppm de CO_2.

Os pesquisadores do instituto constataram também um declínio no número de estômatos nas folhas do jatobá, cerca de 15% menos estômatos do que nas folhas das plantas expostas a condições normais da atmosfera (360 ppm – partes por milhão). Isto se deve, segundo Buckeridge (2002), pela adaptação da planta ao meio, para não captar excessivamente CO_2, o que seria improdutivo ou até prejudicial à planta.

Os projetos de energia devem incentivar a troca da matriz energética baseada em combustíveis fósseis por matrizes limpas, além da adoção de sistemas de produção mais limpos e eficientes.

Estes projetos são mais facilmente quantificáveis, pois suas linhas de base são bem definidas enquanto que, em projetos florestais, o estabelecimento do cenário de referência, assim como a utilização futura da área não é facilmente determinada.

Com o lançamento, do Programa Brasileiro de Sistemas de Célula a Combustível, do Ministério da Ciência e Tecnologia, o Brasil deu o pontapé inicial para o desenvolvimento de uma nova alternativa de geração de energia e tem tudo para ingressar num mercado consumidor. O objetivo central do programa é incentivar projetos de pesquisa e desenvolvimento sobre os sistemas de célula a combustível (CaC) e, dessa forma, contribuir para a redução das deficiências energéticas observadas nos estados brasileiros, sobretudo nas áreas de energia elétrica, telecomunicações e transportes.

A célula a combustível (CaC) é um artefato capaz de promover a conversão eletroquímica de combustíveis (gás natural, nafta, etanol, metanol ou outros produtos químicos) em energia elétrica, com maior eficiência energética e liberação de água em vez de elementos poluentes.

O desenvolvimento de sistemas de células a combustível, além de representar uma nova alternativa de energia limpa, consiste numa fronteira tecnológica que vem despertando a atenção dos países do mundo inteiro, devido às vantagens que pode proporcionar para a economia destas nações.
As perspectivas são de que os investimentos mundiais nesta área serão da ordem de US$ 590 milhões, sendo que apenas os Estados Unidos deverão investir US$ 165 milhões. Além disso, projeções recentes feitas a partir de estudos realizados no Japão indicam que em 2011, o mercado mundial de células a combustível deverá atingir a cifra de US$ 7 bilhões.
Tanto projetos de MDL no setor florestal quanto no setor energético devem apresentar características comuns, como a análise de viabilidade, contemplando:

a) cenários de referência (com o projeto e na ausência do projeto);

b) benefícios mensuráveis em termos de redução dos gases de efeito estufa (GEE) ou de carbono seqüestrado;

c) relação custo benefício;

d) probabilidade de vazamento dos benefícios (benefícios obtidos são anulados por emissão provocada pela realocação da atividade).

No entanto o tratamento das informações deve ser feito de forma diferenciada entre projetos do setor de energia e projetos do setor florestal, a fim de atrair investidores específicos.

No roteiro para projetos de energia e também florestal, um dos itens mais importantes a considerar é a probabilidade de "vazamento" do carbono, isto é, que as emissões evitadas e/ou o carbono seqüestrado pelo projeto sejam anulados por emissões provocadas pela realocação da atividade.

Em projetos florestais de captura e fixação de carbono, por exemplo, a abertura de novas áreas para pastagens em florestas nativas, anularia o benefício de um projeto de reflorestamento em pastagem.

Outro item importante é a descrição da tecnologia a ser utilizada. No modelo para projetos de redução de emissões em empreendimentos de geração de energia, por exemplo, pode-se citar as vantagens da conversão de uma usina termelétrica a gás natural (que, embora menos poluente que a termelétrica a diesel, não é uma energia renovável) por usinas de energia renovável (biomassa, hidroelétricas).

O MDL tem, então, dois objetivos distintos: diminuir o custo das reduções das emissões de gases estufa e promover o desenvolvimento sustentável dos países em desenvolvimento. Esses dois objetivos refletem a necessidade de ação coordenada entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, para que se alcance a meta comum da mitigação do efeito estufa, partindo do princípio das responsabilidades comuns mas diferenciadas entre países. O MDL permite que países ricos recebam créditos de reduções de emissões por investirem em projetos de redução de emissões de baixo custo. Esses créditos podem, então, ser utilizados na contabilização das reduções do país investidor, o que reduziria o custo das metas de reduções fixadas no protocolo de Quioto. Além de beneficiar os países do Anexo-I, o MDL pode também beneficiar os países em desenvolvimento, encorajando os países pobres a investirem em reduções de emissões mesmo tendo outras prioridades mais urgentes (MOTTA et al, 2000).

3.5 CRÉDITOS DE CARBONO

Com todos estes cenários, uma nova modalidade de investimento está surgindo e promete ser uma excelente opção para investidores, empresários, governos e ambientalistas: preservar o ambiente com ganhos financeiros. Transformar matrizes ambientais (energia, água, emissão de poluentes, madeira, reciclagem, biodiversidade e minério), em commodity ambiental. O Brasil é um país privilegiado, pois possui as sete matrizes ambientais e foi o primeiro a desenvolver esse conceito.

Esta nova commodity poderá ser transacionada nos diversos tipos de mercado: à vista, a termo, de futuro, de opções etc. O Sindicato dos Economistas do Estado de São Paulo propõe a criação de uma Bolsa Brasileira de Commodities Ambientais, onde seriam negociadas mercadorias à vista, com entrega física e no mercado futuro, através de financiamentos nos prazos adequados para a produção sustentável. (KHALILI, 2000 apud ROCHA 2002, p.16).

A questão mais controversa e com maior peso político é a do custo de reduzir as emissões dos GEE, principalmente nos EUA. As estimativas do custo global para fazer as reduções necessárias nos EUA variam entre 0% e 2,5% do PIB. Alguns modelos projetam até benefícios econômicos para os EUA. A estimativa mais aceita fica entre 1% e 2% do PIB.

No Japão os custos de abatimento das emissões de GEE podem chegar a US$ 580,00 por tonelada de carbono, enquanto que nos Estados Unidos atingiram US$ 186,00 e na Comunidade Européia US$ 270,00. (BRANDÃO, 2001). “Os valores observados podem fazer com que projetos de abatimento em outros países se tornem mais interessantes, menos onerosos” (ROCHA, 2002, p.17).

Dixon et al (1991 apud REZENDE, 2000) estimaram os custos operacionais de projetos de seqüestro de carbono, através de reflorestamentos, na ordem de US$ 1 a 30 por tonelada de carbono.

Já no mercado, Moura-Costa (1998 apud ROCHA, 2002) estima o preço da tonelada de carbono em US$ 12 ou aproximadamente US$ 4 por tonelada de CO_2 (uma tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO_2).

No total estima-se que os recursos a serem negociados podem chegar a US$ 3 bilhões por ano (GOLDEMBERG, 1999) ou US$ 5 bilhões a US$ 17 bilhões por ano a partir de 2010 (AUSTIN et al,, 1999 apud ROCHA, 2002).

"Hoje, o preço médio do crédito é de US$ 1,00 por tonelada", (NAKAMURA, 2004, p. 2). De acordo com Poernbacher (2000 apud NAKAMURA, 2004) estimativas do mercado mostram que, nos próximos dez anos, o preço do crédito poderá chegar a US$ 20,00. Estes valores para o crédito de carbono apresentam duas perspectivas para ocorrerem: com e sem a entrada em vigor do Protocolo de Quioto.

Até que as previsões se confirmem para que possam ser utilizadas para um plano de ações, políticos e instituições não-governamentais estão percebendo a necessidade de se optar entre a incerteza científica e os custos de várias ações que podem ser executadas em resposta às ameaças de mudanças climáticas. Algumas ações são simples e relativamente de baixo custo, como por exemplo, estabelecimento de reflorestamento que segundo Hosokawa et al (1998), reflorestamento é o negócio mais barato e sem contra-indicações para minimizar, o aumento das concentrações dos GEE. É importante, entretanto, que novas alternativas sejam estudadas e que um planejamento global seja realizado, prevendo as mudanças que deverão ocorrer nas próximas décadas.

Parte-se do princípio de que as emissões produzidas por determinado país, região ou empresa podem ser compensadas por atividades florestais que absorvam o CO_2 atmosférico em seu desenvolvimento vegetativo, levando em conta que o CO_2 é um gás de circulação global e, portanto sua absorção independe da origem de sua fonte de emissão.

Nesse contexto, as florestas surgem como grande alento, pois além de serem fonte alternativa de energia, por se tratarem de um recurso natural renovável, também podem contribuir decisivamente para reduzir os impactos ambientais do efeito estufa e das suas implicações nas mudanças climáticas. Nos dois casos a biomassa de origem vegetal cumpre papel decisivo, haja vista servir como fonte energética mais racional e também por acumular, em sua estrutura carbônica, poluentes nocivos à qualidade ambiental do Planeta.

3.6 METODOLOGIA PARA INVENTÁRIO DE EMISSÕES DOS GASES EFEITO ESTUFA

A principal metodologia adotada atualmente para cálculo de emissões de GEE é a elaborada pelo IPCC em conjunto com a Organização para Cooperação Econômica e

Desenvolvimento - OCDE e a Agência Internacional de Energia – IEA (2003). A metodologia de inventários do IPCC está dividida em seis módulos: energia, processos industriais, uso de solventes e outros produtos, agricultura, uso da terra e florestas e tratamento de resíduos. Dentro do módulo de florestas, energia, processos industriais e tratamento de resíduos foram identificados as principais fontes de emissão:

a) emissão de CO_2 por combustão na produção industrial e uso de energia;

b) emissão de CO_2 por variação no estoque de florestas, e pela combustão na exploração,

utilizando-se máquinas florestais;

c) emissões/redução de CO_2 estimadas pelo incremento anual de biomassa da plantação florestal;

3.6.1 Inventário de fontes móveis

Segundo as diretrizes da publicação Good Pratice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Inventories – Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, as emissões do efeito estufa de fontes móveis são mais bem calculadas pela quantidade de combustível queimado, seu teor carbônico e as emissões correspondentes de CO_2.

As Diretrizes do IPCC para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa foram aprovadas internacionalmente e desenvolvidas por meio de um processo internacional que compreendeu:

a) ampla disseminação dos relatórios preliminares e o recebimento de comentários de especialistas nacionais;

b) o teste de métodos mediante o desenvolvimento de inventários preliminares;

c) estudos de países que asseguram que os métodos sejam testados em uma ampla variedade de contextos nacionais;

d) Workshops técnicos e regionais realizados na África, Ásia, América Latina, Europa Central e Europa Ocidental;

e) a reunião de grupos informais de especialistas para fazer recomendações de como aperfeiçoar aspectos específicos da metodologia.

As Diretrizes do IPCC foram aceitas pela primeira vez em 1994 e publicadas em 1995. A Conferência das Partes (COP 3) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) realizada em 1997 na cidade de Quioto reafirmou que as Diretrizes Revisadas do IPCC de 1996 para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa devem ser usadas como "metodologias para a estimativa de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa" na avaliação de metas de obrigatoriedade legal durante o primeiro período de compromisso.

O cálculo do inventário dos GEE pela quilometragem anual e pelo consumo teórico de combustível, em litros por quilômetros – ou a partir dos fatores de emissão, pode ser menos preciso que pelo consumo global anual de combustível. Segundo o IPCC (2003), deve-se desenvolver fatores de emissões locais para serem utilizados como alternativa adicional no cálculo do inventário de GEE, visando à aferição dos resultados e, conseqüentemente, à melhoria da qualidade da informação.

O CO_2 é responsável por mais de 97% das emissões totais de GEE de fontes móveis (IPCC), considera-se então, boa à elaboração de inventários de GEE, a estimativa das emissões baseadas somente nos dados relativos a CO_2.

O inventário das emissões de carbono derivadas do uso de combustíveis fósseis utiliza dois métodos que foram estabelecidos pelo IPCC.

3.6.2 Método top-down

A estimativa das emissões de GEE por este método, recomendada pelo Ministério das Minas e Energia – MME em 1999 no Balanço Energético Nacional – BEN, prevê a conversão de todas as medidas de consumo de combustível para uma unidade comum:

$$CC = CA \times Fconv \times 45{,}2 \times 10^3 \times Fcorr$$

Onde,

CC = consumo de energia em Tj;

CA = consumo de combustível em L (litros);

Fconv = fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tEP, com base no poder calorífico superior (PCS) do combustível;
Fcorr = fator de correção de PCS para PCI (poder calorífico inferior).

A quantidade de carbono emitida na queima do combustível é calculada conforme a fórmula a seguir (MME, 1999):

$QC = CC \times Femiss \times 10^3$ onde,
QC = conteúdo de carbono expresso em GgC;
CC = consumo de energia em Tj;
Femiss = fator de emissão de carbono (tC/Tj)
10^3 = tC/GgC;

A partir disto as emissões de CO_2 podem ser calculadas de acordo com a expressão abaixo, lembrando que em função dos respectivos pesos moleculares, 44 t CO_2 corresponde a 12 t de C ou 1 t CO2 = 0,2727 tC.

$ECO_2 = EC \times 44/12$ onde,

ECO_2 = emissão de CO_2;
EC = emissão de C.

3.6.3 Método bottom-up

Os cálculos das emissões de gases do efeito estufa pelo método bottom-up podem ser realizados como procedimento adicional ao método top-down, desde que hajam dados locais detalhados e confiáveis sobre a tecnologia de motorização utilizada, qualidade do combustível, consumo, quilometragem, fatores de emissão levantados em laboratórios locais, estado de manutenção da frota etc, para cada subgrupo de veículos com características similares. O IPCC recomenda essa prática como forma de aferição dos cálculos e conseqüente melhoria da qualidade da informação.

Os cálculos das emissões de CO_2 devem ser feitos conforme segue:

E_{missi} = Fei_{abc} x Atividade abc onde,

E_{missi} = emissão de um gás i;

F_{ei} = fator de emissão do gás i;

Atividade = quantidade de energia consumida ou distância percorrida;

i = CO_2

a = tipo de combustível;

b = tipo de veículo;

c = tecnologias de controle de emissões.

Para o cálculo a partir da quilometragem anual deve ser utilizada a seguinte expressão:

E_{missi} = F x Fei x Km média a onde,

F = número de veículos da frota;

Km média a = distância média percorrida no ano.

3.7 DISTRIBUIÇÃO NATURAL DA ESPÉCIE *Pinus taeda*

O *Pinus taeda* L. é oriundo das planícies adjacentes ao Golfo do México e costa atlântica dos Estados Unidos, perfazendo um total de 11,7 milhões de hectares. Ocorre mais especificamente em 14 estados, desde o sul de New Jersey até centro da Flórida e do oeste ao sudoeste de Texas e Oklahoma.

3.8 DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE *Pinus taeda*

Trata-se da espécie madeireira mais importante dos Estados Unidos na atualidade. Segundo Marchiori, (1980, p.42), "No sul do Brasil é cultivado sobre tudo nas terras mais altas da Serra Gaúcha e Planalto Catarinense, as árvores alcançam cerca de 20 metros de altura e 100 cm de CAP, produzindo copa densa, casca gretada e ramos acinzentados". O *Pinus taeda* é uma espécie com rápido crescimento juvenil moderadamente tolerante à sombra nessa fase, sendo mais bem adaptado a solos úmidos, porém bem drenados. A espécie responde bem aos

tratamentos silviculturais e pode ser manejada em povoamentos naturais sustentavelmente com povoamentos de mesma idade ou com idades diferentes, ou pode ser regenerada artificialmente e manejada em plantações.

A madeira é durável e de boa qualidade para trabalhos de carpintaria, móveis, embarcações e revestimentos.

3.9 CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA ESPÉCIE *Pinus taeda*

O crescimento do *Pinus taeda* plantado é considerado bom quando comparado à maioria das Gimnospermas competidoras e em muitos sítios duplicam ou triplicam a produção em relação às espécies associadas comumente.

O crescimento é influenciado pelas propriedades químicas e físicas do solo (textura, compactação, aeração, umidade, pH, nutrientes), luz, temperatura, fotoperíodo, alelopatia, precipitação, padrão sazonal e competição entre os indivíduos. Por causa da influência desses vários fatores, torna-se difícil especificar o fator mais limitante. Conseqüentemente, os efeitos bióticos e ambientais são comumente expressos pela média da altura dominante das árvores, denominado sítio.

Nos bons sítios, situados no sul do Arkansas, com um índice de sítio de 27m de altura, sendo manejado sustentavelmente com idades diferentes apresentam um bom estoque, tendo uma média de 0,7m^2/ha no crescimento de área basal, 5,6m^3/ha do crescimento em volume de mercado. Tampouco nos sítios pobres da Geórgia Piedmond com um índice de sítio de 23m de altura, apresentam um crescimento anual em média de 5,3m^3/ha. Na tabela 7 está expresso a produção em m³ cc/ha, a densidade em toneladas por m³ e a matéria seca em toneladas por hectare para diferentes idades do gênero *Pinus*.

Tabela 7 – Produtividade do gênero *Pinus*, para diferentes idades

Idade (anos)	**Produção (m^3cc/ha)**	**Densidade (t/m^3)**	**Matéria Seca (t/ha)**
5	75	0,385	28,9
10	212	0,385	81,6
15	278	0,385	107
20	325	0,385	125,1

Fonte: adaptado de MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia
m^3 cc = metro cúbico com casca

A produtividade do gênero Pinus, aos 21 anos e três desbastes é em torno de 30-35 m^3/ha/ano. (SBS, 2003)

3.10 BIOMASSA

"Biomassa é massa de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal" (SANQUETTA 2002, p.120). A biomassa de origem vegetal é denominada de fitomassa e pode significar toda a biomassa da floresta ou apenas a fração arbórea da mesma.

O acumulo de biomassa em árvores difere em cada local onde é medida, refletindo uma variação causada por fatores ambientais e aos inerentes à própria planta. Segundo Kramer; Kozlowski (1979 apud CALDEIRA, 2002) a acumulação da biomassa é influenciada por todos os fatores que afetam a fotossíntese e a respiração como luz, temperatura, concentração de CO_2 no ar, umidade e fertilidade do solo. Outros fatores como fungicidas, inseticidas e doenças, além de aspectos internos que incluem a idade das folhas, sua estrutura e disposição, teor de clorofila, também influenciam na acumulação de biomassa.

Durante a fase inicial do desenvolvimento de uma floresta, uma grande parte de carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Posteriormente, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa de tronco aumenta e a de folhas e ramos diminui, gradativamente. (OTTO, 1994 apud CALDEIRA et al, 2000).

Segundo CALDEIRA et al (2002), o padrão de crescimento estrutural dos diferentes componentes de uma árvore podem ser distintos em função dos fatores edafoclimáticos do sítio.

Para avaliação da biomassa de uma floresta existem dois métodos: direto e indireto. (SALATI 1994).

3.10.1 Método direto

O método direto ou destrutivo implica em determinações, ou seja, medição real feita diretamente na biomassa. “Este processo é altamente oneroso, tanto do ponto de vista do custo como do tempo uma vez que implica no corte e tomada de peso dos componentes arbóreos, em diferentes unidades amostrais”. (REZENDE, 2000, p.68).

Os resultados obtidos por este método são diretamente expressos em peso fresco, ou mais adequadamente, por peso seco, em ton/ha. O peso seco é obtido através da secagem de amostras dos materiais coletados, em campo, em estufa, até a obtenção de peso constante, fornecendo possibilidade de cálculos de respectivos índices de umidade.

3.10.2 Método indireto

O método indireto ou não-destrutivo baseia-se em estimativas, ou seja, a determinação da biomassa deve ser baseada em dados advindos das determinações e também de informações de outros estudos como o inventário florestal e mapeamento. (SANQUETTA, 2002).

A relação entre os dados coletados em campo e os valores a serem estimados são conseguidos através da utilização de modelos matemáticos. Para o estabelecimento destes modelos, os parâmetros básicos da comunidade vegetal, ao qual se deseja aplicá-los, devem ser previamente obtidos em campanha de campo, pelo método destrutivo. O ideal é ter um modelo matemático para cada sítio (REZENDE, 2000). Neste caso, a amostragem destrutiva necessária é bem menor e os dados aplicáveis a todas as comunidades do mesmo tipo que se desenvolvem em condições ambientais similares.

Segundo Salati (1994), os métodos indiretos são utilizados para estimar a biomassa de áreas florestais de grande extensão e, dependendo das informações disponíveis, são usadas relações empíricas entre a biomassa e algumas outras variáveis disponíveis nos inventários

florestais como DAP, altura e volume, os quais são relacionados com a biomassa de alguma forma.

Para obtenção da massa seca das amostras é necessário o conhecimento da densidade básica.

3.11 DENSIDADE BÁSICA

A densidade básica é a relação entre o peso da madeira livre de água e seu volume obtido quando totalmente saturada de água. A densidade varia entre espécies, entre indivíduos e procedências da mesma espécie e dentro da árvore, tanto no sentido longitudinal, ou seja, da base para o topo (BARRICHELO et al., 1983 apud MENDES et al, 1999), como no sentido radial da medula para a casca. (BRASIL et al., 1977 apud MENDES et. al, 1999).

Em um estudo realizado por Iwakiri et al, foram encontrados valores de densidade básica de 0,48 e 0,47 g/cm^3 , respectivamente para *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*, , provenientes de plantios com idades de 20 e 24 anos da empresa INPACEL S.A., localizados no município de Arapoti, Estado do Paraná.

3.12 ESTIMATIVA DO CARBONO ORGÂNICO EM ALGUMAS TIPOLOGIAS FLORESTAIS

Estudo realizado por Schumacher et al. (2002), que quantificaram o carbono orgânico, na biomassa de *Pinus taeda* em povoamentos de quatro idades diferentes (5, 10, 15, 20 anos) no estado do Rio Grande do Sul, indicam o potencial da espécie para a captura de carbono. A biomassa das árvores foi segmentada nos componentes acícula, ramo, casca, madeira e raiz. A estimativa da biomassa total foi obtida pelo produto da massa seca de cada componente pelo número de árvores por hectare. Na tabela 8 é possível verificar o estoque de biomassa e carbono orgânico nos diferentes componentes das árvores de *Pinus taeda* em diferentes idades.

Tabela 8 – Estoque de biomassa e carbono orgânico em *Pinus taeda* (Mg há$^{-1}$)

Componente	**5 anos**		**10 anos**		**15 anos**		**20 anos**	
	Biomassa	**C. O.**	**Biomassa**	**C. O .**	**Biomassa**	**C. O .**	**Biomassa**	**C. O .**
Acícula	6,9	3,28	13,6	6,17	15	5,54	8,1	3,54
Ramos	5,1	2,45	10,1	3,78	43,1	17,11	47,7	17,69
Casca	2,6	1,06	7,7	3,26	13,6	5,46	10,9	4,12
Madeira	18,4	8,4	60,1	28,36	179,1	75,4	203,3	90,46
Raiz	8,3	3,56	15,3	6,92	26,4	11,3	37,1	17,58
Total	41,3	18,7	106,8	48,49	277,2	114,84	301,1	133,39

Fonte: Schumacher et al. (2002)

C.O : Carbono Orgânico (Mg ha^{-1})

Através dos resultados pode-se concluir que o fuste (madeira + casca), apresenta o maior acúmulo de carbono entre os componentes da biomassa das árvores. Considerando-se as quatro idades, o estoque médio de carbono é de 79 Mg ha^{-1}. No entanto, segundo Swisher (1994, apud SCHUMACHER, 2002) para plantações de *Pinus* sp. no Brasil o estoque médio de carbono orgânico é de 90 Mg por hectare. Verifica-se um aumento na quantidade de carbono na biomassa com o aumento da idade da floresta.

A tabela 09 mostra os resultados de estudos sobre o estoque de carbono em florestas de eucaliptos de diferentes idades, indicando, também, um aumento do carbono orgânico conforme aumenta a idade da floresta.

Tabela 09 – Estoque de carbono orgânico nos componentes da biomassa de eucalipto (Mg ha^{-1})

	2 anos	**4 anos**	**6 anos**	**8 anos**
Folha	1,26	1,85	2,78	3,17
Galho vivo	2,21	3,26	5,01	5,62
Galho morto	0,22	0,39	---	---
Casca	0,77	1,26	4,28	5,02
Madeira	5,28	9,49	59,95	73,35
Raiz	1,38	2,3	8,89	10,7
Total	11,12	18,55	80,91	97,86

Fonte: Adaptado de Schumacher, (2003).

Estimativas de carbono capturado e fixado pelas florestas do gênero *Pinus* de uso industrial no Brasil, para o período de 1990 a 1994 foram realizadas pelo Ministério da Ciência e Tecnologia. As estimativas foram realizadas separadamente para cada parte da árvore. Também foram realizadas estimativas, para cada ano do período. Os resultados estão representados na tabela 10.

Tabela 10 – Estimativa de carbono fixado pelas florestas do gênero *Pinus*

Ano	**Tronco**	**Copa**	**Raízes**	**Soma**
1990	12,52	3,13	4,38	20,03
1991	13,11	3,28	4,59	20,98
1992	13,56	3,39	4,75	21,70
1993	14,22	3,55	4,98	22,75
1994	14,42	3,60	5,05	23,07

Fonte: MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia
As unidades são milhões de toneladas

Os resultados obtidos mostram que a estimativa de carbono fixado pelas florestas plantadas de *Pinus* sp, no período de 1990 a 1994, apresentou um saldo positivo de 3,04 milhões de toneladas de carbono. A estimativa mostra também que esta floresta esteve em processo de aumento de fixação de carbono para o período analisado, indicando que as florestas plantadas de *Pinus* sp, para uso industrial fixaram mais carbono do que foi colhido na forma de madeira.

Ainda com base nesta estimativa, verifica-se que o tronco foi à parte que apresentou os maiores valores de carbono fixado, em torno de 63%, já as partes da árvore composta pela copa e raízes contribuíram com cerca de 37% do total dos valores estimados.

Segundo Grace et al (1996), diversos estudos demonstram que florestas tropicais absorvem quantidades significativas de CO_2, e podem ter influência substancial no balanço de carbono global. Por exemplo, um hectare de floresta amazônica nativa assimila 01 tonelada de carbono por ano.

Na Amazônia, segundo Fearnside e Guimarães (1996), uma floresta secundária com 10 anos de idade assimila de 6,0 a 10 t C ha^{-1} ano $^{-1}$; com 20 anos de idade a assimilação da floresta secundária varia de 4,0 a 7,0 t C ha^{-1} ano $^{-1}$; com 80 anos a assimilação anual média cai para 2,0 t C ha^{-1} ano $^{-1}$. Acredita-se que, com 100 anos, a floresta atinja o estado de equilíbrio, com taxa de assimilação de 0,97 t C ha^{-1} ano $^{-1}$.

Segundo Fearnside e Guimarães (1996), as florestas secundárias derivadas de pastagens responderam por mais de 80% do total de carbono seqüestrado por atividades relativas ao uso da terra no ano de 1.990. Isto acontece não somente porque a recuperação de pastagens tem uma alta taxa de seqüestro de carbono, mas porque a área total que tais florestas secundárias ocupam é relativamente grande. Além disto, cerca de 45% do total da área desflorestada na Amazônia está ocupada por pastagens produtivas; daí pode-se especular que grandes porções desta área serão abandonadas em um futuro próximo, transformando-se em potenciais drenos de carbono por meio do crescimento sucessional.

Alvarenga et al. (2002) realizaram estimativas de biomassa e carbono orgânico em *Hevea brasiliensis*. A seringueira pode ser considerada uma espécie florestal, pois ao final de seu ciclo produtivo de borracha, sua madeira pode ser utilizada para diversos fins, como fabricação de caixotes, móveis, construção civil etc. Este estudo foi realizado em seringal clonal IAN 873, no estado de Minas Gerais, com 25 anos de idade. Na tabela 11 estão relacionados os valores de biomassa e carbono orgânico para os estratos da seringueira estudado.

Tabela 11 - Dados médio de biomassa e de carbono orgânico (kg árvore^{-1}), estocados em diferentes estratos do clone IAN 873 de seringueira.

ESTRATO	CAULE		GALHO GROSSO		GALHO FINO		FOLHA		TOTAL	
	Biomassa	C. O	Biomassa	C. O	Biomassa	C. O	Biomassa	C. O	Biomassa	C. O
INFERIOR	28,9	13,0	98,3	44,2	26,7	12,0	16,3	7,3	170,2	76,6
MÉDIO	40,9	18,4	154,2	69,4	30,5	13,7	18,6	8,3	244,2	110,0
SUPERIOR	38,o	17,1	151,9	68,3	27,9	12,5	14,5	6,5	232,3	105,0

Fonte: Alvarenga et al. (2002)

Foi utilizado fator 0,45 para determinação do carbono orgânico existente na biomassa aérea da seringueira. Os resultados permitem concluir que o maior teor de carbono orgânico da seringueira, clone IAN 873, encontra-se estocado na biomassa dos galhos grossos, com 60,6 kg árvore^{-1}, representando 62,5% do carbono total da parte aérea, seguido do caule, dos galhos finos e das folhas. O carbono orgânico da parte aérea totalizou 97 kg árvore^{-1} e 48.500 kg ha^{-1}.

Schumacher et al. (2002) estimaram a biomassa e o teor de carbono para a espécie *Acacia mearnsii*. A estimativa da biomassa total foi obtida pelo produto da massa seca de cada componente, pelo número de árvores por hectare, como no estudo realizado para *Pinus taeda* . Na tabela 12 estão representadas estas estimativas em diferentes idades.

Tabela 12 - Estimativas de biomassa e CO em diferentes idades de *Acacia mearnsii* (Mg ha^{-1})

Componente	2 anos		4 anos		6 anos		8 anos	
	Biomassa	C. O.	Biomassa	C. O .	Biomassa	C. O .	Biomassa	C. O .
Folha	3,4	1,52	2,6	1,1	7,6	3,42	4,4	1,87
G. morto	0,1	0,02	2,4	0,94	3,4	1,38	9,6	3,68
G. vivo	2,3	0,87	7,4	2,9	16,2	6,29	12,8	5,16
Casca	1,6	0,63	5,7	2,15	7,8	3,01	12,1	4,69
Madeira	7,7	3,22	41,1	17,13	91	36,63	90,5	35,7
Raiz	2,6	0,98	8,6	3,45	12,7	5,02	18,7	7,05
Total	17,7	7,23	67,8	27,67	138,7	55,75	148,1	58,15

Fonte: Schumacher et al. (2002)

C.O : Carbono Orgânico (Mg há$^{-1}$)

01 Mg = 01 tonelada

Segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura – SBS (2002), a celulose, o carvão e a madeira serrada contém, a maior quantidade de carbono em toneladas entre os produtos florestais produzidos no Brasil. (tabela 13)

Tabela 13 – Conteúdo de carbono (Mg) em produtos florestais brasileiros - 2002

Produto	**Eucalipto**	**Pinus**	**Total**
Celulose	6.265.569	2.109.753	8.285.322
Pasta Alto Rendimento	-	173.057	173.057
Carvão	6.976.375	-	6.976.375
Chapa de fibra	327.250	-	327.250
Aglomerado	116.688	42.282	158.970
Madeira serrada	329.375	3.753.750	4.083.125
MDF	-	134.750	134.750
Compensado	-	768.075	768.075
Outros	175.151	363.610	538.761
Total			21.445.686

Fonte: Sociedade Brasileira de Silvicultura - SBS (2003)

01 Mg = 01 tonelada

O teor de carbono é a quantidade de carbono existente na matéria seca, os valores da literatura citam 50% de carbono na matéria seca. Assim, uma tonelada de matéria seca, madeira ou biomassa contêm cerca de 0,5 tonelada de carbono.

No trabalho realizado por Peter et al. (1996, apud MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2003) foram estimados valores de 50,5% de carbono para folhagem, 47,7% para ramos, 46,8% para o tronco e 46,4% para as raízes. O referido estudo foi realizado com a espécie *Eucalyptus camaldulensis* plantada no cerrado do estado de Minas Gerais. No estudo conduzido por Busnardo et al. (1985 apud MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA 2003), o valor médio encontrado foi de 46% de carbono para a biomassa da parte aérea da árvore que não é colhida, constituída pelos ramos e folhas.

Na realização deste estudo, adotou-se o valor de 0,50 para a relação carbono e matéria seca, tanto para o gênero *Pinus*, quanto para o gênero *Eucalyptus*. Isto significa, que uma tonelada de matéria seca do tronco, copa e raízes, conterá 0,50 tonelada de carbono.

3.13 CARBONO ORGÂNICO NOS SOLOS

Em solos tropicais e subtropicais altamente intemperizados, a matéria orgânica (MO) e a serrapilheira tem grande importância para o fornecimento de nutrientes às espécies florestais. Sendo a matéria orgânica uma das fontes da entrada de carbono orgânico (CO), a mesma é resultante, principalmente, a partir da decomposição de resíduos de origem animal e vegetal. Parte do carbono existente nestes resíduos são liberados para a atmosfera em forma de CO_2, e o restante passa a fazer parte da MO, como um componente do solo.

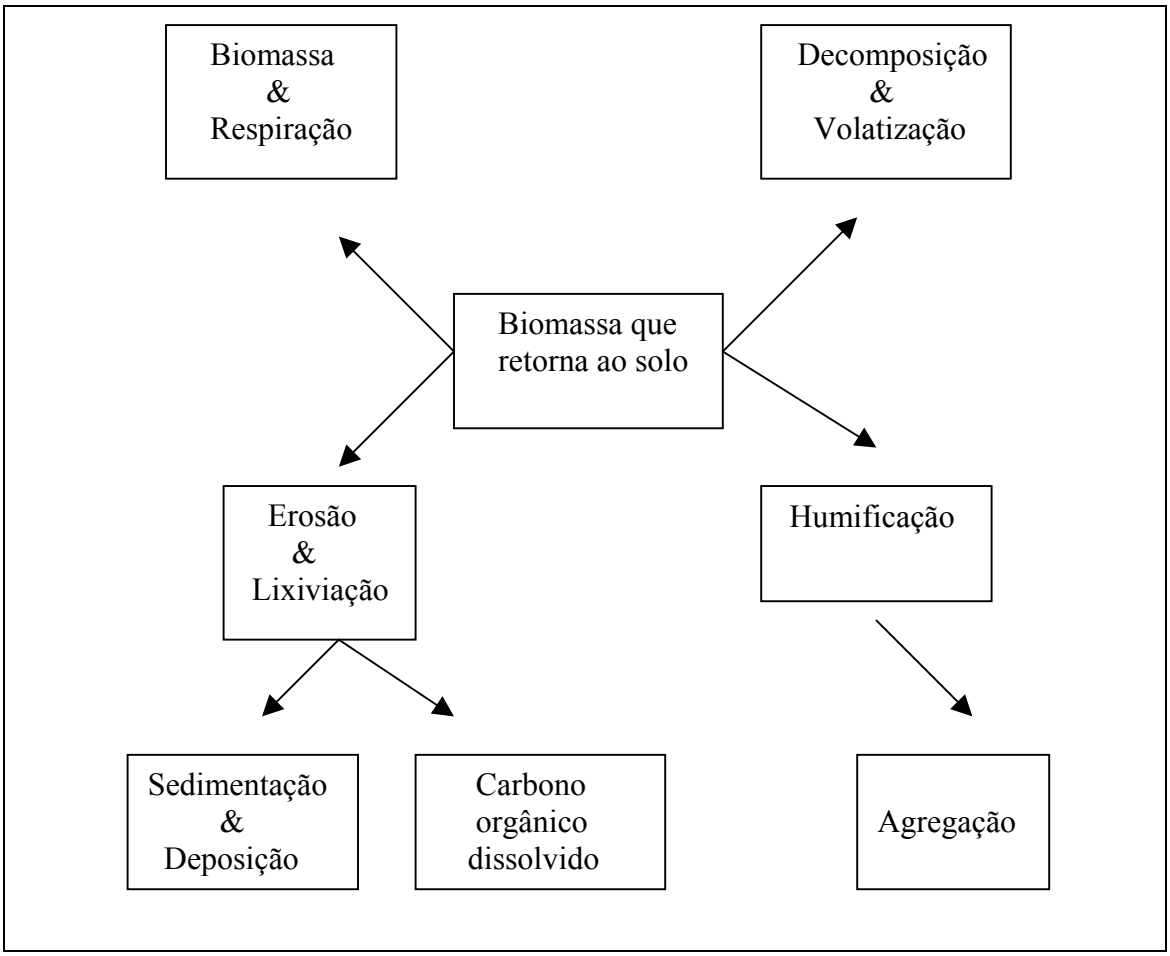
Em solos que não recebem aplicações de esterco ou outros materiais orgânicos, o CO é adicionado através da degradação de raízes e dos resíduos vegetais que retornam ao solo anualmente (galhos, acículas etc.).

Segundo Reis et al (1994) a queda de galhos, acículas (serrapilheira) só se estabiliza quando o povoamento atinge a maturidade. Portanto, no início do estabelecimento de florestas plantadas ou nativas, a produção de serrapilheira é baixa, aumentando com a idade, podendo posteriormente ocorrer uma redução. As principais etapas do retorno de carbono para o solo podem ser observados na figura 1.

Em muitos casos a decomposição da serrapilheira de espécies exóticas é menor do que em florestas tropicais nativas, especialmente quando introduzidas espécies como *Eucalyptus, Pinus e Casuarina*.

Durante a decomposição de resíduos de plantas ocorrem três fases (SWIFT et al., 1979 apud CALDEIRA 2002), conforme esquematizado na figura 01:

Figura 2 – Processos específicos do solo que afetam o destino do retorno da biomassa de C orgânico para o solo



FONTE: Lal; Kimble; Follett (2000 apud CALDEIRA et al 2002)

Nem todas as fases descritas acima ocorrem para todos os nutrientes e todos os tipos de serrapilheira.

A nível mundial, a quantidade média de carbono no solo florestal aumenta dos trópicos, temperados até as florestas boreais. (SCHLESINGER, 1977 apud CALDEIRA 2002). Esses baixos valores nos solos tropicais são causados por uma decomposição rápida que compensa a produção de serrapilheira.

Segundo Caldeira (2002, p. 202) “a distribuição do carbono orgânico no perfil dos solos também varia bastante a nível mundial, com quantidades menores armazenados na superfície dos solos nos trópicos do que nos solos florestais de latitude maiores”.

Alguns gêneros, como *Eucalyptus, Pinus e Casuarina*, são usadas para estabelecer plantações tropicais, pois muitas vezes acumulam uma quantidade maior de carbono orgânico na serrapilheira do que em florestas naturais.

Nesse sentido, pode ser observado nas tabelas 14 e 15, o teor de carbono em diferentes tipos de solos, plantados com espécies nativas e exóticas, no Rio Grande do Sul e Paraná.

Tabela 14 – Teor de carbono orgânico do solo em plantações florestais, nativas e exóticas no estado do Paraná.

Espécie	**Idade**	**Local**	**Solo**	**Carbono Orgânico (g Kg^{-1})**		
				0 - 20	**21 - 40 cm**	**41 - 60**
Araucária Angustifolia	23	General Carneiro/PR	Ra6	20,6	17,6	10,2
	24			38,6	22,9	16,7
	25			24,1	21,3	16,2
	29			22,7	11,2	5
	30			31,5	23,6	15,8
	31			42,3	29,6	25,5
	32			16,9	13,4	12,7
Pinus taeda	14	General Carneiro/PR	TB02	38,6	37,2	27,5
	16			24,4	19,6	15
	19			20	17	10
	21			32,7	20	18,9
	22			22,7	13,9	11,9
	23		Ra6	21,3	15,8	15,5
	32			16,9	12,7	8,1

Fonte: adaptado de Caldeira (2002).

Ra6 – associação solos litólicos álicos + terra rocha estruturada álica

Tba2 – associação estruturada álica + cambissolo álico Tb

AVD – argissolo vermelho distrófico

CHA – cambissolo húmico alumínico

Tabela 15 - Teor de carbono orgânico do solo em plantações florestais, nativas e exóticas, no estado do Rio Grande do Sul.

				Carbono Orgânico (g Kg^{-1})				
Espécie	**Idade**	**Local**	**Solo**	**0-20**	**21-40**	**41-60 cm**	**61-80**	**81-100**
	2			16,9	14,3	9,8	3,6	3,6
Acacia mearnsii	4	Butiá/RS	AVD típico	9,1	6,8	8,9	7,3	6,4
	6			10	6,8	7,8	6,9	5,1
	8			12,7	12,3	8,2	6,9	3,8
	5			45,2	30,2	20,5	8,1	5,4
Pinus taeda	10	Cambará do Sul/RS	CHA típico	68,9	57,1	45,4	10,5	6
	15			40	31,8	22,6	10,9	8,5
	20			27,2	25,2	15,9	9,8	7,4

Fonte: adaptado de Caldeira (2002).

AVD – argissolo vermelho distrófico, CHA – cambissolo húmico alumínico

Independente da espécie, bem como o tipo de solo, os maiores teores de carbono estão nos primeiros 20 cm de profundidade. Isso é em função do teor mais elevado de matéria orgânica nesta profundidade, proveniente principalmente da decomposição da serrapilheira. Pode-se observar que os teores diminuem conforme aumenta a profundidade, pela diminuição da matéria orgânica.

Comparando os tipos de solos com suas respectivas espécies florestais, observa-se também, que os maiores teores de carbono nos primeiros 20 cm de profundidade está no CHA típico estabelecido com *Pinus taeda* com 5, 10 e 15 anos. A região de Cambará do Sul é considerada muito fria, os teores de matéria orgânica e carbono, normalmente são altos, principalmente na camada superficial.

A contribuição *de Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* plantadas no município de General Carneiro, PR, no teor de carbono orgânico total do solo (0 a 60 cm) não segue uma tendência em função da idade, ou seja, quanto mais velhos os povoamentos maiores são as contribuições do teor de carbono.

Embora o bioma Amazônico seja potencialmente um grande dreno de carbono, o atual padrão de uso da terra promove a emissão de uma grande quantidade de carbono para a atmosfera, e pode transformar a floresta em uma fonte de carbono para a atmosfera. Quando uma floresta é cortada ou queimada, um pulso de CO_2 é emitido para a atmosfera. Araújo *et al*, (1999)

realizaram um experimento em que uma área de floresta primária foi cortada e deixada para secar por quatro meses, quando se realizou a queimada. Este procedimento é semelhante ao utilizado pelos proprietários de terras na Amazônia. O fogo provocou a emissão de cerca de 19,1 t C ha^{-1}. além da grande emissão de carbono que ocorre no momento do fogo, a alteração da paisagem também modifica o balanço de carbono da região: a decomposição de raízes e de restos da floresta que não foram consumidos pelo fogo provoca um aumento na emissão de CO_2 (NEPSTAD et al., 1999).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O projeto foi desenvolvido em áreas florestais pertencentes às empresas Mobasa e Terranova Brasil Ltda e na unidade industrial de propriedade da Terranova Brasil Ltda, localizada no município de Rio Negrinho.

As propriedades da Terranova Brasil Ltda caracterizadas segundo o Plano de Uso do Solo, STCP – Engenharia de Projetos Ltda (1999), localizam-se na região norte do Estado de Santa Catarina, no Planalto Ocidental (Figura 2).

As áreas da empresa Mobasa utilizadas no estudo, também estão localizadas no planalto norte catarinense, possuindo características similares de clima e solo.

Figura 3 – Área em estudo
Fonte: Terranova Brasil Ltda

4.1.1 Clima

O clima da região é o Cfb (segundo Köppen) - Mesotérmico, subtropical úmido, com verões frescos, sem estação seca e com geadas severas freqüentes. A temperatura média do mês mais quente é sempre inferior a 22°C.

As variações diurnas da radiação, temperatura, umidade e nebulosidade, assim como as influências que a topografia exerce na direção dos ventos, produzem variações da pluviosidade local. Em todo o Estado de Santa Catarina, a pluviosidade anual é superior a 1.000mm.

A umidade relativa do ar, sendo uma função da temperatura, reflete também a influência do fator altitude. Assim, zonas de índices mais elevados são aquelas em que a temperatura local não é suficientemente elevada para, por meio da evaporação, diminuir a umidade produzida pelas chuvas. No Estado de Santa Catarina, a umidade relativa média anual varia de 72 a 87%.

Na área do experimento a precipitação em 2002 e 2003 está expressa na tabela 16.

Tabela 16 – precipitações em 2002 e 2003 (mm)

mês	**2002**	**2003**
JAN	143	139
FEV	153	71
MAR	55	75
ABR	122	72
MAI	93	42
JUN	41	97
JUL	105	78
AGO	71	28
SET	254	105
OUT	144	82
NOV	195	119
DEZ	164	243
TOTAL	1.543	1.153

Fonte: Terranova Brasil Ltda

O pluviômetro está instalado na fazenda Bituva Grande de propriedade da Terranova Brasil, localizada na Sub bacia do Rio Preto, afluente do Rio Negro.

4.1.2 Hidrografia

Os municípios onde se encontram as propriedades da empresa Terranova Brasil Ltda têm suas áreas sobre duas grandes bacias da região Sul do Brasil: a bacia do Paraná e a bacia do Sudeste.

As áreas florestais utilizadas no estudo encontram-se no rio Negrinho e rio Preto, afluentes do rio Negro, pertencente à grande bacia do Paraná, como pode ser observado na figura 3, abaixo.

Figura 4 – Grande bacia hidrográfica do Paraná,

4.1.3 Solos

De acordo com o Plano de Uso do Solo, STCP – Engenharia de Projetos Ltda. (1999), as áreas em estudo possuem solos do tipo Cambissolos, origem de rochas sedimentares (argilitos, siltitos e folhelhos), sem gradiente textural, com menores riscos de perdas por erosão hídrica e com maior capacidade de retenção de umidade e nutrientes devido ao alto valor de silte e alta capacidade de troca de cátions.

4.2 SISTEMA ESTUDADO

Para se obter o resultado do balanço entre as emissões e a captura do carbono, foi estudada uma empresa que desenvolve tanto atividades florestais como industriais, desde a obtenção das mudas de pinus até a elaboração do produto final, sendo aproximadamente 70% de molduras para construção civil e 30% de componentes de portas, ambos para exportação.

O sistema estudado considerou várias idades dos plantios de *Pinus taeda* e as principais operações que são responsáveis pela emissão de CO_2, incorporando basicamente emissões por veículos e máquinas florestais e industriais (emissões por recursos não-renováveis) e emissão por caldeira (emissão por recurso renovável).

Detalhadamente, o sistema estudado contemplou as seguintes operações:

a) uso de veículos próprios para transporte de pessoal;
b) veículos alugados para transporte de pessoal;
c) máquinas florestais para silvicultura;
d) uso de motosserras;
e) máquinas para construção de estradas;
f) máquinas para manutenção de estradas;
g) máquinas para colheita;
h) caminhões para transporte de toras;
i) máquinas pátio de toras;
j) caminhões para transporte COC (transporte de produtos que são beneficiados em empresas terceirizadas e depois retornam para Terranova Brasil) e;
k) caldeira.

l) fazendas florestais de 5, 12, 14, 18, 25 e 26 anos.

A delimitação do sistema neste estudo, abrange as atividades internas dos processos florestal e industrial, não considerando operações como o transporte de produto acabado (molduras) e o transporte de insumos como cola e tinta, por exemplo.

4.3 METODOLOGIA ADOTADA PARA O CÁLCULO DA CAPTURA DE CARBONO

Para o cálculo da captura de carbono foi utilizada a metodologia de medição direta, ou seja, foram obtidos os resultados diretamente de amostras coletadas em campo em diferentes estratos estabelecidos pelo inventário florestal, conforme etapas estabelecidas abaixo.

4.3.1 Inventário Florestal

O inventário florestal é procedimento básico para se obter informações qualiquantitativas do reflorestamento em estudo, de forma que possam ser estabelecidas as relações pertinentes para obtenção dos valores de carbono e, também, para propiciar comparações com florestas de outras regiões ou com parâmetros dendrométricos semelhantes.

As florestas de pinus com idades superiores a 12 anos, da Mobasa e da Terranova já possuíam inventários recentes, realizados pelas próprias empresas.

As florestas mais jovens, com idade de 05 anos não possuíam dados dendrométricos, e para determinação destes foi realizado o inventário florestal em dezembro de 2.003.

A área inventariada dos plantios jovens foi de 438 ha, distribuídas em duas diferentes fazendas (Fazenda Bituva Grande e Fazenda Serraria). Foram instaladas 41 unidades amostrais de 250 m², onde foram medidos todos os diâmetros à altura do peito (DAP) e 20% das alturas das árvores. Através de hipsometria foram estimadas as alturas das árvores não medidas. Para esta estimativa foram testados os seguintes modelos hipsométricos.

a) $1/\sqrt{H} - 1{,}30 = B_0 + B_1 * 1/D$

b) $1/\sqrt{(H - 1{,}30} = B_0 + B_1 * 1/D$

c) $1/\sqrt{(H-1{,}30}$ = $B_0 + B_1/D$

d) $LOGH = B_0 + B_1 * LOGD$

e) $LNH = B_0 + B_1 * LND$

f) $LNH = B_0 + B_1 * 1/D^2$

g) $1/\sqrt{H} = B_0 + B_1 * 1/D + B_2 * 1/D^2$

h) $H = B_0 + B_1 * D + B_2 * D^2$

Onde:

B_0, B_1 e B_2 são os coeficientes;

D = diâmetro a 1,30 metros de altura

H = altura

Para avaliação do melhor modelo, foram efetuadas as seguintes análises estatísticas:

a) coeficiente de determinação (R^2);

b) erro padrão da estimativa ($Sxy_{\%}$);

c) análise gráfica dos resíduos;

d) teste F.

As informações obtidas pelos inventários serviram de base para estratificação do projeto, considerando-se principalmente os fatores idade e índice de sítio.

4.3.2 Índice de Sítio

Para os plantios jovens foi determinado o índice de sítio através da medição da altura das 03 maiores árvores em DAP de cada parcela instalada para o inventário florestal que equivale a aproximadamente 120 árvores por hectare, pois o plantio possui uma densidade média de 1.250 árvores por hectare. A média destas alturas indica o sítio. Os plantios adultos já possuem seus respectivos índices, com exceção dos plantios pertencentes à empresa Mobasa, onde não será utilizado o índice de sítio como parâmetro de estratificação.

Segundo CARMEAN (1970), o índice mais utilizado para determinar a produtividade de uma área florestal é o índice de sítio, que é uma expressão da qualidade do sítio baseada na altura das árvores dominantes e codominantes em uma determinada idade. Entre as diversas definições de altura dominante presentes na literatura, pode-se citar a altura média das 100 árvores mais grossas por hectare (Assmann), e a altura correspondente ao DAP médio de 20% das árvores mais grossas do povoamento (Weise).

4.3.3 Definição das partes da árvore a serem quantificadas

Foram coletados dados somente dos troncos, pois é a única parte da árvore que é utilizada no processo industrial, sendo assim possível à determinação do acúmulo de carbono no produto final, que para este estudo, é a moldura produzida na unidade industrial da Terranova Brasil.

Não foram coletados dados da copa, raiz, casca, galhos, acícula e solo, pois este material não será utilizado na indústria, e sim incorporados ao solo ou eliminados para atmosfera caracterizando ciclo do carbono.

A estimativa da biomassa do tronco é obtida com base no volume de madeira do inventário florestal e na densidade básica dos indivíduos que constituem a floresta.

4.3.4 Sistemática de coleta de dados.

Depois de se analisar os dados dendrométricos obtidos no inventário, iniciou-se a etapa de coleta de amostras para medição do carbono, utilizando-se a idade e o índice de sítio como parâmetros de estratificação.

Visando contemplar várias etapas de desenvolvimento do pinus, foram coletadas amostras em diversas idades de seu ciclo, 05, 12, 14, 18, 25 e 26 anos.

Os povoamentos foram separados por idade e após por índice de sítio, pois o padrão de crescimento estrutural de uma árvore pode ser distinto em função dos fatores edafoclimáticos do sítio.

Considerando-se as idades estudadas e também os diferentes índices de sítio, foram obtidos 12 estratos, conforme tabela 17. O número de cada estrato equivale a um mesmo número

de índice de sítio, excluindo-se os estratos originados dos reflorestamentos da Mobasa (12, 14 e 18 anos), pois não foram determinados seus índices.

Após esta separação, foram selecionadas aproximadamente 13 árvores de cada estrato, distribuídas de acordo com a freqüência diamétrica de cada estrato, totalizando em 157 árvores para todo experimento.

Além da distribuição pela freqüência diamétrica, outro fator que determinou este número médio de 13 árvores como suficiente foi a pequena variação de porcentagem de carbono encontrada entre as árvores dos estratos.

Os estratos levantados e o número de árvores abatidas por estrato estão na tabela 17:

As árvores selecionadas foram derrubadas, seccionadas e retirados discos com espessura entre 02 e 06 cm a 25%, 50% e 75% de sua altura total. Cada disco recebeu uma numeração seqüencial.

Desta forma, de cada árvore selecionada foram retirados 03 discos, classificados em inferior (25% da altura), médio (50% da altura) e superior (75% da altura).

Todos os discos retirados foram acondicionados e levados no mesmo dia para a Terranova Brasil. Na obtenção dos dados alguns discos foram desconsiderados por terem sido danificados ou perdidos em alguma etapa do trabalho.

Tabela 17 – Estratos estabelecidos no estudo

classes DAP (cm)	**Árvores abatidas**	**classes DAP (cm)**	**Árvores abatidas**	**Classe DAP (cm)**	**Árvores abatidas**
Estrato 01 (05 anos)		**Estrato 05 (25 anos)**		**Estrato 09 (26 anos)**	
< 4,8	1	< 27	2	< 30	2
4,8-7,6	1	27-36	8	30-35	3
7,6-10,4	3	36-44	2	35-41	2
10,4-13,2	6	44-53	1	41-47	3
> 13,2	1	> 53	1	> 47	1
Total	12	Total	14	Total	11
Estrato 02 (05 anos)		**Estrato 06 (26 anos)**		**Estrato 10 (14 anos)**	
< 3,6	1	< 24	1	< 20	1
3,6-7,2	1	24-31	4	20-25	4
7,2-10,8	2	31-39	6	25-30	5
10,8-14,4	7	39-47	2	30-35	2
> 14,4	2	> 47	1	> 35	1
Total	13	Total	14	Total	13
Estrato 03 (25 anos)		**Estrato 07 (26 anos)**		**Estrato 11 (18 anos)**	
< 19	1	< 26	2	< 18	1
19-28	3	26-31	3	18-24	3
28-37	7	31-37	5	24-30	6
37-45	2	37-43	2	30-36	3
> 45	1	> 43	1	> 36	1
Total	14	Total	13	Total	14
Estrato 04 (25 anos)		**Estrato 08 (26 anos)**		**Estrato 12 (12 anos)**	
< 25	1	< 30	2	< 15	1
25-31	4	30-38	6	15-21	3
31-36	5	38-46	2	21-27	6
36-41	2	46-54	1	27-33	3
> 41	1	> 62	1	> 33	1
Total	13	Total	12	Total	14

Na empresa foram realizadas as seguintes atividades:

a) retirada da casca de cada disco;

b) pesagem da casca (esta pesagem não foi realizada individualmente por árvore, mas sim de uma amostra por estrato);

c) pesagem de cada disco, sem a casca, em uma balança de precisão digital;

d) medição de cada disco para o cálculo do volume, tomando-se o diâmetro em duas posições e o comprimento (altura do disco) em 04 posições, utilizando fita métrica, com precisão em milímetros. As medidas foram feitas em centímetros. Foram feitas médias dos diâmetros e comprimentos e em seguida foram calculados os volumes utilizando a seguinte fórmula;

$$V = \frac{(D^2) * \pi}{40.000} * h$$

Onde:

V = Volume (metros cúbicos)

D = Diâmetro (centímetros)

h = comprimento

e) após os cálculos dos volumes, os discos foram encaminhados para estufa, onde constantemente foram monitorados e pesados até a estabilização do peso;

f) após a estabilização do peso, as amostras de madeira e de casca foram pesadas e anotados os pesos para o cálculo da densidade.

4.3.5 Determinação da densidade

Com os dados de volume verde e peso seco, foi determinada a densidade básica de cada disco utilizando a seguinte fórmula:

$$D = \frac{Pse}{Vve}$$

Onde,

D = densidade básica (g/cm³)

Pse = peso seco (g)

Vve = volume verde (cm³)

4.3.6 Determinação da biomassa

Após determinada a densidade, foi calculada a massa seca de cada disco, utilizando a seguinte equação:

$$Mse = D*Vve$$

Onde,

Mse = massa seca (kg).

D = densidade básica (kg/m³)

Vve = volume verde (m³)

4.3.7 Obtenção das amostras para análise de carbono

Realizadas as pesagens dos discos, estes foram encaminhados para as plainas, com objetivo de se obter amostras (cepilho) para uma posterior análise do carbono no laboratório da EPAGRI - Caçador.

Nesta plaina cada disco de *Pinus* foi processado por vez, onde sempre após o processamento se realizava a limpeza da área onde se armazenava o cepilho (amostra) de forma a não contaminar as amostras das fatias subseqüentes.

As amostras foram obtidas aplainando-se sempre o disco no sentido perpendicular aos anéis de crescimento em direção à medula, visando abranger todos os anéis de crescimento, de forma a obter informações de densidade e porcentagem de carbono que representem a média de todas as faixas etárias.

As amostras foram individualmente armazenadas em sacos plásticos, devidamente etiquetados com o número original de cada disco incorporando-se as letras TI (terço inferior), TM (terço médio) e TS (terço superior). Exemplo:

31 TS

Este disco é do terço superior da árvore número 31.

4.3.8 Determinação de carbono orgânico

As amostras de cepilho foram encaminhadas para a EPAGRI – Caçador. Lá foram secas novamente em estufas a uma temperatura de 60°C. Após secas, estas passaram por um triturador, onde foram moídas e transformadas em pó, gerando sub-amostras. Os códigos antes estabelecidos nas amostras foram mantidos.

Estas sub-amostras (pó) foram produzidas para facilitar a reação química à qual serão submetidas.

A técnica utilizada para determinação do carbono orgânico foi a da titulação pelo Método de Walkjey – Black.

Reagentes utilizados:

a) $K_2Cr_2O_7$ 1N: Dissolver 49,04g de dicromato de potássio p.a. em água e diluir para 1litro. Secar previamente o reagente 105°C.

b) Ácido Sulfúrico concentrado (+ ou – 96%).

c) Complexo de Ortofenantrolina – Ferro 0,025N: Dissolver 14,85g de Ortofenantrolina monohidrata e 6,95g de $FeSO_4$. $7H_2O$ em água e diluir para 1 litro.

d) $FeSO_4$. $7H_2O$ 0,5N: Dissolver 140g de $FeSO_4$. $7H_2O$ p. a. em água, adicionar 15 ml de H_2SO_4 concentrado, esfriar e diluir para 1 litro.

A amostra foi padronizada diariamente, titulando contra 10ml de dicromato de potássio 1N, com ponto de virar como descrito na metodologia abaixo.

Metodologia utilizada pela EPAGRI:

a) moer amostra para passar em malha de 0,5 milímetros

b) pesar alíquotas contendo de 10 a 25 mg de C-orgânico (0,05g), transferindo-se depois para um Erlenmeyer de 250 ml;

c) adicionar 10ml de $K_2Cr_2O_7$ 1 N e agitar lentamente para dispersar a amostra;

d) rapidamente adicionar 20ml de H_2SO_4 concentrado, dirigindo o ácido para a suspensão;

e) agitar por um minuto e deixar em repouso por mais 30 minutos, sobre madeira ou cimento amianto. Adicionar 200ml de água destilada e filtrar caso o ponto de virada não ficar bem claro. Adicionar 3 a 4 gotas do indicador de Ortofenantrolina e titular com $FeSO_4$ 0,5 N.

f) quando o ponto de virar se aproxima, a solução torna-se verde e muda-se para verde escuro. Então passa a titular gota a gota até que a solução muda rapidamente de azul para vermelho (cor marrom em luz refletida contra fundo branco).

g) repetir a determinação com menos amostras se mais de 75% do dicromato é reduzido.

A porcentagem de carbono (%C) foi calculada utilizando-se a fórmula:

$$\%C = \frac{(meK2Cr2O7 - meFeSO4)0{,}003 * 100 * 1{,}33}{P}$$

Onde:

P = peso em gramas de amostra seca

me $K_2Cr_2O_7$ = ml $K_2Cr_2O_7$ 1N

me $FeSO_4$ = ml $FeSO_4$. Normalidade da solução.

ml = mililitros

Depois de realizada a quantificação de carbono em laboratório, foi emitido um relatório pela EPAGRI constando a porcentagem de carbono para cada sub-amostra.

4.3.9. Determinação do fator carbono

O fator carbono é obtido através do resultado encontrado para a densidade nas diferentes idades, multiplicado pela porcentagem de carbono nas mesmas idades.

Fator carbono = densidade (g/cm^3) x C (%)

Os fatores encontrados permitem a obtenção de resultados rápidos de quantidade de carbono em toneladas através da existência de dados de volume de madeira em pé.

4.4 METODOLOGIA ADOTADA PARA CÁLCULO DA EMISSÃO DE CARBONO

Para quantificação da emissão de carbono foram utilizadas duas metodologias:

a) medição direta nos pontos de emissão;

b) cálculo de emissão através dos fatores do Guidelines for National Greenhouse Gás Inventories.

4.4.1 Medição direta nos pontos de emissão

A medição direta foi realizada com objetivo de se obter dados para estabelecer comparações com os resultados estabelecidos pelos fatores Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

A coleta, bem como a análise dos gases de emissão, foram realizadas nos veículos, maquinários e caldeira da empresa Terranova Brasil, no mês de abril de 2004, conforme tabela 18. A amostragem foi procedida na saída dos gases do motor.

O objetivo do ensaio foi quantificar o carbono total emitido pelos veículos, maquinários e caldeira, sendo o resultado expresso em gramas de carbono por hora.

Tabela 18 - Pontos de emissão medidos diretamente

Atividade	**Máquina/Equipamento**
Silvicultura	Trator
Colheita	Skidder
	Feller
	Guincho
Estradas	Construção/Manutenção
Transporte de toras	Caminhão Scania
	Caminhão Volvo
	Caminhão Merceds Benz
Pátio de toras	Pá carregadeira
	Empilhadeira
	Triciclo
Indústria	Caldeira

Devido não haver possibilidade de acoplar o aparelho de análise nos equipamentos, de forma a quantificar suas emissões durante a execução de suas atividades normais, ou seja, considerando todas as situações de esforço a que estão submetidas, para cada máquina ou equipamento foram coletadas 20 repetições, sendo 10 com o motor em alta rotação e 10 com o motor em baixa rotação.

Os resultados de emissão foram estabelecidos em quantidade de CO_2 por hora através da média calculada entre a alta e baixa rotação, multiplicado pela quantidade de horas trabalhadas, fornecida pela Terranova.

O método utilizado para coleta e medição das concentrações de dióxido de carbono foi o eletroquímico, através do aparelho de analise de gases TEXTO modelo MI 300 e tubo de Pitot modelo 0635 2045 para a vazão.

No item resultados são apresentadas as tabelas obtidas, sendo que o valor de CO_2 é descrito em porcentagem. O valor adotado para o cálculo de carbono total é a média aritmética de cada ensaio.

A pressão e a correção do O_2 de referência foi calculado para a altitude de 800m acima do nível do mar, aplicando a pressão atmosférica de 920 hPa.

Foi utilizado o aparelho TEXTO MI 300, modelo 0600 7431, número de série 00763119/211, certificado número 03.044 de 27/11/03, com data de validade até 27/11/04 e o tubo de Pitot, modelo 0635 2045, certificado número 03045 de 27/11/03, com validade até 27/11/04.

4.4.2 Cálculo de emissão através dos fatores do Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

A estimativa através deste método teve como objetivo a quantificação de dióxido de carbono emitido pelas máquinas e equipamentos após ser calculado o balanço.

Para obtenção dos valores de CO_2 emitidos pelos processos florestal, industrial, transporte e caldeira, partiu-se do tipo e quantidade de combustível utilizada em cada fonte, multiplicando-se pelo fator do Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Esta metodologia é conhecida como "Método Top –down".

Os cálculos realizados foram:

E (GJ) = V x f

V = Quantidade de combustível em litros;

f = fator para este tipo de combustível segundo a tabela Greenhouse protocolo de gás, sendo:

E (GJ) = energia em Giga joules;

f = 0,0371 para o diesel;

f = 0,0344 para gasolina;

f = 0,0249 para o GLP.

Após a obtenção da energia, foi obtido o valor da emissão de CO_2 da seguinte forma:

Emissão = E x $f_{emissão}$ / 1.000

$f_{emissão}$ = 74,01 $kgCO_2/GJ$ para o diesel;

$f_{emissão.}$= 72,29 $kgCO_2/GJ$ para a gasolina;

$f_{emissão}$ = 63,20 $kgCO_2/GJ$ para o GLP.

A quantidade de CO_2 em toneladas emitida pela caldeira foi obtida através da quantidade de energia gerada em Giga Joules – GJ (fornecida diretamente pela caldeira da empresa) multiplicada pelo fator 0,10044 encontrado na tabela Greenhouse Gas Protocol.

Assim sendo, 1 GJ equivale a 0,10044 toneladas de dióxido de carbono.

A partir disto as emissões de carbono foram calculadas, lembrando-se que em função dos respectivos pesos moleculares, 44 t CO_2 corresponde a 12 t de C ou 1 tonelada de carbono, corresponde a 3,667 toneladas de CO_2.

4.5 METODOLOGIA ADOTADA PARA O CÁLCULO DO BALANÇO DE CARBONO

Para o cálculo do balanço de carbono foi estabelecido como período de levantamento de dados e análises, o ano de 2003, obtendo-se o resultado pela a diferença entre a captura de carbono e sua emissão na forma de dióxido de carbono e após transformando para carbono.

Do total capturado de carbono pelos reflorestamentos, serão subtraídas todas emissões resultantes dos processos florestal e industrial para se obter o saldo do armazenamento dentro do sistema estudado.

O carbono capturado é aquele presente nos produtos elaborados pela empresa, sendo eles:

a) produto acabado e cavaco;
b) madeira cepilhada (plainada) e madeira rústica;
c) estoque de carbono da floresta até os 19 anos dividido por 19. Este valor será utilizado no balanço, pois representa a quantidade de dióxido de carbono que está sendo retirada anualmente da atmosfera.

A emissão de carbono é resultante da queima dos subprodutos da madeira para gerar energia, considerada emissão por produtos renováveis e também das operações de máquinas e

equipamentos nas unidades florestais e na indústria, através dos consumos de diesel, gasolina e GLP, considerada uma emissão por produtos não-renováveis.

A seguir estão relacionadas as fontes de emissão de carbono estabelecidas para o sistema estudado.

a) cepilho seco;
b) serragem verde e seca;
c) caldeira;
d) atividades florestais;
e) atividades industriais.

O balanço de carbono é obtido, então, através de cálculo direto, somando-se os valores de captura e subtraindo-se os valores de emissão de carbono.

O detalhamento da forma de cálculo para cada fonte de captura e emissão está relacionado nos itens seguintes.

4.5.1 Determinação da quantidade de carbono nos produtos acabados, no cavaco, na madeira cepilhada e na madeira rústica.

Estes volumes foram repassados diretamente pela empresa através de seus controles de venda, ou seja, são os produtos que foram beneficiados durante o ano e que possuem carbono estocado em sua composição.

Estes produtos serão utilizados pelo consumidor final e os valores de carbono serão "armazenados" durante seu período de uso, desconsiderando-se a depreciação do produto.

No caso do cavaco, este sub-produto será utilizado para fabricação de MDF, ficando seu carbono também armazenado e utilizado pelo consumidor final.

Para a obtenção dos valores em toneladas de carbono, multiplicou-se a quantidade de produto beneficiado em metros cúbicos pelo fator carbono médio para as idades de 18, 25 e 26 anos encontrados neste estudo, representando uma médias do que foi consumida pela indústria em 2.003.

4.5.2 Estimativa de incremento de carbono

O incremento de carbono obtido pelo reflorestamento durante o ano de 2.003 é resultado do crescimento em volume deste ano multiplicado pelo fator carbono.

Para este estudo, foi simulada uma situação de sustentabilidade, onde a empresa planta todas as áreas que colhe, mantendo um incremento anual equivalente ao volume anual necessário para abastecer a fábrica.

A estimativa do incremento foi então, realizada, partindo-se de uma área plantada simulada, multiplicando-se por um volume por hectare encontrado em bibliografias e em fatores de carbono encontrados neste estudo.

O fator carbono adotado para cada idade foi:

a) 0,1745 para idade de 03 a 09 anos;
b) 0,1904 para idade de 10 a 13 anos;
c) 0,1910 para idade de 14 a 16 anos;
d) 0,2139 para idade de 17 a 20 anos.

O fator 0,1745 é o valor encontrado para o estrato de 05 anos, o valor de 0,1904 para o estrato de 12 anos, 0,1910 para 18 anos e o valor de 0,2139 para os estratos com idades de 18, 25 e 26 anos.

Para a estimativa do volume por hectare foram utilizados valores obtidos de bibliografias, considerando um volume de 75 m^3/ha aos 05 anos (MCT, 1990) e adotando-se um incremento médio anual de 25m^3/ha/ano a partir desta idade, obtendo-se 450m^3 aos 20 anos, o que equivale a um IMA de 22,5m^3/hectare/ano.

As possíveis interferências por desbastes não foram consideradas, admitindo-se somente um crescimento de 25m^3/ha/ano desde o quinto até o vigésimo ano, o qual é a idade de corte.

Para que se atinja o valor do consumo da indústria do ano 2.003, que foi de 401.978 m^3 , tem-se que colher 893,29 hectares, que multiplicados pelo volume aos 20 anos, obtêm-se o volume necessário para indústria.

Para o estudo foi feita uma simulação, admitindo-se que, todo ano se cortam e se plantam 893,29 hectares, mantendo-se desta forma a sustentabilidade do negócio.

Foi adotado este raciocínio para que os cálculos de captura e emissão fossem realizados sempre sobre a mesma base.

4.5.3 Determinação da quantidade de cepilho e serragem

As quantidades de cepilho e serragem, também foram obtidas da empresa através da informação de venda destes produtos em toneladas.

Estes produtos são considerados como fontes emissoras de dióxido de carbono, porque são utilizados por outras empresas para gerar energia através de sua queima.

Para a obtenção do volume multiplicou-se o peso em toneladas por 0,243, fator este obtido através de experimentos realizados pela própria Terranova.

Para a obtenção da a quantidade de carbono, multiplicou-se o volume do cepilho e serragem pelo fator de carbono médio, representado na tabela 35.

4.5.4 Emissão pela caldeira

A emissão de CO_2 pela caldeira é resultado da queima de subprodutos da indústria para gerar energia e vapor para as estufas de secagem de madeira.

A fórmula de cálculo para esta fonte de emissão está descrita no item 4.4.2.

4.5.5 Emissões pelas atividades florestais e industriais

O cálculo destas emissões também está demonstrado no item 4.4.2.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ESTRATIFICAÇÃO

Na tabela 19 estão representados os diferentes estratos e os índices de sítio. Para os povoamentos pertencentes a Mobasa, com idade de 12, 14 e 18 anos, não foram determinados seus respectivos índices de sítio.

Tabela 19 – Estratificação por idade e índice de sítio

Estrato	**Idade(anos)**	**Índice de Sítio (metros)**
1	5	6,3
2	5	7,75
3	25	23,85
4	25	25,65
5	25	26,8
6	26	24,95
7	26	26,75
8	26	28,15
9	26	30,5
10	14	---
11	18	---
12	12	---

5.2 RELAÇÃO HIPSOMÉTRICA

Para estimar a altura das árvores de *Pinus taeda*, que não foram medidas em campo, utilizou-se de um modelo de equação. Na tabela a seguir são apresentados os coeficientes de regressão, o coeficiente de determinação e o erro padrão da estimativa encontrados.

Tabela 20 – Relação Hipsométrica

Modelo	**B0**	**B1**	**B2**	**R²**	**Sxy**
$1/\sqrt{H} = B_0 + B_1 * 1/D + B_2 * 1/D^2$	0,281693	1,553352	-1,827614	0,74	4,45

5.3 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS

Os parâmetros dendrométricos obtidos através do inventário florestal para os povoamentos de *Pinus taeda*, aos 5, 12, 14, 18, 25 e 26 anos, estão apresentados na tabela 21.

Tabela 21 – Parâmetros dendrométricos dos povoamentos de *Pinus taeda* amostrados

Parâmetro	**Idade (anos)**					
	5	**12**	**14**	**18**	**25**	**26**
Altura média (m)	6,21	17,80	20,3	24,1	27,0	25,0
DAP médio (cm)	11,81	22,00	27,7	27,3	35,0	33,0
Árvores/ha.	1.119	1.450	*----	742	385	427

* Esta informação não foi encontrada no banco de dados desta idade

5.4 DENSIDADE E PORCENTAGEM DE CARBONO

5.4.1 Valores de densidade e carbono

Abaixo estão demonstradas as tabelas com as respectivas informações de densidade e porcentagem de carbono para cada amostra por idade, onde:

TI = terço inferior;
TM = terço médio;
TS = terço superior;
% C = porcentagem de carbono;
DENS = densidade;
*** = amostras que foram perdidas ou que sofreram algum dano durante a análise.

Tabela 22 – Densidade e Porcentagem de Carbono para Florestas de 05 anos

Amostra (árvore)	**% C TI**	**TM**	**TS**	**Média Árvore**	**DENS (Kg/m³) TI**	**TM**	**TS**	**Média Árvore**
1	60,0	56,5	51,4	56,0	304	291	274	290
2	59,3	50,3	52,7	54,1	307	310	352	323
3	51,4	58,6	50,9	53,6	334	328	300	321
4	53,3	56,8	47,4	52,5	288	300	320	303
5	49,7	54,0	50,0	51,2	***	455	300	378
6	54,5	49,9	54,5	53,0	319	315	***	317
7	53,5	55,1	59,3	56,0	302	302	***	302
8	56,9	52,4	51,6	53,6	365	276	***	320
9	50,7	52,6	60,2	54,5	336	305	***	320
10	53,0	53,5	55,7	54,1	341	339	312	331
11	50,7	54,8	57,5	54,3	355	325	320	333
12	53,4	53,4	59,0	55,3	307	***	***	307
13	53,9	54,9	57,0	55,3	***	***	335	335
14	47,0	54,0	57,2	52,7	326	321	331	326
15	53,3	50,4	59,3	54,3	337	343	350	343
16	48,2	46,9	54,6	49,9	313	***	***	313
17	54,5	48,4	59,0	54,0	308	***	263	286
18	48,2	45,8	56,8	50,3	301	302	321	308
19	54,8	51,8	58,7	55,1	411	386	***	399
20	51,6	50,8	58,5	53,6	273	261	299	278
21	56,0	58,9	57,8	57,6	345	320	317	328
22	60,1	50,5	54,9	55,2	334	326	353	338
23	56,8	52,1	57,6	55,5	309	321	325	318
24	60,6	46,2	53,5	53,4	341	325	360	342
Média Terço	53,8	52,4	55,6	54,0	325	323	320	323

Tabela 23 - Densidade e Porcentagem de Carbono para Florestas de 12 anos

Amostra (árvore)	% C TI	TM	TS	Média Árvore	DENS (Kg/m³) TI	TM	TS	Média Árvore
133	57,8	57,8	56,9	57,5	352	344	295	330
134	57,0	57,7	56,1	56,9	368	361	331	353
135	59,7	56,1	49,8	55,2	466	***	332	399
136	58,8	56,9	53,7	56,5	311	307	302	307
137	58,8	61,6	45,6	55,3	361	369	352	361
138	46,8	58,5	53,8	53,0	285	456	345	362
139	58,0	58,5	59,5	58,7	350	317	284	317
140	54,8	56,9	56,2	56,0	348	362	324	345
141	58,0	56,9	56,2	57,0	327	286	317	310
142	53,2	56,9	53,8	54,6	388	389	347	375
143	54,8	57,7	48,9	53,8	***	402	***	402
144	52,4	58,5	52,1	54,3	388	313	305	335
145	50,8	55,4	54,6	53,6	***	***	***	***
146	54,8	57,0	53,8	55,2	330	327	288	315
Média Terço	55,4	57,6	53,6	55,6	356	353	319	343

Tabela 24 - Densidade e Porcentagem de Carbono para Florestas de 14 anos

Amostra (árvore)	% C TI	TM	TS	Média Árvore	DENS (Kg/m³) TI	TM	TS	Média Árvore
160	53,2	56,2	49,7	53,0	342	348	318	336
161	52,4	54,6	57,8	54,9	356	362	316	344
162	56,4	58,5	52,9	55,9	364	345	337	349
163	58,0	54,5	51,7	54,7	381	345	315	347
164	56,4	53,7	54,6	54,9	381	337	328	349
165	54,8	57,7	53,8	55,4	420	375	362	386
166	54,0	56,9	55,4	55,4	309	318	324	317
167	58,8	58,5	52,1	56,5	337	315	290	314
168	57,2	58,5	55,4	57,0	344	330	297	323
169	57,2	57,3	57,0	57,2	329	295	282	302
170	56,4	55,3	52,1	54,6	375	343	344	354
171	58,0	61,6	55,4	58,3	388	380	342	370
172	56,4	52,9	51,3	53,5	396	396	358	383
Média Terço	56,1	56,6	53,8	55,5	363	345	324	344

Tabela 25 - Densidade e Porcentagem de Carbono para Florestas de 18 anos

Amostra (árvore)	% C TI	TM	TS	Média Árvore	DENS (Kg/m³) TI	TM	TS	Média Árvore
119	53,8	56,6	57,7	56,	452	381	425	419
120	57,0	53,3	57,7	56,0	394	373	385	384
121	54,6	55,4	56,9	55,6	368	382	334	361
122	51,3	57,0	53,7	54,0	396	390	349	378
123	52,9	60,3	***	56,6	313	364	405	361
124	56,2	55,4	52,1	54,6	388	***	382	385
125	58,6	57,8	52,9	56,4	421	406	405	411
126	58,6	59,5	***	59,1	***	342	357	349
127	***	***	***	***	***	***	344	344
128	57,0	57,8	***	57,4	415	405	448	422
129	57,8	60,3	***	59,1	379	***	402	390
130	***	***	59,3	59,3	335	313	345	331
131	***	***	***	***	***	***	***	***
132	53,8	57,8	60,4	57,3	***	327	362	345
Média Terço	55,6	57,4	56,3	56,4	386	368	380	378

Tabela 26 - Densidade e Porcentagem de Carbono para Florestas de 25 anos

Amostra (árvore)	% C TI	TM	TS	Média Árvore	DENS (Kg/m³) TI	TM	TS	Média Árvore
78	55,4	54,6	56,7	55,6	324	376	323	341
79	52,1	55,4	55,9	54,5	388	406	376	390
80	53,8	59,5	56,7	56,7	386	374	332	364
81	57,0	57,8	56,7	57,2	400	392	335	376
82	55,4	57,0	50,1	54,2	400	351	349	367
83	52,1	57,0	58,7	55,9	435	415	388	412
84	57,0	56,2	52,4	55,2	353	374	336	354
85	57,0	57,4	56,3	56,9	411	355	370	379
86	56,2	57,4	60,2	57,9	402	364	364	377
87	55,4	58,6	62,6	58,9	358	338	332	342
88	58,6	57,8	52,4	56,3	326	338	318	327
89	55,4	52,9	57,1	55,1	431	414	413	419
90	59,5	59,5	53,2	57,4	351	398	316	355
91	57,0	59,5	55,6	57,4	375	248	349	324
92	56,2	56,2	52,4	54,9	419	421	369	403
93	58,8	51,2	53,2	54,4	396	394	354	381
94	54,6	58,6	58,7	57,3	409	366	362	379
95	55,4	52,9	61	56,4	384	327	362	358
96	56,2	61,1	52,4	56,6	344	376	386	369
97	58,8	49,3	47,0	51,7	426	389	***	408
98	57,0	52,1	61,8	57,0	438	386	326	383

Amostra (árvore)	% C TI	TM	TS	Média Árvore	DENS (Kg/m³) TI	TM	TS	Média Árvore
99	55,4	63,5	58,7	59,2	391	373	349	371
100	56,2	57,8	58,7	57,6	380	337	325	347
101	57	59,5	57,7	58,1	424	403	386	404
102	***	***	***	***	424	395	368	396
103	57,8	58,6	55,3	57,2	367	349	304	340
104	55,9	50,3	56,6	54,3	376	365	321	354
105	56,7	48,0	52,7	52,5	356	394	392	380
106	59,7	48,2	59,5	55,8	460	387	361	
107	56	47,3	51,5	51,6	377	344	299	
108	55,9	46,2	51,1	51,1	365	380	358	
109	57,1	47,9	***	52,5	410	367	348	
110	56,1	48,3	48,3	50,9	359	400	370	
111	58,3	47,3	55,8	53,8	391	354	329	
112	58,6	48,6	53,5	53,6	332	352	335	
113	56,3	47,4	59,4	54,4	375	367	366	
114	54,8	51,3	49	51,7	424	402	395	
115	59,1	48,9	56,2	54,7	404	360	391	
116	***	***	***	***	383	386	331	
117	56,1	49,6	58,4	54,7	487	451	337	
118	55,5	50,5	60,9	55,6	408	396	353	
Média Terço	56,5	54,0	55,8	55,4	391	374	354	

Tabela 27 - Densidade e Porcentagem de Carbono para Florestas de 26 anos

Amostra (árvore)	% C TI	TM	TS	Média Árvore	DENS (Kg/m³) TI	TM	TS	Média Árvore
25	57,9	***	51,7	54,8	449	440	379	423
26	***	***	***	***	456	430	***	443
27	57,6	56,5	52,8	55,6	482	457	423	454
28	58,5	56,3	55,2	56,7	414	414	361	396
29	55,1	52,9	51,8	53,3	374	353	400	375
30	56,1	52,7	49,6	52,8	397	377	380	385
31	53	52,3	51,3	52,2	446	382	345	391
32	53,9	50,8	51	51,9	445	411	375	410
33	55,3	49,3	52,4	52,3	382	369	369	374
34	57,1	54,6	54,4	55,4	392	432	391	405
35	56,5	54,6	54,5	55,2	342	365	370	359
36	57,1	49,5	54,7	53,8	404	398	405	402
37	59	49,1	52	53,4	432	433	458	441
38	54,8	55,5	49,6	53,3	439	407	439	428
39	51	56,5	51,8	53,1	430	429	413	424
40	53,2	54,4	52,2	53,3	398	402	353	384
41	53,8	57,2	51,7	54,2	431	445	414	430

Amostra	% C			Média	DENS (Kg/m³)			Média
(árvore)	TI	TM	TS	Árvore	TI	TM	TS	Árvore
42	54,8	55,3	51,2	53,8	452	463	327	414
43	56,9	55,3	51,4	54,5	419	397	374	397
44	56,6	57,2	53,8	55,9	457	410	388	418
45	***	54,6	***	54,6	392	383	456	410
46	52,8	53,3	54,6	53,6	457	420	422	433
47	58,1	56,2	52,1	55,5	368	357	354	360
48	55,4	55,5	48,2	53	417	440	398	418
49	54,2	55,6	50,3	53,4	416	391	399	402
50	53,8	52,7	48,2	51,6	412	411	398	407
51	59	56,2	58,1	57,8	403	426	379	403
52	55,4	57,2	53,1	55,2	431	394	406	410
53	52,9	56,4	59,5	56,3	370	367	362	366
54	56,2	56,4	61,2	57,9	416	371	***	394
55	61,6	57,8	59,9	59,8	***	378	372	375
56	57,4	56,1	45,7	53,1	329	353	314	332
57	58	55,6	52,3	55,3	413	387	392	398
58	56,3	56,5	54,8	55,9	421	383	354	386
59	55,8	53	56,3	55	399	399	340	380
60	55,4	57,1	47,8	53,4	429	418	417	421
61	53,4	59	49,2	53,9	442	418	437	432
62	***	***	53,2	53,2	371	377	362	370
63	54,2	56,5	50,5	53,7	423	407	401	410
64	54,9	57,1	53,4	55,1	444	484	404	444
65	57,3	55	50,7	54,3	465	429	***	447
66	55,1	53,7	54,2	54,3	420	382	395	399
67	***	***	59	59	485	432	***	459
68	56,3	58,5	57,8	57,5	424	395	405	408
69	***	***	60,5	60,5	391	361	***	376
70	55,2	58,9	49,9	54,7	443	404	398	415
71	60,7	50,6	53,2	54,8	373	382	344	366
72	58,8	50,6	49,5	53	429	444	414	429
73	***	61,1	59,9	60,5	459	***	405	432
74	57,7	50,6	49,6	52,6	449	431	399	426
75	60,4	57,1	48,9	55,5	385	387	399	390
76	51,4	48,9	***	50,2	405	405	386	399
77	57	56,2	***	56,6	***	426	394	410
Média Terço	56	54,9	53	54,7	418	405	389	405

A densidade básica da madeira foi determinada para cada disco amostrado. A partir destes dados foram feitas médias aritméticas para cada árvore e posteriormente para cada idade e índice de sítio.

5.4.2 Análise dos dados de densidade por idade

Tabela 28 – Resumo da densidade por idade

Idade (anos)	**Densidade (Kg/m³)**
5	323
12	343
14	344
18	378
25	373
26	405

A partir dos valores de densidade por idade, realizou-se a análise estatística, conforme tabelas abaixo.

Tabela 29 – Resumo estatístico (densidade em Kg/m³ por idade)

Grupo	**Número Amostras**	**Soma**	**Média**	**Variância**
5 anos	59	19040,89	322,726	1055,375
12 anos	36	12330,91	342,525	1845,733
14 anos	39	13423,08	344,181	1000,815
18 anos	33	12486,85	378,389	1258,472
25 anos	128	47766,5	373,175	1323,815
26 anos	151	61047,35	404,287	1112,362
Média			**360,881**	

Tabela 30 – Anova

Fonte da variação	**SQ**	**Gl**	**MQ**	**F**	**valor-P**
Entre grupos	363558	5	72711,59	59,34613	3,61E-47
Dentro dos grupos	539093,3	440	1225,212		
Total	902651,3	445			

Rejeita-se ao nível de significância de 5% a hipótese de que as médias são iguais.

Conclui-se isto pois Fcalculado é maior que Ftabela (VIEIRA,1999). Tira-se esta conclusão também pois o valor-P calculado é menor que o nível de significância de 5%(0,05).

Tabela 31 – Comparações múltiplas de Tukey-Kramer

	Densidade
média 5 ANOS	322,7269
n 5 ANOS	59
média 12 ANOS	342,5253
n 12 ANOS	36
média 14 ANOS	344,1815
n 14 ANOS	39
média 18 ANOS	378,3893
n 18 ANOS	33
média 25 ANOS	373,1757
n 25 ANOS	128
média 26 ANOS	404,2871
n 26 ANOS	151
MQD	1225,212
Estatística Q	3,86
Comparação entre 5 e 12anos	
Diferença absoluta	19,79838
Erro padrão da diferença	5,2345
Intervalo crítico	20,20517
Médias dos 5 e 12anos são	Iguais
Comparação entre 5 e 14anos	
Diferença absoluta	21,45457
Erro padrão da diferença	5,107935
Intervalo crítico	19,71663
Médias dos 5 e 14anos são	Diferentes

Tabela 31 – Comparações múltiplas de Tukey-Kramer

Comparação entre 5 e 18anos	
Diferença absoluta	55,66232
Erro padrão da diferença	5,380239
Intervalo crítico	20,76772
Médias dos 5 e 18anos são	Diferentes
Comparação entre 5 e 25anos	
Diferença absoluta	50,44881
Erro padrão da diferença	3,894758
Intervalo crítico	15,03376
Médias dos 5 e 25anos são	Diferentes
Comparação entre 5 e 26anos	
Diferença absoluta	81,56017
Erro padrão da diferença	3,800019
Intervalo crítico	14,66807
Médias dos 5 e 26anos são	Diferentes
Comparação entre 12 e 14anos	
Diferença absoluta	1,656192
Erro padrão da diferença	5,720549
Intervalo crítico	22,08132
Médias dos 12 e 14anos são	Iguais
Comparação entre 12 e 18anos	
Diferença absoluta	35,86394
Erro padrão da diferença	5,964952
Intervalo crítico	23,02472
Médias dos 12 e 18anos são	Diferentes
Comparação entre 12 e 25anos	
Diferença absoluta	30,65043
Erro padrão da diferença	4,669349
Intervalo crítico	18,02369
Médias dos 12 e 25anos são	Diferentes
Comparação entre 12 e 26anos	
Diferença absoluta	61,76179
Erro padrão da diferença	4,590624
Intervalo crítico	17,71981
Médias dos 12 e 26anos são	Diferentes
Comparação entre 14 e 18anos	
Diferença absoluta	34,20775
Erro padrão da diferença	5,854201
Intervalo crítico	22,59721
Médias dos 14 e 18anos são	Diferentes

Tabela 31 – Comparações múltiplas de Tukey-Kramer

Comparação entre 14 e 25anos	
Diferença absoluta	28,99424
Erro padrão da diferença	4,527011
Intervalo crítico	17,47426
Médias dos 14 e 25anos são	Diferentes
Comparação entre 14 e 26anos	
Diferença absoluta	60,1056
Erro padrão da diferença	4,445767
Intervalo crítico	17,16066
Médias dos 14 e 26anos são	Diferentes
Comparação entre 18 e 25anos	
Diferença absoluta	5,21351
Erro padrão da diferença	4,832164
Intervalo crítico	18,65215
Médias dos 18 e 25anos são	Iguais
Comparação entre 18 e 26anos	
Diferença absoluta	25,89785
Erro padrão da diferença	4,756134
Intervalo crítico	18,35868
Médias dos 18 e 26anos são	Diferentes
Comparação entre 25 e 26anos	
Diferença absoluta	31,11136
Erro padrão da diferença	2,973715
Intervalo crítico	11,47854
Médias dos 25 e 26anos são	**Diferentes**

Para 5 e 440 graus de liberdade obtidos da ANOVA, o valor de Q estatístico, segundo tabela, é de 3,86.

Se a diferença absoluta for menor que o intervalo crítico, as duas médias são consideradas como sendo significativamente iguais e se for diferente, as duas médias são consideradas como sendo significativamente diferentes.

5.4.3 Resultado da densidade por terço da árvore analisado

Analisando o gráfico 06 observa-se que a tendência geral é de que o terço inferior (TI) possui maior densidade que o terço médio (TM) e este maior que o terço superior (TS).

Na análise estatística pode-se confirmar que somente os estratos com idades de 25 anos (estratos 3, 4 e 5) e 26 anos (estratos 6, 7, 8 e 9) possuem amparo estatístico que comprova esta tendência.

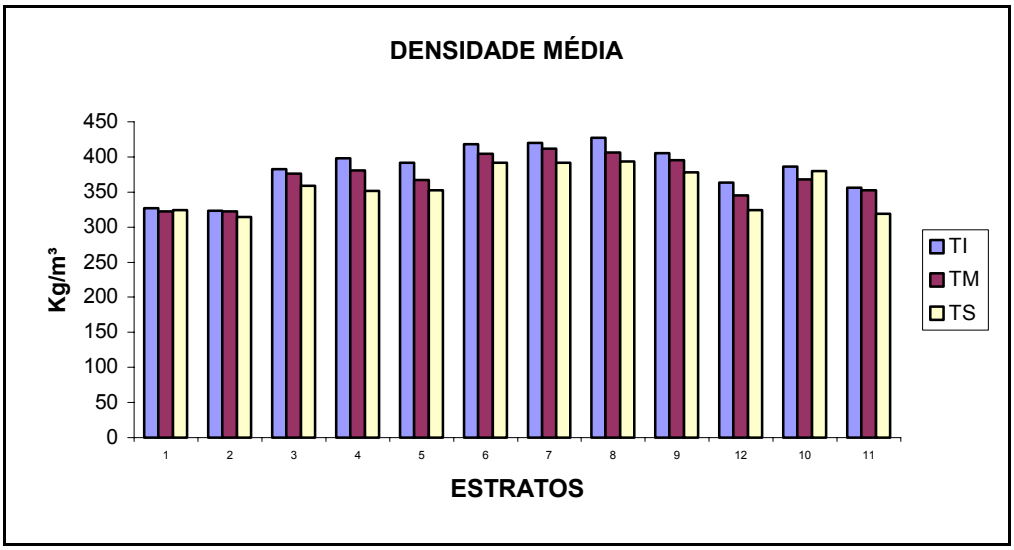


Gráfico 6 – Densidade Média dos Terços Inferior (TI), Médio (TM) e Superior (TS)

Tabela 32 – Resumo estatístico (26 anos)

Grupos	**Número Amostras**	**Soma**	**Média**	**Variância**
TI	51	21322,38	418,086	1120,586
TM	52	21055,48	404,9131	887,4876
TS	48	18669,49	388,9477	947,6098
média			403,9822	

Tabela 33 - ANOVA

Fonte da variação	**SQ**	**gl**	**MQ**	**F**	**valor-P**	**F crítico**
Entre grupos	21025,47	2	10512,74	10,66926	4,69E-05	3,057195
Dentro dos grupos	145828,8	148	985,3299			
Total	166854,3	150				

Rejeita-se ao nível de significância de 5%, a hipótese de que as médias são iguais.

Tabela 34 – Resumo estatístico (25 anos)

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
TI	43	16806,59	390,851	1219,553
TM	43	16075,56	373,8503	1064,53
TS	42	14884,34	354,389	1071,125
média			373,0301	

Tabela 35 - ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	28276,89	2	14138,44	12,63736	1,00E-05	3,068692
Dentro dos grupos	139847,6	125	1118,781			
Total	168124,5	127				

Para as idades de 5, 12, 14 e 18 anos, o teste da ANOVA comprovou que as médias são iguais, ao nível de 5% de significância.

5.4.4 Resultado da porcentagem de carbono por idade.

Observando o gráfico 07 e a análise estatística conclui-se que a idade não influencia na % de carbono.

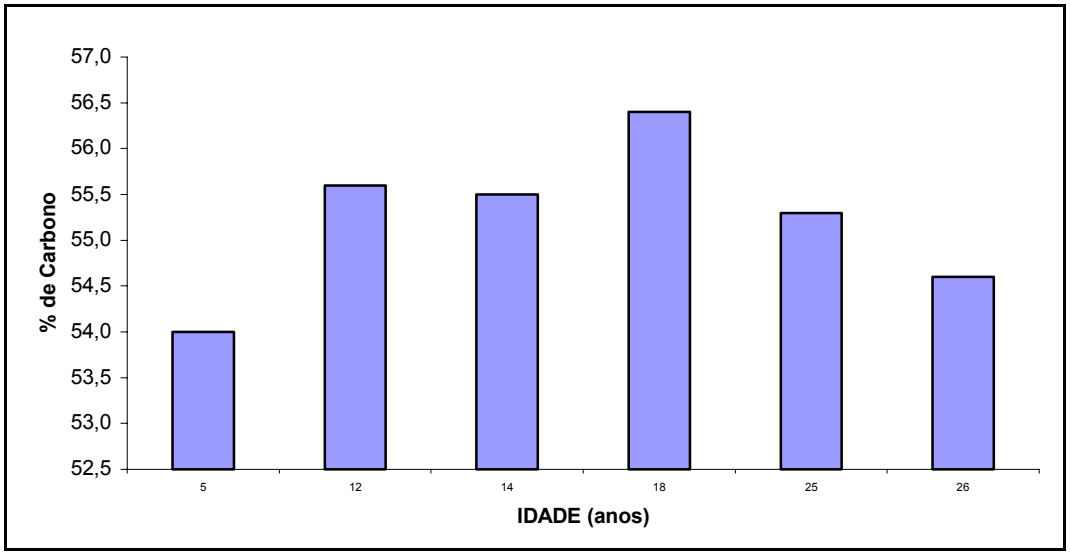


Gráfico 7 – Porcentagem de carbono por idade

Tabela 36 – Resumo estatístico

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
5ANOS	72	3885,1	53,96	14,517369
12ANOS	42	2333,1	55,55	11,726463
14ANOS	39	2164,6	55,50	6,4081511
18ANOS	30	1693,5	56,45	6,5977586
25ANOS	125	6915,8	55,33	15,831314
26ANOS	145	7914	54,58	10,393041
média			55,23	

Tabela 37 - ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	202,3513944	5	40,47027888	3,3462945	0,0055973	2,234181
Dentro dos grupos	5406,043749	447	12,0940576			
Total	5608,395143	452				

Ao nível de significância de 5%, as médias dos percentuais de carbono em todas as idades efetuadas não apresentam diferenças estatisticamente significativas.

Tabela 38 - Comparações múltiplas de Tukey-Kramer

	% carbono
média 5 ANOS	53,95972
n 5 ANOS	72
média 12 ANOS	55,55
n 12 ANOS	42
média 14 ANOS	55,50256
n 14 ANOS	39
média 18 ANOS	56,45
n 18 ANOS	30
média 25 ANOS	55,3264
n 25 ANOS	125
média 26 ANOS	54,57931
n 26 ANOS	145
MQD	12,09406
Estatística Q	3,86

Tabela 38 - Comparações múltiplas de Tukey-Kramer

Comparação entre 5 e 12anos	
Diferença absoluta	1,590278
Erro padrão da diferença	0,477455
Intervalo crítico	1,842977
Médias dos 5 e 12anos são	Iguais
Comparação entre 5 e 14anos	
Diferença absoluta	1,542842
Erro padrão da diferença	0,488916
Intervalo crítico	1,887214
Médias dos 5 e 14anos são	Iguais
Comparação entre 5 e 18anos	
Diferença absoluta	2,490278
Erro padrão da diferença	0,534373
Intervalo crítico	2,062678
Médias dos 5 e 18anos são	Diferentes
Comparação entre 5 e 25anos	
Diferença absoluta	1,366678
Erro padrão da diferença	0,363817
Intervalo crítico	1,404333
Médias dos 5 e 25anos são	Iguais
Comparação entre 5 e 26anos	
Diferença absoluta	0,619588
Erro padrão da diferença	0,354528
Intervalo crítico	1,368478
Médias dos 5 e 26anos são	Iguais
Comparação entre 12 e 14anos	
Diferença absoluta	0,047436
Erro padrão da diferença	0,546835
Intervalo crítico	2,110784
Médias dos 12 e 14anos são	Iguais
Comparação entre 12 e 18anos	
Diferença absoluta	0,9
Erro padrão da diferença	0,58783
Intervalo crítico	2,269025
Médias dos 12 e 18anos são	Iguais
Comparação entre 12 e 25anos	
Diferença absoluta	0,2236
Erro padrão da diferença	0,438581
Intervalo crítico	1,692922
Médias dos 12 e 25anos são	Iguais
Comparação entre 12 e 26anos	
Diferença absoluta	0,97069
Erro padrão da diferença	0,430907
Intervalo crítico	1,6633
Médias dos 12 e 26anos são	Iguais

Tabela 38 - Comparações múltiplas de Tukey-Kramer

Comparação entre 14 e 18anos	
Diferença absoluta	0,947436
Erro padrão da diferença	0,597176
Intervalo crítico	2,305101
Médias dos 14 e 18anos são	Iguais
Comparação entre 14 e 25anos	
Diferença absoluta	0,176164
Erro padrão da diferença	0,45103
Intervalo crítico	1,740977
Médias dos 14 e 25anos são	Iguais
Comparação entre 14 e 26anos	
Diferença absoluta	0,923254
Erro padrão da diferença	0,443571
Intervalo crítico	1,712186
Médias dos 14 e 26anos são	Iguais
Comparação entre 18 e 25anos	
Diferença absoluta	1,1236
Erro padrão da diferença	0,499944
Intervalo crítico	1,929783
Médias dos 18 e 25anos são	Iguais
Comparação entre 18 e 26anos	
Diferença absoluta	1,87069
Erro padrão da diferença	0,493225
Intervalo crítico	1,90385
Médias dos 18 e 26anos são	Iguais
Comparação entre 25 e 26anos	
Diferença absoluta	0,74709
Erro padrão da diferença	0,300133
Intervalo crítico	1,158514
Médias dos 25 e 26anos são	Iguais

5.4.5 Porcentagem de carbono por índice de sítio

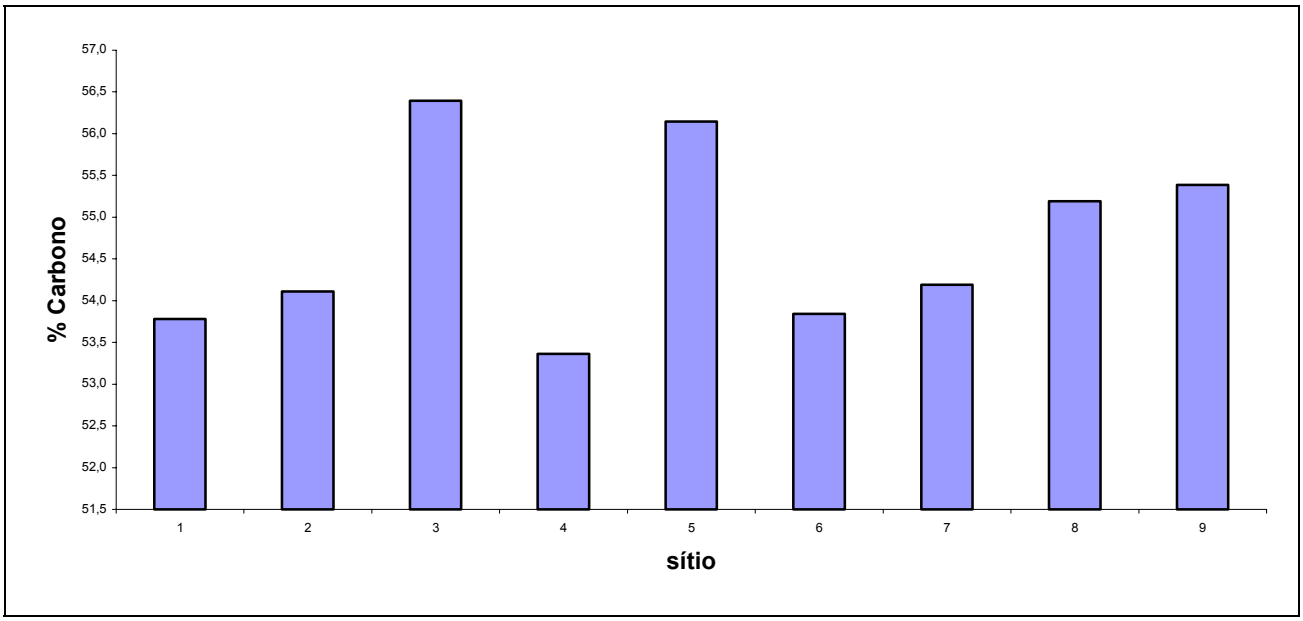


Gráfico 8 – Porcentagem de carbono em relação ao sítio

Para os sítios 6, 7, 8 e 9, visualmente pode-se observar uma tendência de aumento da porcentagem de carbono com o aumento do índice de sítio, porém através da ANOVA e das comparações múltiplas de Tukey – Kramer obteve-se que estatisticamente as médias são iguais ao nível de 5% de significância.

Tabela 39 – Resumo estatístico

Grupo	Número Amostras	Soma	Média	Variância
SÍTIO1	33	1774,8	53,78182	19,82966
SÍTIO2	39	2110,3	54,11026	10,37516
SÍTIO3	42	2368,6	56,39524	6,68583
SÍTIO4	35	1868,6	53,38857	21,10987
SÍTIO5	48	2678,6	55,80417	16,61402
SÍTIO6	39	2099,4	53,83077	7,412186
SÍTIO7	40	2168,9	54,2225	6,637686
SÍTIO8	32	1764,3	55,13438	16,04491
SÍTIO9	34	1881,4	55,33529	12,19508

Tabela 40 - ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	338,9842	8	42,37303	3,326406	0,001123	1,966242
Dentro dos grupos	4241,881	333	12,73838			
Total	4580,866	341				

Ao nível de significância de 5% considera-se que as médias são iguais.

5.4.6 Fator C e fator CO_2

Através do produto da densidade pela porcentagem de carbono foi estabelecido um fator de C (fator carbono) e um fator CO_2 (fator dióxido de carbono) por m^3 de madeira verde, conforme tabela abaixo:

Tabela 41 – Fator de carbono e de dióxido de carbono por m^3 de madeira

Idade (anos)	Densidade (Kg/m³)	Carbono %	Fator C	Fator CO2
5	0,32323	0,54	0,1745	0,6399
12	0,34252	0,556	0,1904	0,6982
14	0,34418	0,555	0,191	0,7003
18	0,37819	0,564	0,2133	0,782
25	0,37344	0,554	0,2069	0,7584
26	0,40492	0,547	0,2215	0,812
Média	0,36108	0,553	0,1996	0,7318

O Fator C e o Fator CO_2 representam respectivamente a quantidade de carbono e de dióxido de carbono em toneladas por m^3 de madeira em pé.

Este fator foi utilizado nos cálculos, para obtenção do valor total de carbono capturado por ano na tabela 44.

5.4.7 Porcentagem de carbono na casca

Tabela 42 – Porcentagem de Carbono na Casca por Idade

ESTRATO	IDADE (anos)	%CARBONO
1 e 2	5	37,5
12	12	45
10	14	41,1
11	18	42,7
3	25	42,3
4	25	49,8
5	25	41,9
6	26	43,5
7	26	44,2
8	26	41,9
9	26	42,7

Analisando a tabela, pode-se observar que de modo geral a idade não influencia na % de carbono da casca. Apenas nas florestas de 05 anos verifica-se que a porcentagem de carbono é significativamente mais baixa.

Para análise dos dados foi utilizada a estatística descritiva, onde observa-se que o erro padrão de 0,898815 para média de 42,96 é baixo, bem como a variância existente na amostra.

Tabela 43 – Estatística Descritiva

Média	42,96364
Erro padrão	0,898815
Mediana	42,7
Modo	41,9
Desvio padrão	2,981031
Variância da amostra	8,886545
Curtose	3,05281
Assimetria	0,727523
Intervalo	12,3
Mínimo	37,5
Máximo	49,8
Soma	472,6
Contagem	11

5.5 ESTIMATIVA DO INCREMENTO DE CARBONO POR IDADE

A estimativa do incremento foi realizada, partindo-se de uma área plantada simulada (893,3 ha), multiplicando-se por um volume por hectare encontrado em bibliografias e em fatores de carbono encontrados neste estudo.

O resultado obtido do dióxido de carbono foi de 2.758.239 toneladas considerando-se as florestas de 01 a 20 anos.

A quantidade em volume que os plantios crescem anualmente é exatamente a quantidade colhida aos 20 anos, demonstrando que o sistema é sustentável, desta forma, tudo que chega a idade de corte é efetivamente cortado.

Tabela 44 – Incremento de dióxido de carbono por hectare

Idade (anos)	Área (hectares)	Volume (m3/hectare)	Fator C	Carbono (t/hectare)	Volume/ano (m3)	Carbono Toneladas /Idade	CO2 Toneladas /Idade	IMA (t CO2)
1	893,3	0	-	0	0	0	0	0
2	893,3	0	-	0	0	0	0	0
3	893,3	25	0,1745	4	22.332	3.898	14.290	14.290
4	893,3	50	0,1745	9	44.664	7.796	28.580	14.290
5	893,3	75	0,1745	13	66.996	11.694	42.870	14.290
6	893,3	100	0,1745	17	89.329	15.592	57.159	14.290
7	893,3	125	0,1745	22	111.661	19.490	71.449	14.290
8	893,3	150	0,1745	26	133.993	23.388	85.739	14.290
9	893,3	175	0,1745	31	156.325	27.286	100.029	14.290
10	893,3	200	0,1904	38	178.657	34.024	124.731	24.702
11	893,3	225	0,1904	43	200.989	38.277	140.322	15.591
12	893,3	250	0,1904	48	223.321	42.530	155.913	15.591
13	893,3	275	0,1904	52	245.653	46.782	171.505	15.591
14	893,3	300	0,1910	57	267.986	51.191	187.665	16.160
15	893,3	325	0,1910	62	290.318	55.456	203.303	15.639
16	893,3	350	0,1910	67	312.650	59.722	218.942	15.639
17	893,3	375	0,2139	80	334.982	71.650	262.669	43.727
18	893,3	400	0,2139	86	357.314	76.427	280.180	17.511
19	893,3	425	0,2139	91	379.646	81.203	297.691	17.511
20	893,3	450	0,2139	96	401.978	85.980	315.203	17.511
Total	17.866				3.818.793	752.384	2.758.239	315.203

Das 85.980 toneladas de carbono capturadas da atmosfera, obtidas no vigésimo ano e que serão processadas, parte será armazenada no produto final e parte será devolvida para atmosfera através da queima dos subprodutos do processo.

5.6 EMISSÕES

Os fatores utilizados para cálculo de energia e quantidade de CO_2 foram obtidos através das fórmulas do protocolo de gás estabelecido pela PCC.

A quantidade de litros consumida em cada atividade foi levantada junto à Terranova Brasil, de seu sistema de controle de informações florestais, quantidade esta efetivamente consumida ano 2.003.

Tabela 45 – Emissão de dióxido de carbono pelas atividades florestais

Atividades	**Litros**	**Fator**	**Energia**	**Fator**	**CO2**	**(%)**
Silvicultura						
diesel silvicultura	57.135	0,0371	2.120	0,07401	156,88	2,9
gasolina silvicultura	4.539	0,0344	156	0,07229	11,29	0,2
diesel transporte pessoal	21.123	0,0371	784	0,07401	58,00	1,1
Sub-total	82.797		3.060		226,17	4,1
Colheita						
diesel colheita florestal	394.860	0,0371	14.649	0,07401	1.084,20	19,9
gasolina colheita florestal	20.485	0,0344	705	0,07229	50,94	0,9
diesel transporte pessoal	15.562	0,0371	577	0,07401	42,73	0,8
Sub-otal	430.907		15.931		1.177,87	21,6
Transporte						
diesel transporte toras	1.234.713	0,0371	45.808	0,07401	3.390,24	62,2
gasolina transporte toras	9.586	0,0344	330	0,07229	23,84	0,4
Sub-total	1.244.299		46.138		3.414,08	62,6
Manutenção de estradas						
diesel manutenção	230.837	0,0371	8.564	0,07401	633,83	11,6
gasolina manutenção	1.079	0,0344	37	0,07229	2,68	0
Sub-total	231.916		8.601		636,51	11,7
Total					5.454,62	100

A quilometragem média de ida e volta dos caminhões que transportam toras é de 120 km,ou seja, o raio médio de distância das florestas à unidade industrial foi de 60 quilômetros.

Os fatores utilizados para cálculo de energia e quantidade de CO2 foram obtidos das fórmulas do protocolo de gás estabelecido pela PCC.

A quantidade de litros consumida em cada atividade foi levantada junto à Terranova Brasil, de seu sistema de controle de informações florestais, quantidade esta efetivamente consumida no ano 2.003.

Tabela 46 – Emissão de dióxido de carbono pelas atividades industriais

Atividades	**Litros**	**Fator CO_2/Litro**	**Energia Gj**	**Fator t CO_2/Gj**	**CO_2 (toneladas)**	**(%)**
Transporte						
Diesel transporte pessoal	130.401	0,0371	4.838	0,07401	358,05	14,72
Diesel cadeia de custódia	55.146	0,0371	2.046	0,07401	151,42	6,22
Diesel transporte resíduos	26.044	0,0371	966	0,07401	71,51	2,94
Gasolina transp de resíduos	2.399	0,0344	83	0,07229	5,97	0,25
Total	213.990		7.933		586,95	24,13
Movimentação industrial						
Diesel empilhadeiras pátio	221.460	0,0371	8.216	0,07401	608,08	25
GLP empilhadeiras pátio	190.254	0,0249	4.737	0,0632	299,4	12,31
Diesel carregadores/tratores	341.653	0,0371	12.675	0,07401	938,1	38,56
Total	753.367		25.629		1.845,58	75,87
Total Não renováveis					2.432,52	100
Caldeira			449.775	0,10044	45.175,45	
Total renovável					45.175,45	

5.7 BALANÇO DE CARBONO

A tabela abaixo mostra o balanço de CO_2 do sistema estudado, sendo que o saldo é obtido pela diferença entre a quantidade de CO_2 que se armazenou nos produtos florestais (moldura e cavaco) e a quantidade de CO_2 que foi emitida pela queima do cepilho e serragem vendidos para terceiros, pela queima na caldeira própria e pelas emissões advindas dos processos florestal e industrial.

O volume e as quantidades de C e CO_2 foram colocados na tabela para se ter um referencial da quantidade total de C e CO_2 produzidos por ano na floresta.

O resultado final do balanço está vinculado apenas ao ano em estudo, desconsiderando a existência de carbono armazenado até os 19 anos.

O saldo encontrado equivale a 8,23% da quantidade de CO_2 (315.202 t CO_2) produzida no anos pela quantidade de toras que entrou na serraria.

Tabela 47 – Balanço de carbono e dióxido de carbono

Produtos	Unidade	Vol/ano	fator C	t C	C p/ CO_2	t CO_2
Tora	m3	401.978	0,2139	85.980	3,666	315.202
[1] Moldura + cavaco	m3	222.667	0,2139	47.627	3,666	174.599
[1] Madeira serrada	m3	3.219	0,2139	689	3,666	2.524
[2] Cepilho seco	m3	49.295	0,1343	-6.620	3,666	-24.270
[2] Serragem seca	m3	150.021	0,1343	-20.147	3,666	-73.861
[2] Caldeira				-12.323	3,666	-45.175
[3] Processos florestais				-1.488	3,666	-5.455
[3] Processos industriais				-664	3,666	-2.433
Saldo				7.073	3,666	25.931

[1] – CO_2 capturado da atmosfera e armazenado no produto final na forma de carbono;
[2] – CO_2 capturado da atmosfera, armazenado temporariamente nos subprodutos e devolvido para a atmosfera na forma de CO_2;
[3] – CO_2 emitido para atmosfera pela queima de recursos não renováveis.

O fator carbono 0,2139 equivale à média encontrada para as idades de 18, 25 e 26 anos estabelecidas neste estudo, ou seja, de idades próximas à idade de corte final (20 anos) e demonstradas na tabela 35.

O fator carbono para serragem e cepilho é resultado do valor da densidade média da serragem, fornecido diretamente pela empresa multiplicado pela porcentagem média de carbono (0,5527, conforme tabela 41) para todas as idades estudadas.

5.8 CO_2 ARMAZENADO ANUALMENTE

Caso adote o somatório da quantidade de CO_2 armazenada da idade 1 a 19 anos, o resultado final do saldo de CO_2 ficará superestimado porque parte desta quantidade será processada nos anos seguintes. Por esta razão neste estudo foi considerada uma média para os 19 anos, de forma que este valor possa ser somado ano a ano com o valor final obtido do balanço entre capturas e emissões, encontrado na tabela 46.

Para a obtenção da média dividiu-se o valor de 2.758.239, encontrado na tabela 44, por 19, obtendo-se o valor de 143.708 toneladas de CO_2 por ano.

O saldo final para o estudo, será de 169.639, conforme tabela abaixo:

Tabela 48 – Saldo final de dióxido de carbono por ano (toneladas)

Resultado balanço	25.930,86
Estoque anual CO_2 na floresta	143.708,01
Saldo final de CO_2	**169.638,87**

Conforme a tabela 48, anualmente serão retiradas da atmosfera 169.638,87 toneladas de CO_2, admitindo-se que o ciclo é sustentável.

5.9 FATOR EMISSÃO DE CO_2

Para cada tonelada de CO_2 capturada, certa quantidade também é emitida durante o processo, originando-se, então, fatores que expressam esta relação, conforme tabela abaixo:

Tabela 49 – Quantidade de CO_2 emitido por tonelada de CO_2 capturado

Produtos	**toneladas CO_2 capturado**	**Fator emissão**	
		emitido	**CO_2**
Tora	315.202		
Cepilho seco		24.270	0,077
Serragem seca		73.861	0,234
Caldeira		45.175	0,143
Processos Florestais		5.455	0,017
Processos Industriais		2.433	0,008
Total	315.202	151.193	0,48

Este fator é a quantidade em tonelada de dióxido de carbono que é emitida pelos processos, para cada tonelada que é capturada pela floresta, ou seja, para cada tonelada de CO_2 capturado pelas florestas, 480 kg são devolvidos para atmosfera pela queima dos resíduos e

subprodutos do processo como também pelas emissões geradas pelas máquinas e equipamentos na floresta e na indústria.

5.10 BALANÇO DE MASSA

Este cálculo foi realizado com o objetivo de obter um resultado do balanço que venha a comprovar que o levantamento das quantidades de CO_2 capturadas e emitidas pelo processo resultaram em um sistema fechado, onde tudo que foi gerado de CO_2 pela fotossíntese, realmente se obtém nos componentes do sistema.

Tabela 50 – Balanço de massa

Produtos	**toneladas CO_2**		**(%)**
Tora		315.202	
Moldura + cavaco	174.599		0,550
Madeira serrada + cepilhada	2.524		0,008
Cepilho seco	24.270		0,070
Serragem	73.861		0,234
Caldeira	45.175		0,143
Total	320.429	315.202	1,7

Pode-se concluir que 55% do CO_2 do processo está armazenado nas molduras mais cavaco, 0,8% na madeira serrada mais cepilhada e o restante foi emitido pelo cepilho seco (7,7%), serragem (23,4%) e caldeira (14,3%), somando-se um total de 320.429 toneladas de CO_2, 1,7% a mais que a quantidade de CO_2 retirado da atmosfera e acumulado nas toras na forma de C.

5.11 CÁLCULO DE EMISSÃO PELO MÉTODO DIRETO E COMPARAÇÃO COM O FATOR GREENHOUSE

Através da concentração de CO_2 medida pelo aparelho TEXTO de análise de gases, multiplicada pela vazão medida pelo tubo de Pitot, obteve-se o valor da emissão em gramas por hora.

As tabelas 51 e 52 mostram um comparativo entre a medição de CO_2 pela metodologia direta e a emissão de CO_2 pelos fatores do Greenhouse, para duas atividades desenvolvidas na área florestal: a colheita e o transporte de toras.

Tabela 51 – Emissão Direta pelo Transporte de Toras

Transporte toras	**Emissões carbono (g/hora)**				**Emissão (toneladas)**		**Greenhouse**
	Baixa Rotação	**Alta Rotação**	**Média**	**Horas**	**Carbono**	**CO2**	**CO2**
Cam. Scania	1.317	4.137	2727	3582	9,8	35,8	
Cam. Scania	1.211	4.243	2727	3582	9,8	35,8	
Cam. Volvo	4.982	9.198	7090	3582	25,4	93,1	
[1]Cam. MB	754	3.362	2058	3582	7,4	27,0	
Cam. MB	2.620	8.255	5438	3582	19,5	71,4	
Cam. MB	4.100	5.259	4680	3582	16,8	61,4	
Média			4120	3582	14,8	54,1	
Total			4120	93132	383,7	1406,6	3414,1
Diferença (%)							142,7

[1] Caminhão Mercedes Benz

De acordo com a tabela 51, observa-se que a emissão encontrada pela medição direta foi 142,7% menor que a encontrada pelo Greenhouse.

Conforme demonstrado na tabela 52, a emissão encontrada pela medição direta foi 28% maior que a encontrada pelo Greenhouse.

Para cada máquina foram feitas 10 medições em alta rotação e 10 em baixa rotação e após foi realizada a estatística descritiva, conforme tabela abaixo.

A análise estatística foi realizada admitindo-se um erro de 10% a uma probabilidade de 95%.

Tabela 52 – Emissão Direta pelas Máquinas da Colheita Florestal

Transporte toras	Emissões (g/hora)		carbono		Emissão (toneladas)		Greenhouse
	Baixa Rotação	Alta Rotação	Média	Horas	Carbono	CO2	CO2
[2]CAT 312	3.350	16.754	10052	2904	29,19	107,01	
[2]CAT 320	4.079	24.094	14087	3444	48,51	177,83	
[3]CAT FELLER	7.741	43.233	25487	3605	91,88	336,82	
Sub-Total			16542	9952	164,63	603,53	
[4]CAT SKIDDER	6.473	45.093	25783	2309	59,53	218,25	
CAT SKIDDER	5.083	47.819	26451	2338	61,84	226,71	
CAT SKIDDER	9.947	56.851	33399	2100	70,14	257,13	
CAT SKIDDER	-	-	-	1317	-	-	
CAT SKIDDER	-	-	-	282	-	-	
Sub-Total			28544	8346	238,23	873,35	
[5]Trator	5.662	16.934	11298	2113	23,87	87,51	
Trator	-	-	-	1913	-	-	
Trator	-	-	-	204	-	-	
Sub-Total			11298	4230	47,79	175,19	
Total						1652,07	1.177
Diferença (%)							28,8

[1] – Não está considerada a emissão por veículos leves à gasolina.
[2] – Escavadeiras hidráulicas marca Caterpilar
[3] – Escavadeira hidráulica com cabeçote Feller Buncher para colheita de madeira
[4] – Máquina florestal utilizada para arraste de toras
[5] – Trator dotado de guincho para arraste de toras

Tabela 53 - Estatística Descritiva da Escavadeira Hidráulica (CAT 312)

Média	2,4
Erro padrão	0,063245553
Mediana	2,4
Modo	2,4
Desvio padrão	0,2
Variância da amostra	0,04
Curtose	-0,574404762
Assimetria	-0,208333333
Intervalo	0,6
Mínimo	2,1
Máximo	2,7
Soma	24
Contagem	10
Nível de confiança(95,0%)	0,143071381
N° de Amostras Suficiente	2,28

A tabela 53 apresenta somente o resultado da escavadeira hidráulica da Caterpilar 312. O resumo das demais máquinas está na tabela 54.

A média equivale a concentração de CO_2 médio das medições realizadas.

Tabela 54 – Resumo da Estatística Descritiva

Máquinas	**Concentração de CO2**			
	Média	**Desvio Padrão**	**Erro Padrão**	**N**
Colheita				
CAT312	2,4	0,20000000	0,06324555	2,281359
FELLER	2,29	0,152388393	0,04818944	1,454752
CAT320	1,15	0,23687784	0,07490735	13,93828
SKIDDER	2,03	1,044615825	0,33033653	89,62089
SKIDDER	1,31	0,317804972	0,10049876	19,33458
SKIDDER	2,68	0,765651502	0,24212026	26,8132
TRATOR	1,42	0,229975844	0,07272475	8,616756
Transporte				
SCANIA	1,4	0,124721913	0,03944053	2,607267
SCANIA	1,45	0,084983659	0,02687419	1,128472
VOLVO	2,03	0,637791328	0,20168733	32,42808
Mercedes Benz	0,88	0,168654809	0,05333333	12,06669
Mercedes Benz	2,61	0,517365119	0,16360522	12,90831
Mercedes Benz	1,46	0,427395211	0,13515423	28,15202

Analisando-se a tabela 55 percebe-se que o erro padrão, que representa a variabilidade da média, para algumas máquinas apresenta-se elevado, sendo possivelmente resultado do número de amostras que não foi suficiente.

6 CONCLUSÕES

Conforme demonstrado na tabela 28 e nas análises estatísticas conclui-se que a idade influencia diretamente na densidade da madeira, isto é, quanto mais velha a árvore, maior é a densidade de sua madeira. De acordo com MCT (2003) a densidade do gênero *Pinus* manteve-se a mesma para as idades de 5, 10, 15 e 20 anos.

Com relação ao fuste da árvore, ou seja, a parte inferior (25% da altura), médio (50% da altura) e superior (75% da altura), conclui-se que a densidade tende a decrescer da base para o topo da árvore. Estatisticamente esta conclusão foi confirmada apenas para os estratos de 25 e 26 anos. No item 3.11 deste estudo encontra-se "A densidade varia entre espécies, entre indivíduos e procedências da mesma espécie e dentro da árvore, tanto no sentido longitudinal, ou seja, da base para o topo (BARRICHELO et al., 1983 apud MENDES et al, 1999), como no sentido radial da medula para a casca. (BRASIL et al., 1977 apud MENDES et. al, 1999)".

A porcentagem de carbono encontrada para este estudo de 55,3%, conforme demonstrado na tabela 41 foi maior que a referenciada por outros autores em trabalhos realizados com *Pinus taeda*, como estudo realizado por Schumacher et al. (2002) e no estudo realizado por Peter et al. (1996, apud MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2003). Esta diferença pode ser resultado de diversas variáveis ou interação delas, como condições edafoclimáticas, material genético, tipo de manejo e do próprio método de quantificação do carbono.

O fator de porcentagem de carbono por m^3 de madeira em pé, aumenta conforme aumenta a idade. Isto acontece devido o aumento da densidade durante os anos.

A utilização do fator C e do fator CO_2 é uma forma rápida de se estimar a quantidade de carbono e de dióxido de carbono em toneladas, partindo-se do volume em pé de um reflorestamento, para as distintas idades conforme demonstrado tabela 41.

De acordo com a tabela 45, pode-se concluir que a atividade que mais emite dióxido de carbono no processo florestal é o transporte de toras, respondendo por 62,62 % das emissões. Desta forma, quanto maior a distância das florestas até a unidade industrial maior será a influência desta atividade no valor total.

Por outro lado, as atividades silviculturais apresentaram apenas 4,14% do total das emissões de CO_2 na área florestal.

Considerando o ciclo do dióxido de carbono, ou seja, o balanço entre a captura e as emissões no sistema estudo (quando não há novos plantios nas áreas que foram colhidas), conclui-se que do que é capturado pelas florestas, apenas 8,23% é armazenado, sendo retirado do ciclo e contribuindo positivamente para redução do efeito estufa.

Além dos 8,23%, se houver reposição das áreas que foram colhidas, deve-se considerar também as 143.708,01 toneladas de carbono armazenadas anualmente pelo incremento médios para as idades de 01 aos 19 anos, equivalente a 45,6% do valor de dióxido de carbono que entrou na indústria.

Concluindo, se a empresa possuir um ciclo sustentável, plantando anualmente o que colhe, manterá este valor de armazenagem de carbono por ano, ou seja, 53,83% do total de dióxido de carbono que entrou na indústria através do carbono capturado pela madeira que foi processada no ano mais o incremento médio de 01 a 19 anos.

Desta forma, empresas do mesmo ramo que a Terranova Brasil, que possuem ciclos sustentáveis, para obterem de forma rápida a quantidade de dióxido de carbono que retira da atmosfera é só multiplicar a quantidade de CO_2 presente na tora que é utilizada no processo industrial por ano pelo fator 0,5383.

Se os subprodutos utilizados para gerar energia fossem direcionados para outros usos que permitissem a armazenagem do carbono contido em suas composições, o balanço alcançaria um melhor resultado, porém os impactos ambientais poderiam ser bem maiores, conforme o combustível que viesse a ser utilizado, pois os subprodutos do processo são recursos naturais renováveis.

Além do benefício da armazenagem de CO_2, o sistema estudado resulta em um impacto altamente positivo, quando se avalia o uso do recurso renovável para obtenção de energia.

Ao se realizar uma quantificação efetiva do resultado do balanço de carbono deve-se considerar o que realmente retirado da atmosfera e armazenado em produtos madeireiro e não apenas quantificar a captura, pois porcentagem desta captura não se transforma em produtos madeireiros, mas sim retornam em curto espaço de tempo para a atmosfera na forma de CO_2 através da queima em caldeiras para gerar energia.

Para se quantificar a contribuição das florestas ou reflorestamentos para redução do efeito estufa, tem-se que considerar o quanto de carbono se armazena efetivamente e não somente

o quanto é capturado, pois entre a captura e a armazenagem existem perdas, que são as emissões, principalmente pela queima de subprodutos e resíduos do processo.

Pela análise do balanço de massa, representado na tabela 48, conclui-se que o estudo demonstrou um resultado coerente, pois considerando-se todos os processos florestais e industriais que fazem parte do sistema, obteve-se um valor de apenas 1,7 % superior ao que seria o correto para fechar os 100% de carbono, reforçando a teoria de que nada se perde, tudo se transforma. Se as áreas com pinus fornecem a quantidade de 315.202 toneladas de carbono por ano a soma de todo carbono armazenado nos produtos (moldura, cavaco e madeira serrada) e subprodutos (serragem, marvalha e casca para gerar energia) do sistema também tem que resultar neste valor.

De acordo com as tabelas 51 e 52, conclui-se que as diferenças encontradas entre os dois métodos de medição (método direto e Greenhouse gás protocol), variam entre menos 142,7 % e 28%, demonstrando que o resultado obtido pela medição direta pelo método eletroquímico é bem diferente do obtido pelo Greenhouse, devendo-se aumentar o número de amostras, conforme análise estatística apresentada na tabela 54, de forma obter resultados mais confiáveis.

Este resultado diferente pode ter ocorrido pelo fato de não se ter trabalhado com a rotação de trabalho normal dos veículos e equipamentos, portanto, para se obter um valor mais próximo do real através da metodologia direta tem-se que realizar a medição em situações mais próximas possível da situação de trabalho normal das máquinas, ou seja, trabalhar com a rotação de trabalho das máquinas.

Considerando-se o resultado final do balanço, pode-se afirmar que a atividade florestal apresenta-se como uma grande oportunidade de se reduzir os impactos relacionados ao efeito estufa, onde o estabelecimento de florestamentos e reflorestamentos de ciclos sustentáveis e permanentes permite um armazenamento de carbono ao longo prazo.

O estudo demonstra que a questão ambiental efeito estufa tem de ser estudada sempre de forma sistêmica, analisando-se todos os componentes do processo, visando obter resultados consistentes e que representem ciclos de longo prazo.

O Pinus taeda plantado no Brasil pode ser uma ótima espécie para captura e armazenagem de carbono, pois apresenta rápido crescimento e representativa porcentagem de carbono em sua composição.

7 RECOMENDAÇÕES

Realizar estudos visando comparar as emissões de dióxido de carbono entre combustíveis renováveis e não renováveis, ambos utilizados para gerar a mesma quantidade de energia.

Elaborar pesquisas que venham fornecer informações sobre o final da vida útil dos produtos madeireiros do processo, considerados como armazenadores de carbono, de forma a poder calcular o tempo e a quantidade de dióxido de carbono que devolverão para a atmosfera novamente.

Desenvolver um estudo para períodos maiores, incorporando os resultados de fim de vida útil dos produtos e a conseqüente devolução de carbono para o meio ambiente.

Realizar um estudo com foco no método eletroquímico, visando obter resultados comparativos mais precisos com outros métodos de medição de dióxido de carbono, principalmente o Greenhouse.

Implementar experimentos em unidades florestais com objetivo de se calcular a quantidade de carbono capturada em diferentes sítios e diferentes formas de manejo.

Desenvolver estudos visando obter funções para as distintas idades, para o cálculo de quantidade de carbono e de densidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI. **Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente**. Disponível em < www.abimci.com.br> . Acesso em: 15 nov. 2003.

ALVARENGA, A. de P. et al. **Determinação do carbono orgânico na biomassa da seringueira em solos de Minas Gerais.** Disponível em <www.epamig.gov.br>. Acesso em: 17 out. 2003.

ALVARES JR, O. de M.; LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada de calculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. Disponível em: <www.ambiente.sp.gov.br/proclima/inventario_efeitoestufa.pdf>. Acesso em: 03 set. 2003.

BALBINOT, R et. al**.** Determinação da quantidade e carbono orgânico na biomassa aérea e subterrânea de um povoamento de *Pinus taeda*, com 10 anos de idade, na região de Cambará do Sul**.** In**: 8° Congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul.** Rio Grande do Sul: Anais, 2001. p 454-457.

BALBINOT et al. Inventário de carbono orgânico em um plantio de Pinus taeda aos 5 anos de idade no Rio Grande do Sul. **Ciências Exatas e Naturais.** Guarapuava/Irati, vol. 5, n.1, p 59-68, janeiro/junho 2003.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Efeito estufa e a convenção sobre mudança no clima.** Setembro, 1999.

BRANDÃO, L.G. **Programa de seqüestro de carbono do Brasil para o Planeta Terra**. Disponível em <www.mercoopsur.com.ar/forestales/notas/programadesequestro.htm>. Acesso em: 29 março 2004.

BROWN, S et al. **Establishment and management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions.** Em: Working group II, Intergovernmental Panel on Climate Change, 1995 Assessment for the Framework Convention On climate Change. 1996. Chapter III.F.

BUCKERIDGE, M. S. **Mudas de jatobá são testadas em ambientes artificialmente poluídos.** Disponível em: <www.radiobras.gov.br/ct/2002/materia_111002_5.htm>. Acesso em: 22 março 2004.

CALDEIRA, M.V.W. et al. Carbono orgânico em solos florestais. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICH, L.F.; BALBINOT, R. M.; ZILIOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (es). **As Florestas e o Carbono**. Curitiba, 2002. p 191-213

CALDEIRA, M.V.W. et al. Quantificação da biomassa aérea em um povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild. In**: 8° Congresso Florestal Estadual do Rio Grande do Sul.** Rio Grande do Sul: Anais, 2001. p300-306.

CALDEIRA, M. V. W. et al, Produção de biomassa em uma procedência australiana de *Acácia mearnsii* De Wild, plantada no sul do Brasil, **Revista Árvore**, Viçosa, v.24, n.2, p. 201-206, 2000.

CCX - CHICAGO CLIMATE EXCHANGE. Disponível em <www.chicagoclimatex.com> Acesso em: 22 jan. 2004.

CARBONO – Brasil desperta interesse mundial. **Revista da Madeira.** Curitiba, n. 62, ano 11, fevereiro, 2002.

CARBONO – Protocolo de quioto ganha adesão. **Revista da Madeira.** Curitiba, n. 65, ano 11, julho, 2002.

CARBONO – Commodities de carbono: uma oportunidade para o setor florestal. **Revista da madeira.** Curitiba, n. 63, ano 11, abril 2002.

CARMEAN, W.H. Tree-growth patterns in relation to soil and site. **Tree growth and forest soils**. USA : Oregon State University, 1970. 527p.

FEARNSIDE, P.M. e GUIMARÃES, W.M. 1996. Carbon uptake by secondary forests in Brasilian Amazonia. Forest Ecology and Management, 80:35-36

GOLDEMBERG, J. O Brasil e as mudanças climáticas. **O Estado de São Paulo**, São Paulo,n 12 dez. 1999.

GRACE, J.; MALHI, Y.; LLOYD, J.; MCINTTYRE, J; MIRANDA A C; MEIR,P & MIRANDA, H.S. 1996. The use of eddy covariance to infer the net carbon dioxide up take of Brazilian rain Forest, 1996. Global Change Biology, 2: 209 – 217.

HOSOKAWA, R. T.; HOSOKAWA, E. G. Fundamento Científico do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): A Lei dos Efeitos Acelerados da Entropia In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICH, L.F.; BALBINOT, R. M.; ZILIOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (es). **As Florestas e o Carbono**. Curitiba, 2002. p. 109-118.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Disponível em <www.ipcc.ch> . Acesso em: 15 nov. 2003.

IPCC. **Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC - Mudança do Clima 2001**. Disponível em: <www.mct.gov.br/clima/ciencia/Default.htm#clima>. Acesso em: 25 set. 2003.

IWAKIRI, S. et al. Produção de Compensados de *Pinus taeda* L E *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo uréia formaldeído, **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.3, Maio/Junho 2.002.

KHALILI, A. E. Commodities ambientais: O presente, o futuro e o papel da pesquisa. **Revista Árvore.** Disponível em <www.arvore.com.br/artigos/htm_2003/ar0604_1.htm>. Acesso em: 02 nov. 2003.

KHALILI, A. E. O que são créditos de carbono. **Revista Árvore** Disponível em <www.arvore.com.br/artigos/htm_2003/ar0610_1.htm>. Acesso em: 22 mar. 2004.

KRUPA, S. V. **Gases traço atmosféricos significantes para o aumento do efeito estufa.** Disponível em: <www.cnpma.embrapa.br/agrogases/tab_01-1.html>. Acesso em: 17 dez. 2003.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. **Protocolo de Quioto, a convenção sobre mudança do clima.** Disponível em: <www.mct.gov.br/clima/quioto/protocol.htm>. Acesso em: 15 set. 2003

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. **Estimativa da quantidade de carbono fixado pelas florestas plantadas.** Disponível em: <www.mct.gov.br/clima/comunic_old/forest07.htm>. Acesso em: 28 out. 2003.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. **Estimativa da Produção das Florestas Plantadas.** Disponível em < www.mct.gov.br/clima/comunic_old/forest05.htm>. Acesso em: 28 out. 2003.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança no Clima.** Disponível em: <www.mct.gov.br/clima/convencao/Default.htm>. Acesso em: 28 out. 2003.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. **Teor de Carbono**. Disponível em: <www.mct.gov.br/clima/comunic_old/forest06.htm>. Acesso em: 28 out. 2003.

MENDES, L.M. et al. Variação da densidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. no sentido longitudinal dos caules. **Cerne.** Lavras, v. 5, n.1, 111p, 1999.

MOTTA, R. S. et al. **O mecanismo de desenvolvimento limpo e o financiamento do desenvolvimento sustentável no Brasil – IPEA**. Disponível em <www.ipea.gov.br/pub/ts/ts_2000/td0761.pdf. Acesso em: 10 mar. 2004

MIGUEZ, J. G. **Brasil está concluindo inventário sobre emissões de gases do efeito estufa.** Disponível em <www.mct.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2003.

Miranda, H. S. e Miranda, H. S. Estoques de carbono e queimadas no Cerrado. In: MOREIRA, A. **As Mudanças Climáticas Globais e os Ecossistemas Brasileiros**. Ed. Prelo, 1999.

MOTTA, R. S. et al. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e o Financiamento do Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** Texto para discussão, n.761. Rio de Janeiro, setembro, 2000.

MUDANÇAS climáticas e o setor florestal. **Revista da Madeira.** Curitiba, n. 60, ano 11, outubro, 2001.

NAKAMURA, P. Klabin vai vender crédito de carbono. **Gazeta Mercantil.** 12 mar. 2003. Disponível em: <www.gazetamercantil.com.br>. Acesso em: 12 mar. 2003.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA D. A. **Inventário Florestal**, v.1, Curitiba, 1997. 241p

PRADO, A.C. **Exploração florestal madeireira**. Brasília: Funatura, 1995.

PROGRAMA DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO. **Emissões de Carbono do Sistema Energético Brasileiro – Metodologia Bottom-up.** Disponível em: <www.ivig.coppe.ufrj.br/doc/bottom-up.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2004.

REIS, M.G.F. et al. Seqüestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. In: **Seminário emissão x seqüestro de CO2 – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil.** Rio de Janeiro: Anais. Companhia Vale do Rio Doce, 1994. P155-195.

REZENDE, D. **Seqüestro de carbono: uma experiência concreta.** Goiânia: Gráfica Terra, 2000. 1v.

REZENDE, A.V. O estoque de carbono no cerrado: um estudo de caso. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICH, L.F.; BALBINOT, R. M.; ZILIOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (es). **As Florestas e o Carbono**. Curitiba, 2002. p 175- 190.

ROCHA, M. **Associação de pequenos produtores podem lucrar com seqüestro de carbono.** Disponível em: <www.arvore.com.br/entrevista/en2003_3107_1.htm>. Acesso em: 22 mar. 2004.
ROCHA, M. T. O aquecimento global e os instrumentos de mercado para a solução do problema. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICH, L.F.; BALBINOT, R. M.; ZILIOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (es). **As Florestas e o Carbono**. Curitiba, 2002. p. 1-34.

SBS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **O setor florestal brasileiro: fotos e números**. São Paulo, 1998. 18p.

SALATI, E. Emissão x seqüestro de CO_2 – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. In: **Seminário emissão x seqüestro de CO_2 – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil**. Rio de Janeiro: Anais, 1994. p 15-37

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICH, L.F.; BALBINOT, R. M.; ZILIOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (es). **As Florestas e o Carbono**. Curitiba, 2002. p. 119-140.

SCHUMACHER, M. V. **Seqüestro de carbono em florestas plantadas**. Disponível em <www.sindimadeira.org.br/3simader/sequestrocarbono.htm>. Acesso em: 29 mar. 2004.

SCHUMACHER, M. V. Estoque de carbono em florestas de *Pinus taeda* L. e *Acacia mearnsii* De Wild. Plantadas no estado do Rio Grande do Sul – Brasil. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICH, L.F.; BALBINOT, R. M.; ZILIOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (es). **As Florestas e o Carbono**. Curitiba, 2002. p. 141-152.

SCHUMACHER, M.V. Seqüestro de carbono em florestas plantadas. **Revista da Madeira.** Curitiba, n.76, p 88-90, set. 2003.

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos ambientais das plantações de Pinus e Eucaliptos.** Disponível em: <www.sindimadeira.org.br/3simader/aspectosambientais.htm>. Acesso em: 02 nov. 2003.

SILVER, W.R. ; OSTERTAG, R. & LUGO, A.E. 2000. The Potential for Carbon Sequestration through Reflorestation of Abandoned Tropical agricultural and Pasture Lands. Restoration Ecology, Vol. 8 N^{o}, 4. p.394-407.

UNEP, United Nations Environment Programme. **Kyoto Protocol an Greenhouse Gases.** Disponível em <http://maps.grida.no/kyoto>. Acesso em: 26 mar. 2004.

VIEIRA, S. **Estatística experimental.** 2 ed**.** São Paulo: Atlas, 1999. 185p.

VIOLA, E. A participação do Brasil no protocolo de Kyoto. Carta Internacional. Universidade de São Paulo, São Paulo,ano X, n.107/108, jan./fev. 2002, p.16-18.

WWF. **Cenários de alterações climáticas para o Brasil.** Disponível em<www.cru.uea.ac.uk/~mikeh/research/brazil.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2004.