



UIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS

Juliana Torres de Sousa

BALANÇO DA EMISSÃO DE CARBONO EM UMA UNIDADE DE CARVOEJAMENTO
NO MUNICÍPIO DE SEROPÉDICA, RJ

“Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Florestal, como requisito
parcial para obtenção do Título de
Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas
da Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro”.

Orientador: Hugo Barbosa Amorim

**Seropédica
2008**

JULIANA TORRES DE SOUSA

BALANÇO DA EMISSÃO DE CARBONO EM UMA UNIDADE DE CARVOEJAMENTO
NO MUNICÍPIO DE SEROPÉDICA, RJ.

BALANÇO DA EMISSÃO DE CARBONO EM UMA UNIDADE DE CARVOEJAMENTO
NO MUNICÍPIO DE SEROPÉDICA, RJ.

Juliana Torres de Sousa

Seropédica, 11 de fevereiro de 2008.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. HUGO BARBOSA AMORIM (orientador)

TOKITIKA MOROKAWA - Membro Titular

NATÁLIA DIAS DE SOUZA – Membro Titular

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Ana Maria e Luiz Carlos por todo o carinho e apoio, pois sem eles a realização deste sonho não seria de possível realização. E por estarem ao meu lado nas horas mais difíceis, que somente eles são verdadeiros amigos que se pode contar.

Ao meu irmão Luciano pelo apoio de sempre, carinhos demonstrados em pequenos gestos e por ser o meu irmão em todos os momentos da minha vida.

Ao meu namorado Henrique, pelo apoio, paciência, companheirismo e por estar junto comigo durante a minha caminhada. E pelo carinho de todos os dias.

Aos grandes amigos Celso e Cristiane, por me dar apoio e por me proporcionar momentos felizes ao lado de seus filhos Lucas e Yuri e pelo carinho.

Ao meu orientador e segundo pai Hugo Amorim, pelos ensinamentos, por acreditar em mim e por oferecer esta oportunidade, a de ser meu orientador e preferido.

À Deus, por iluminar o meu caminho e por me proporcionar a oportunidade de ter realizado o Curso de graduação em Engenharia Florestal na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, que tanto me orgulho e por poder amadurecer nesta instituição de ensino.

Dedico a estas pessoas tão especiais na minha vida.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos aos meus amigos do Rio, em especial, Marcella e Bernardo por me apoiarem e me incentivarem por mais uma vez, durante a minha caminhada. E por essa amizade especial de longa data.

Agradecer aos amigos conquistados durante a graduação em Engenharia Florestal, em especial, Hiram, Rachel, Rafaela, Júlia e Clarisse obrigada por tudo e pela paciência.

Aos outros amigos, Marcel, Ipanema, Crislaine, Mariana, Diogo, Claudinha, Patolino e recentes, Thiago e Natália. Pelo carinho, apoio e os momentos de descontração.

As minhas amigas Juliana Moulin e Soraya, por serem vizinhas queridas, tão lembradas.

E as minhas amigas queridas, Dani, Poly, Maria Amélia, Mariana (mineira), que apesar do pouco tempo, são amigas muito especiais.

Ao amigo Elvis, por estar sempre disposto nas horas que eu preciso.

A futura professora Natália, pela atenção dada a mim, no início deste trabalho.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

A todos os professores do Instituto de Florestas pelo aprendizado.

Aos funcionários do Instituto de Florestas, em especial Mônica e Luiz Cláudio.

A todas essas pessoas o meu muito obrigado!

RESUMO

O presente estudo teve como o objetivo elaborar um modelo para efetuar o balanço das emissões de carbono em uma unidade de carvoejamento instalada no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. O estoque lenhoso a ser carbonizado provem de plantios de 4 espécies do gênero *Eucalyptus* (*E. citriodora*, *E. pellita*, *E. robusta* e *E. urophylla*.), cortados aos 80 meses de idade, que apresentaram 236,72 m³/ha. A análise dos componentes do processo que culmina com o carvoejamento do estoque explorado mostrou que a emissão de carbono origina-se nas atividades ligadas à implantação, manutenção e exploração dos povoamentos, além dos gases condensáveis e não condensáveis liberados no processo de carbonização. A captura e imobilização do carbono existente na atmosfera são promovidas pelo crescimento das árvores que o estoca na forma de raízes, fuste, galhos e folhas. A parcela referente ao fuste das árvores apresentou um valor de 50,303 toneladas por hectare, que se reduzem a 15,59393 toneladas/hectare após o processo de carbonização. A emissão de carbono apresentou um valor de 3,50 toneladas por hectare, sendo que desse total 82% corresponde aos gases não condensáveis liberados pela carbonização da madeira. O balanço final mostrou que o processo captura 12,09 toneladas por hectare, sendo, portanto, fonte do que se convencionou chamar de “seqüestro” de carbono. No decorrer do estudo ficou patente que existe necessidade de se aprofundar os estudos referentes aos índices de conversão de combustível em carbono emitido, eficiência dos veículos e máquinas envolvidas no processo, além de uma melhor quantificação dos subprodutos da carbonização. Como recomendação de destaque, sugere-se acompanhar o carvão até seu destino final para que se possa completar seu ciclo de vida e concluir efetivamente se o processo continua a ser positivo quanto ao balanço de carbono.

Palavras-chave: Carbono, carbonização, *Eucalyptus*.

ABSTRACT

The objective of this work is to prepare a model to carry out the balance of carbon emissions in a coalhouse unit located at Rio de Janeiro Rural Federal University in Seropédica (RJ). The wood stock to be carbonized comes from a ground, four species, *Eucalyptus* forest cutten about eighty month old, when with 236,72 m³/ha wood volume. The analyzes of the process components which end with coal production from explored stock shows that the carbon emission starts with activities related to implant, maintenance and exploration of the stand besides condensed and uncondensed gases released during carbonization. Capture and immobilization of atmospheric carbon is promoted by growing trees that stores then like. Trees trunk add together a value of 50.303 t/ha which reduces to 15.59393 after carbonization process. Carbon emissions represents a value of 3.50 t/ha. 82 % of this total corresponds to uncondensed gases released by wood carbonization. Final balance shows that the process captures 12.09 t/ha, evidencing why is it called “carbon kidnapping”. During this study the need to expand researches concerned with emitted carbon from fuel combustion indices, vehicles and machinery involved in the process and a better quantification of carbonization sub products, became clear. It is specially recommended to look after the coal until his final destination guaranteeing completion of it's life cycle and effectively define if the process continuation to be positive regarding carbon balance.

Keywords: Carbon, carbonization, *Eucalyptus*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Objetivo.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Importância da Fotossíntese e da Respiração	2
2.2 Ciclo do Carbono.....	2
2.3 Efeito Estufa.....	4
2.4 Mudanças climáticas.....	5
2.5 As Florestas e o MDL.....	7
2.6 Balanço de Carbono em uma Floresta de Eucalipto.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1 Localização e Características da Unidade de Carvoejamento.....	8
3.2 Caracterização do Sistema a ser Estudado.....	8
3.3 Quantificação do Carbono Capturado e Emitido.....	9
3.3.1 Carbono capturado.....	9
3.3.2 Carbono emitido.....	10
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	12
4.1 Carbono Capturado.....	13
4.2 Carbono Emitido.....	13
4.2.1 Carbono emitido no preparo do solo.....	13
4.2.2 Carbono emitido na implantação e manutenção do povoamento.....	14
4.2.3 Carbono emitido na exploração do povoamento e transporte da madeira do povoamento para os fornos.....	15
4.2.4 Carbono emitido na carbonização da madeira.....	17
4.2.5 Carbono emitido pela degradação de raízes, galhos e folhas.....	18
4.3 Balanço entre o carbono capturado e o emitido.....	18
5. CONCLUSÃO.....	19
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	20

LISTA DE FIGURAS

1.	As principais emissões de gás do efeito estufa fontes/remoções e processos em ecossistema controlado.....	3
2.	Esquema ilustrativo do efeito estufa	4
3.	Mudança da temperatura.....	5
4.	Rendimento da carbonização.....	17

LISTA DE TABELAS

1.	Gases do efeito estufa e respectivas porcentagens contribuintes para o agravamento do efeito estufa.....	5
2.	Atividades emissoras × atividades que capturam carbono.....	9
3.	Fatores de conversão, correção e emissão, para diesel e gasolina	10
4.	Dados de conversão para o consumo de combustível pela motosserra.....	15
5.	Produtos da carbonização e suas respectivas quantidades e situação.....	18
6.	Balço entre as emissões e a captura de carbono.....	18

1 INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

O desenvolvimento econômico é tão importante quanto à conservação dos recursos naturais. Há uma constante utilização dos recursos da natureza para a transformação de matérias-primas em outros produtos necessários para a sobrevivência.

Desde a crise do petróleo de 1973, houve uma crescente preocupação das economias industrializadas em se desenvolver com a utilização de recursos novos e renováveis. Começou então a despertar o interesse dessas economias em utilizar a biomassa como fonte energética, surgindo também o emprego da biomassa florestal (madeira) (BRITO, 1990 a).

Se a madeira teve grande destaque como fonte de energia, deve-se ao fato do uso de carvão vegetal de que é oriunda (BRITO, 1990 a). Adotou-se o uso do carvão vegetal em vários setores do ramo industrial, tendo um papel fundamental na produção de ferro-gusa, sendo praticamente isento de enxofre e outros elementos indesejáveis.

Por isso, o carvão vegetal é de suma importância no que diz respeito ao desenvolvimento sustentável, pois apesar de haver ainda desmatamento de mata nativa para sua produção, aumentou-se os plantios de eucalipto para tal finalidade, afim da diminuição de custos na exportação de carvão mineral, para diminuir o avanço do desmatamento.

Uma das desvantagens na produção de carvão vegetal, está no processo de carbonização, pois ainda é utilizado o método rudimentar, onde é feita a queima parcial da madeira em fornos de alvenaria que não recuperam os gases condensáveis e os não condensáveis e milhares e milhares de toneladas dos componentes químicos desses gases são liberados para atmosfera e somente entre 30 a 40 % da madeira são aproveitados na forma de carvão vegetal (BRITO, 1990 b).

Vários subprodutos podem ser obtidos da carbonização da madeira, e com isso reduzir a emissão de compostos poluentes na atmosfera, porém até agora não estão sendo utilizado devido principalmente aos baixos preços dos derivados do petróleo e ao alto custo para obtenção dos mesmos em decorrência da falta de tecnologia adequada (MIRANDA, 1999).

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é apresentar um modelo para quantificar o resultado entre a captura e as emissões de carbono geradas no processo reflorestamento e de produção do carvão vegetal originário de uma bateria de fornos existentes e em produção, no campus da UFRRJ.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da fotossíntese e da respiração

A fotossíntese é a via pela qual praticamente quase toda energia entra na Biosfera, sendo o processo mais importante que ocorre na Terra. Durante a fotossíntese as plantas, algas, bactérias fotossintetizantes são capazes de utilizar a luz para converter moléculas simples (CO_2 e H_2O) em moléculas orgânicas complexas que são utilizadas igualmente por plantas e animais como fontes de energia e moléculas estruturais. Além disso, a fotossíntese libera O_2 para atmosfera, sendo importante para a respiração celular e na síntese de ATP (RAVEN *et al.*, 1999).

O homem é muito dependente direta ou indiretamente deste processo, como seres heterótrofos, alimentamo-nos de plantas (autótrofos – sintetizam seu próprio alimento) ou de animais que se alimentam de plantas. E ainda, os homens fazem uso dos recursos naturais, para fins energéticos, como carvão, gás natural e petróleo que são produtos provenientes da decomposição de plantas e animais e sua energia armazenada que foram captados há milhões de anos (Wilson, 1988 *apud* SCARPINELLA, 2002).

A equação geral da fotossíntese é a seguinte:



Já a respiração é um processo inverso da fotossíntese, o oxigênio da atmosfera é absorvido para que os carboidratos (e outros constituintes celulares) sejam convertidos em energia para os processos de manutenção e desenvolvimento que todo ser vivo realiza.

Deve-se salientar que mesmo as plantas realizando a fotossíntese elas não deixam de respirar.

A equação geral da respiração é:



A fotossíntese e a respiração são processos que fazem parte de um ciclo biogeoquímico de suma importância: o ciclo do carbono.

2.2 Ciclo do Carbono

A dinâmica de um ecossistema depende de vários fatores e ciclos, como os ciclos biogeoquímico. Dentre os ciclos biogeoquímico, estão o da água, do nitrogênio, do fósforo, enxofre, oxigênio e do carbono. O ciclo de carbono é o de maior importância (SCARPINELLA, 2002).

Os organismos vivos são principalmente compostos por água e vários componentes de carbono. O carbono é encontrado em maior proporção nas rochas, como os carbonatos, geralmente associados com o cálcio em calcários; ou disperso em carbono orgânico e em rochas sedimentárias, particularmente o xisto. Os carbonatos são descritos como contendo o carbono inorgânico, com cerca de 3/4 do total de carbono nesta forma e outro 1/4 disperso em componentes orgânicos. O conteúdo de carbono em outros reservatórios (atmosfera, húmus, biota do solo, combustíveis fósseis, biota marinha e outros compostos) representam apenas 1 % do total (O`neill, 1994 *apud* SCARPINELLA, 2002).

Sendo um dos principais gases do efeito estufa, o CO_2 vive em constante fluxo entre atmosfera e ecossistemas, primeiramente controlado pela fotossíntese e respiração das plantas, decomposição e combustão de matéria orgânica. O N_2O é emitido para o ecossistema principalmente como produto da nitrificação e desnitrificação, ao mesmo tempo em que CH_4 é emitido por condições de solos anaeróbicos e armazenamento de adubos, por fermentação e durante a combustão incompleta enquanto a matéria orgânica é decomposta. Outros gases de interesse (oriundos da combustão e do solo) são NO_x , NH_3 e CO , porque são precursores para formação de gases do efeito estufa na atmosfera. A formação de efeito estufa por estes gases é considerada emissão indireta (IPCC, 2006).

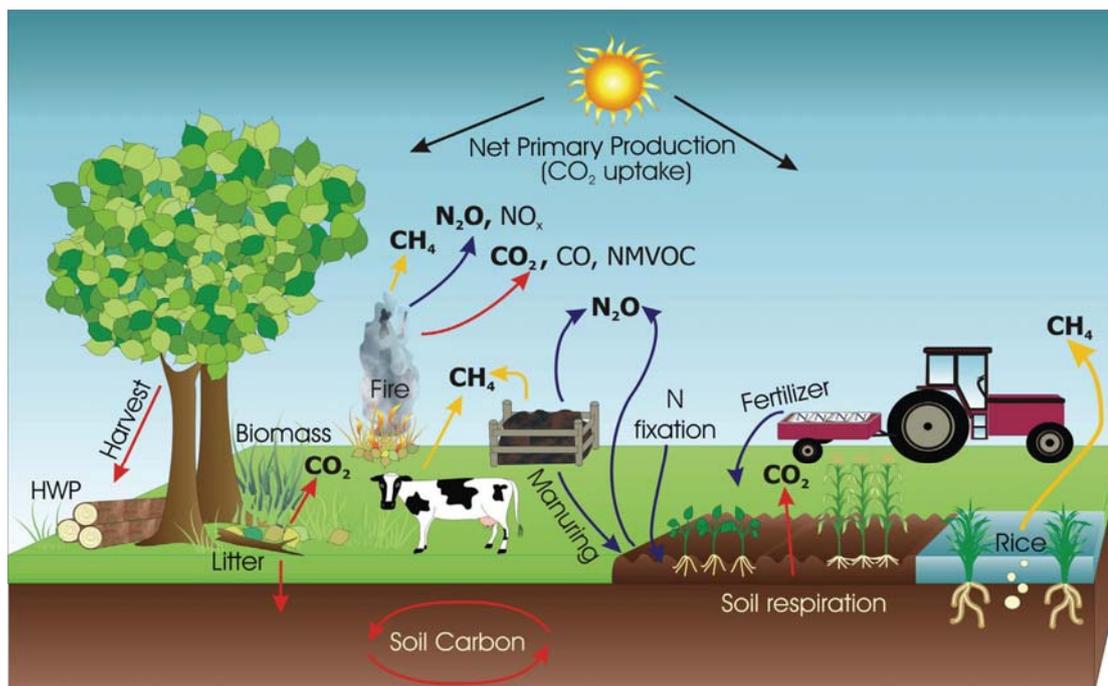


Figura 1: As principais emissões de gás do efeito estufa fontes/remoções e processos em ecossistema controlado. (Fonte: IPCC, 2006)

Como pode se observar na figura 1, é que o sol proporciona a força motriz deste ciclo. E há várias reações químicas do carbono. Três classes de processos fazem o carbono circular através de ecossistemas aquáticos e terrestres. Primeiramente, reações assimilativas e desassimilativas de carbono, essas reações são a fotossíntese e a respiração. Segundo, troca de dióxido de carbono entre atmosferas e oceano. E por último, sedimentação de carbonatos.

2.3 Efeito Estufa

O dióxido de carbono (CO_2) ocorre naturalmente na atmosfera. Sem ele, a Terra seria um lugar frio, porque a maior parte da luz do Sol absorvida pela superfície da Terra seria reirradiada de volta para as profundezas frias do espaço. Como se encontra agora, o CO_2 forma um cobertor isolante sobre a superfície da terra que deixa o ultravioleta de comprimento de onda curto e a luz solar visível passarem, mas retarda a perda de calor na forma de radiação infravermelha de comprimento longo e de baixa energia. O CO_2 absorve parte dessa energia que contribui para o aquecimento do ar. Este efeito de aquecimento se assemelha ao modo pelo qual o vidro mantém uma estufa aquecida, sendo chamado de efeito estufa (RICKLEFS, 2001).

Os principais gases do efeito estufa são: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e sulfohexafluoreto (SF_6) (RICKLEFS, 2001). Atualmente o CO_2 constitui 0,035% da atmosfera (RAVEN *et al.*, 1999). Estudos do gelo glacial demonstraram que o CO_2 durante as eras glaciais chegava, aproximadamente, a 200 ppm. Quando a terra esteve quente, esse valor era de 288 ppm. Hoje se encontra em 350 ppm e só vem aumentando (Simon, 1992 *apud* SOARES *et al.*, 2006).

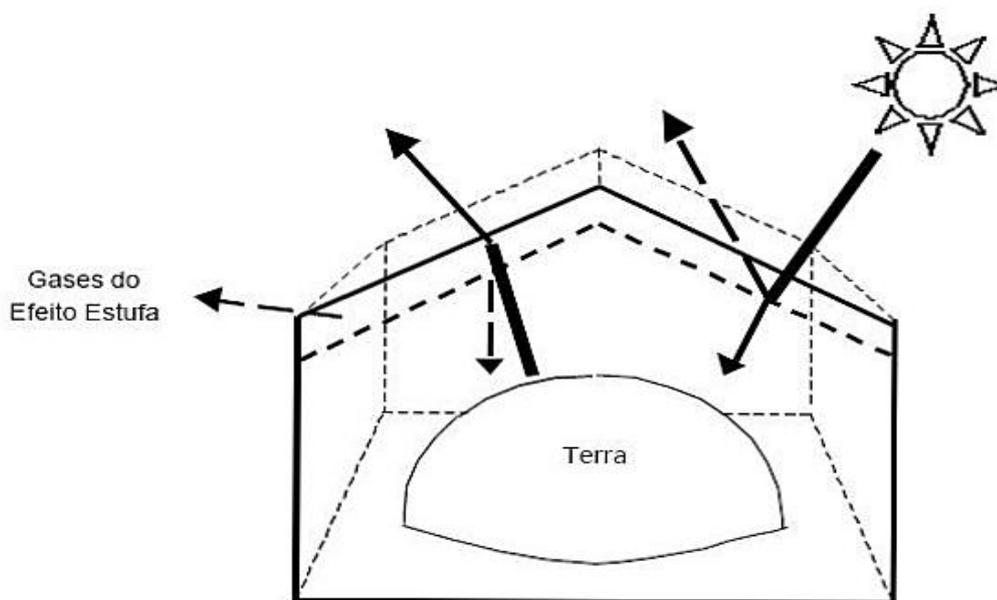


Figura 2: Esquema ilustrativo do efeito estufa (Fonte: NETO, 2002)

Com o aumento da adição dos gases do efeito estufa à atmosfera, como a queima de combustíveis fósseis e a eliminação das florestas o efeito estufa foi intensificado, tornando a Terra mais quente, ocorrendo o problema que enfrentamos o aquecimento global.

Eis a preocupação de cientistas e dirigentes mundiais porque o aquecimento global está se intensificando devido o aumento da concentração dos gases do efeito estufa em decorrência de atividades humanas.

Através da tabela 1, fica clara a contribuição do CO_2 para o agravamento do efeito estufa.

Tabela 1: Gases do efeito estufa e respectivas porcentagens contribuintes para o agravamento do efeito estufa

Gases do efeito estufa	Porcentagem (%)
CO ₂	55
CFC	20
CH ₄	15
N ₂ O E OUTROS	10
TOTAL	100

Fonte: Goldemberg, 1989 *apud* SCARPINELLA, 2002.

Os principais absorvedores do dióxido de carbono (CO₂) são as florestas, que fixam CO₂ para realizarem a fotossíntese, os solos, que estocam carbono na forma de matéria orgânica e os oceanos, que trocam CO₂ com a atmosfera, e o excesso é precipitado como carbonato de cálcio nos sedimentos.

2.4 Mudanças Climáticas

As ações decorrentes das atividades econômicas e industriais têm provocado alterações na Biosfera, como o aumento das emissões dos gases do efeito estufa desde 1750. Esse processo do aumento da concentração dos gases do efeito estufa foi favorecido pelas atividades antropogênicas, como a queima de combustíveis fósseis, desmatamentos com uso da queimada, mudança do uso do solo, agricultura e pecuária.

O aumento da concentração dos gases poderá desencadear num aumento de temperatura, em torno de 1,4 a 5,8° C nos próximos 100 anos (GEROMINI, 2004).

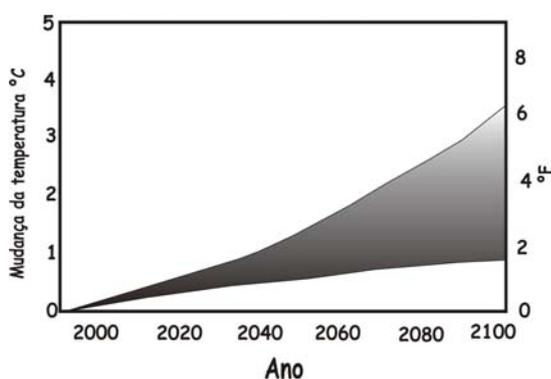


Figura 3: Mudança da temperatura. (Fonte:UNEP-United Nations Environment Programme e WMO-World Meteorological Organization *apud* GEROMINI, 2004)

A preocupação com o clima ganhou importância a partir da década de 80, ocorrendo então inúmeras reuniões de ordem internacional sobre mudanças climáticas, sendo discutido as possíveis soluções para solucionar ou mesmo diminuir a emissão dos gases causadores do efeito estufa (SCARPINELLA, 2002).

Em 1988, a *United Nations Environment Programme* (UNEP) e a *World Meteorology Organization* (WMO) estabeleceram o *Intergovernmental Pannel on Climate Change* (IPCC), grupo formado por cientistas de todo o mundo, incumbidos de pesquisar, avaliar e divulgar informações disponíveis sobre as mudanças climáticas, sendo em 1990 emitido o primeiro

relatório, conhecido como *First Assessment Report* (FAR), confirmando o problema do aquecimento global (SCARPINELLA, 2002).

A partir daí, as pesquisas tomaram repercussões, sendo criado a *United Nations Framework Convention on Climate Change* (ou-Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas). A convenção foi aberta na ECO-92, realizada no Rio de Janeiro, em junho de 1992. Até o momento, são Partes constituintes da Convenção, 186 nações (e Comunidade Européia). Em 1994, a Convenção das Partes entrou em vigor.

A convenção tem como o objetivo de reduzir ou evitar as emissões dos gases do efeito estufa, de modo que haja uma adaptação sem perda da biodiversidade e uma redução dos impactos sobre a natureza. Os países que fazem Parte desta Convenção têm que aceitar todos os termos propostos pela mesma.

Os países desenvolvidos têm maior responsabilidade em reduzir suas emissões e os países em desenvolvimento não são obrigados a reduzir. Sendo assim as Partes de desenvolvidos, signatários da Convenção têm que cumprir em reduzir suas emissões e dar auxílio aos em desenvolvimento.

Os países que fazem Parte do Anexo I são os seguintes: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Bulgária*, Canadá, Comunidade Européia, Croácia*, Dinamarca, Eslováquia*, Eslovênia*, Espanha, Estados Unidos da América, Estônia*, Federação Russa*, Finlândia, França, Grécia, Hungria*, Irlanda, Islândia, Itália, Japão, Letônia*, Liechtenstein, Lituânia* Luxemburgo, Mônaco, Noruega, Nova Zelândia, Países Baixos, Polônia*, Portugal, Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte, República Checa* Romênia*, Suécia, Suíça e Ucrânia. Tem que se observar que alguns países integrantes ainda não ratificaram sua participação na Convenção e os marcados com asteriscos são economias de transição (MCT). Os demais países em desenvolvimento não são constituintes do anexo I.

A conferência das Partes foi criada com a finalidade de manter regularmente a finalidade da convenção, assim como quaisquer instrumentos jurídicos que a Conferência vier adotar e promover a efetiva implementação da Convenção. Até o momento foram realizadas 10 Conferências. O protocolo de Quioto foi criado na terceira conferência das Partes, em 1997, estabelecendo a necessidade de redução das emissões em até 5,2 % por parte dos países signatários da Convenção, até o período de 2008 a 2012 (SCARPINELLA, 2002 e BNDES & MCT, 1999).

Neste protocolo, foram propostos três mecanismos de flexibilização:

- Implementação conjunta;
- Comércio de emissões;
- Mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL).

Na implementação conjunta, um país industrializado pode compensar suas emissões participando de sumidouros e outros projetos ambientalmente otimizados, realizados em outros países do anexo I, visando menores custos de implementação, produzindo bens e serviços e emitindo em menores proporções. Isto implica, constituição e transferência do crédito de emissão de gases do efeito estufa, do país sumidouro ou projeto ambientalmente otimizado. Este pode comprar “créditos” e, em troca constituir fundos para projetos a serem desenvolvidos em outros países.

No comércio de emissões, o país industrializado, pode comercializar parte de redução de suas emissões que excederam as metas compromissadas ao Protocolo de Quioto, para o período de 2008 e 2012.

O MDL é um instrumento para assistir as Partes não constantes do Anexo I da Convenção mediante fornecimento de capital, assim esses países se beneficiam do financiamento desenvolvendo atividades relacionadas a projetos aprovados. Os países industrializados podem utilizar as Reduções Certificadas de Emissões de projetos aprovados, como contribuição à conformidade com a parcela do compromisso que lhe compete (BNDES & MCT, 1999).

2.5 As florestas e o MDL

Ficou definido na Conferência das Partes 6,5, que o florestamento e o reflorestamento seriam as únicas atividades de uso da terra elegíveis no MDL, podendo ser de grande ou pequena escala, utilizando uma única ou múltiplas espécies, na silvicultura ou sistemas agroflorestais (Aukland & Costa, 2002 *apud* NISHI, 2003).

SCARPINELLA (2002) cita que, estas atividades de florestamento e reflorestamento para serem aceitas no MDL, deve seguir alguns princípios básicos:

- O teor destas atividades deve basear-se em ciência sólida, já comprovada;
- Devem ser usadas metodologias consistentes ao longo do tempo para estimativa e relato de tais atividades;
- A mera presença de estoques de carbono deve ser excluída da contabilidade da redução das emissões;
- A implementação das atividades de uso da terra, mudança do uso da terra e Reflorestamento (*Land use, Land-use Change and Forestry-LULUCF*) deve contribuir para a biodiversidade e o uso sustentável de recursos naturais.

As atividades da LULUCF podem ser empregadas somente em terras que desde 31 de dezembro de 1989, sejam pastagens ou terras abandonadas, sem a presença de florestas. Essa barreira surgiu para que evitasse o desmatamento de áreas para o emprego do reflorestamento e, posteriormente, participação dentro MDL.

2.6 Balanço de carbono em uma floresta de eucalipto

Quantificar o carbono de uma floresta é um dos problemas mais complexos de ser resolvidos, pois envolvem fatores externos como a variação do clima, o perfil do solo, a temperatura local e o tipo de vegetação. Para floresta de eucalipto, esta operação é um pouco mais simples, por tratar-se de uma monocultura onde se espera produtividade homogênea, de acordo com a variedade cultivada e com os dados para o cultivo que se dispõe da região. Mas continuam as variáveis no solo, clima, temperatura, enfim da interação com o meio (SCARPINELLA, 2002).

As florestas que atingem o equilíbrio têm balanço de carbono praticamente nulo, em relação entre as entradas e as saídas. Ou seja, a entrada de carbono pela fotossíntese é quase a mesma que a saída de carbono pela respiração. A absorção de carbono das florestas em desenvolvimento é maior também do que aquelas que estão na maturidade.

Para a estimativa da biomassa pode ser pelo método destrutivo ou não destrutivo, sendo importante, para o modelo exposto, todas as descrições e caracterização dos métodos.

No estudo de TSUKAMOTO FILHO (2003), a quantidade de carbono fixado pelas florestas de eucalipto, apresenta 65% do valor total de carbono no tronco, 22% nas raízes e na copa em torno de 13%. As copas e raízes são de difícil contabilização e por não ser reaproveitada, o carbono presente nas mesmas, volta para a atmosfera pelo processo de decomposição (mineralização). O carbono nas mesmas, contribui para a floresta temporariamente.

E não pode deixar de quantificar as emissões geradas durante o preparo do solo para receber o plantio. Estudos comprovam que diferentes tipos de preparo do solo emitem quantidades de carbono diferentes, tem que se considerar o destino final da madeira, pois plantios de eucalipto são destinados para produção de matéria-prima para usos nobres como construção de casas, móveis e estruturas, (neste caso o carbono ficará estocado), para fins energéticos, como lenha, carvão vegetal, para produção de papel e celulose, etc. Então dependendo do uso final, estocará ou emitirá carbono. E para qualquer tipo de uso, deverá ser feita à exploração do plantio e colheita, então o uso de veículos e máquinas agrícolas emitirá carbono para a atmosfera.

Para o balanço final, faz-se necessário a quantificação das emissões de todos os processos efetuados desde plantio do estoque florestal até o seu uso final, determinado pelo tipo de estudo que irá efetuar.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e características da unidade de carvoejamento

O trabalho foi realizado no Município de Seropédica, no Estado do Rio de Janeiro onde as áreas plantadas pelas espécies de eucalipto utilizadas para a fabricação de carvão vegetal, estão nas terras que são de propriedade da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), assim como a unidade de carvoejamento.

A unidade de carvoejamento possui uma área total de 13.240 m², sendo a área de produção de carvão vegetal igual a 1.384 m² (áreas dos fornos, área para o depósito de lenha e área para o depósito de terra). Os fornos são do tipo alvenaria, em número de 30, com capacidade de 35 m³ de lenha cada um. O processo de carbonização e resfriamento de um forno deste tipo dura cerca de sete dias com rendimento médio em carvão vegetal de 30%.

A matéria-prima a ser carbonizada provém de uma área de 591.20 ha, plantada com quatro espécies de eucalipto, a saber: *E.citriodora*, *E. pellita*, *E. robusta* e *E. urophylla*.

3.2 Caracterização do sistema a ser estudado

O balanço entre a captura e as emissões de carbono no processo de produção do carvão será efetuado levando em consideração as seguintes questões:

- Na implantação e manutenção dos povoamentos que irão gerar a madeira a ser carbonizada, ocorre a emissão de carbono sob a forma de queima de combustíveis por parte do maquinário utilizado e por parte do solo revolvido;
- Na exploração e transporte da madeira a ser carbonizada, ocorre emissão de carbono principalmente através da queima de combustíveis por parte dos veículos e máquinas envolvidos nessas operações;
- No processo de carbonização, parte desse carbono é emitido para a atmosfera, na forma de gases condensáveis (ácido acético; metanol; aromáticos diversos; derivados fenólicos; furfural e derivados; e breu), gases não condensáveis (gás carbônico; monóxido de carbono; e hidrogênio hidrocarboneto);
- A fitomassa das árvores (raiz, fustes, galhos e folhas), representa o carbono capturado durante seu processo de crescimento.

A Tabela 2 sumariza esse balanço.

Tabela 2: Atividades emissoras x atividades que capturam carbono

Atividades que produzem emissão de carbono	Atividades que capturam o carbono
1. Implantação e manutenção do povoamento	1. Produção da matéria lenhosa das árvores através de seu processo de crescimento
2. Exploração e transporte da madeira	
3. Carbonização da madeira	
Balanço final entre a captura e a emissão do carbono no processo	

3.3 Quantificação do carbono capturado e emitido

3.3.1 Carbono capturado

O carbono capturado foi quantificado pela estimativa da fitomassa produzida durante o crescimento das árvores do povoamento utilizado como exemplo no presente estudo, posteriormente transformada em matéria seca a ser carbonizada.

Inicialmente, foi obtido o volume comercial dos povoamentos, expresso em m³/ha, através do resultado do inventário florestal dos povoamentos fornecedores de matéria-prima, realizado durante a primeira rotação, no ano de 1997.

Esse volume foi transformado em massa seca pela aplicação do valor de 0,425 t/m³, representativo da densidade básica média da madeira apresentado por FBDS (2002), referente ao gênero eucalipto com casca para as idades de 1 a 21 anos, como mostra a equação a seguir:

Equação 1: $\boxed{\text{Massa seca} = \text{volume} \times \text{DBM (g/cm}^3 \text{ ou kg/m}^3\text{)}}$

O valor do carbono no tronco, onde apresenta maior quantidade de carbono, será calculada a partir da seguinte fórmula:

Equação 2: $\boxed{C_{TR} = (V/F1) \times D \times F2}$, onde:

C_{TR} = carbono no tronco (em t/ha/ano ou t/ha);
 V = volume de madeira (em st/ha/ano ou st/ha);
 D = densidade da madeira seca (em t/m³);
 $F1$ = fator de empilhamento (para conversão de st em m³);
 $F2$ = fator de correção para carbono = 0,5 (% de carbono encontrado na madeira (NETO 2002a). Este valor pode variar de 0,2 e 0,8);
 $(V/F1)$ = volume em m³.

Deve-se observar que $V/F1$ é o mesmo que massa seca.

O resultado dessa estimativa será apresentado em toneladas/hectare, que representa a quantidade de carbono estocado no povoamento florestal estudado, no tronco, sendo a parte representativa da árvore e que posteriormente será carbonizada.

3.3.2 Carbono Emitido

As principais operações responsáveis pela emissão do CO₂ são:

- a) Preparo do solo para o plantio;
- b) Plantio e manutenção do povoamento;
- c) Exploração do povoamento e transporte da madeira do povoamento para os fornos;
- d) Carbonização da matéria prima.

Nas três primeiras fases do processo, a emissão de carbono oriunda da queima de combustíveis pelas máquinas e equipamentos envolvidos nas mesmas será quantificada através do método “*top-down*”, preconizado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) em 1999 no Balanço Energético Nacional – BEN, que prevê a conversão de energia de todas as medidas de consumo de combustível para uma unidade comum, como mostrado a seguir.

Para a quantificação do conteúdo de carbono contido no CO₂ emitido na queima de combustível derivado do petróleo, é necessário a:

- Obtenção dos fatores de conversão, correção e emissão do combustível (Tabela 3);

Tabela 3: Fatores de conversão, correção e emissão, para diesel e gasolina

Combustível	Fator de Conversão (t EP/m ³)	Fator de Correção	Fator de emissão (t C/TJ)
Gasolina	0,771	0,95	18,9
Diesel	0,848	0,95	20,2

- Aplicação da equação 3 para obtenção do consumo de energia;

Equação 3: $CC = CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr}$

onde:

1 tEP brasileiro = $45,2 \times 10^{-3}$ TJ.

CC = Consumo de energia em TJ.

CA = Consumo de combustível (em m³, l, Kg).

Fconv = Fator de conversão da unidade física de medida da quantidade de combustível para tEP (tonelada equivalente de petróleo, onde o conteúdo energético 1 tEP é função do tipo de petróleo utilizado como padrão) com base no poder calorífico superior (PCS) do combustível.
Fcorr = Fator de correção de PCS para PCI (poder calorífico inferior). No BEN, o conteúdo energético tem como base o PCS, mas para o IPCC, a conversão da unidade comum de energia deve ser feita pela multiplicação do consumo pelo PCI, os dados referentes ao fator de correção apresentados na Tabela 3, são dados conforme o Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT.

- Aplicação da equação 4, para obtenção da quantificação do conteúdo de carbono.

Equação 4: $QC = CC \times Femiss \times 10^{-3}$

onde:

QC = Conteúdo de carbono expresso em Gg C.

CC = Consumo de energia em TJ.

Femiss = Fator de emissão de carbono (tC/TJ), os valores da Tabela 3 são foram disponibilizados pelo IPCC e MCT.

10^{-3} = tC/GgC.

Esse procedimento será utilizado para quantificar a emissão de carbono pela queima de combustível das seguintes máquinas, veículos e equipamentos: tratores agrícolas, durante o plantio e manutenção do povoamento florestal para o transporte de mudas e insumos, motosserras durante a exploração do plantio, os caminhões para transportar as toras de madeira para a unidade de carvoejamento e os veículos particulares para locomoção do técnico responsável as áreas cobertas pela unidade.

a) Preparo do solo

O solo é um dos principais componentes do ciclo de carbono, sendo considerado o principal reservatório temporário de carbono no ecossistema (Bruce *et al.*, 1999 *apud* AMADO, 2007). Porém, dependendo das práticas agrícolas os solos podem funcionar como um dreno ou uma fonte de CO₂ para a atmosfera (Amado & Santi, 2000 *apud* AMADO, 2007).

Em solos com cobertura vegetal o conteúdo de carbono orgânico encontra-se estável, ocorrendo pequena variação ao longo do tempo. Clima, vegetação, topografia e tipo de solo irão condicionar o tamanho do estoque de carbono que será armazenado no solo (AMADO, 2007).

Em sistemas convencionais de preparo do solo, este fica desprovido de vegetação por um período de tempo. Durante este período, o solo é basicamente um emissor de CO₂ para a atmosfera, pois nenhuma vegetação está presente, nenhuma fotossíntese acontece e ocorre a mineralização da matéria orgânica e liberação do CO₂ que se encontra nos poros do solo, sendo estas, induzidas pelas atividades de preparo (AMADO, 2007).

No presente caso estudado, o preparo do solo para receber o plantio consistiu de aração seguida por grade niveladora. Este método de preparo do solo pode resultar em um acréscimo de emissão para atmosfera em até 101,5 g CO₂. m⁻² num período de duas semanas

(JÚNIOR *et al.*, 2007). Este valor para 1 hectare corresponde a 1.015.000 g CO₂/hectare que é igual a 1,015 t CO₂/hectare.

b) Plantio e manutenção do povoamento

No plantio e manutenção dos povoamentos, a emissão de carbono é representada pela queima de combustíveis dos veículos e máquinas envolvidas nessas operações. Os veículos são representados por viaturas próprias ou alugadas envolvidas no transporte pessoal e insumos. As máquinas são representadas basicamente por tratores agrícolas envolvidos no plantio e manutenção.

A quantidade de carbono emitida nessas operações será calculada através de informações prestadas pela empresa que implantou e mantém os povoamentos, referentes a quantidade de veículos/máquinas necessários para implantar e manter 1 ha.

Esses valores permitirão a conversão do combustível queimado em quantidade de carbono emitida por hectare de plantio e manutenção, aplicando-se nesse cálculo o método “*top down*”.

c) Exploração do povoamento e transporte da madeira do povoamento para os fornos

Durante a exploração e transporte da madeira do povoamento florestal as emissões provem também da queima de combustíveis fósseis no uso de motosserras e caminhões.

Essas emissões também serão quantificadas pelo método “*top-down*”.

d) Carbonização da matéria-prima

Durante a produção do carvão vegetal ocorre o processo de carbonização, onde a queima da biomassa florestal (lenha), em temperatura relativamente elevada, com quantidades controladas de oxigênio gera gases condensáveis e não condensáveis. A quantificação dos produtos e gases gerados pela carbonização tomará como base os resultados apresentados por COUTO *et al.* (2004).

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

A partir das considerações efetuadas na metodologia, são apresentadas a seguir as quantidades de carbono por hectare, capturados e emitidos no processo de produção e carbonização de um povoamento de eucalipto, localizado no campus da UFRRJ, Seropédica, RJ.

4.1 Carbono capturado

O inventário florestal realizado nos povoamentos geradores da matéria prima utilizada na produção de carvão pela bateria de fornos utilizada como base para o presente estudo, foi realizado aos 84 meses de idade, antecedendo sua exploração, apresentando como resultado o volume médio de 236,72 m³/ha.

Tomando por base esse volume médio com casca, obtém-se a massa seca, como mostrada a seguir:

$$\text{Massa seca} = \text{Volume} \times \text{DBM}$$

Sendo DBM a densidade básica da madeira, igual a 0,425t/m³ (FBDS, 2002).

$$\text{Massa seca} = 236,72 \text{ m}^3/\text{ha} \times 0,425 \text{ t /m}^3$$

Massa seca = 100,606 t / hectare

Aplicando-se à massa seca a equação 2, utilizada por Neto (2002a) e utilizando o fator de conversão que é de 0,5 ou 50% tem-se o valor de 50,303 toneladas de carbono por hectare, que será o valor considerado como o carbono capturado pela madeira que será carbonizada.

$$\text{CTR} = (\text{V/F1}) \times \text{D} \times \text{F2}$$

$$\text{CTR} = 100,606 \times 0,5$$

CTR = 50,303 toneladas/hectare de carbono

Este valor é considerado como o carbono capturado pelo povoamento florestal, aos 80 meses para uso na produção de carvão vegetal.

4.2 Carbono Emitido

4.2.1 Carbono emitido no preparo do solo

Segundo o trabalho de JÚNIOR *et al.* (2007), que realizou um experimento com cinco tratamentos de preparo do solo, o tratamento que recebeu o preparo do solo com aração seguido de grade niveladora resultou na emissão de 1,015 t CO₂/hectare. Através de cálculos estequiométricos, a emissão de carbono é de 0,276818 t /hectare.

Este valor é considerado como o valor emitido pela aração seguido de grade niveladora, como sendo umas das operações de preparo do solo.

E durante o preparo do solo tem-se o acompanhamento de um técnico para gerenciar o trabalho dos operários no plantio. As visitas são feitas por um automóvel, e a queima de combustível pelo o mesmo, também contribui para a emissão de carbono.

Será considerado que um automóvel gaste em torno de 10 km/l e o percurso que ele faça durante um mês de atividades de preparo do solo, seja de 50 km, o carro percorrerá

0,084574 km/hectare, gastando 0,845737 l/hectare. Então como mostra a seguir será quantificada a emissão de carbono pelo método “*top-down*” durante este período.

$$\begin{aligned}CC &= CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr} \\CC &= 0,845737483 \times 0,000771 \times 45,2 \times 10^{-3} \times 0,95 \\CC &= 2,79996 \times 10^{-5} \text{ TJ/ha}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}QC &= CC \times F_{emiss} \times 10^{-3} \\QC &= 2,79996 \times 10^{-5} \times 18,9 \times 10^{-3} \\QC &= 5,29193 \times 10^{-7} \text{ Gg C} = \mathbf{0,000529 \text{ t C / hectare}}\end{aligned}$$

Quantidade de carbono emitido durante a operação de preparo do solo somando-se as fontes de emissão corresponde a:

$$\begin{aligned}QC \text{ emitido} &= \text{Emissão na aração do solo} + \text{Emissão na queima de combustível} \\QC \text{ emitido} &= 0,276818 + 0,000529 \\QC \text{ emitido} &= \mathbf{0,277347 \text{ t C/hectare}}\end{aligned}$$

As quantidades de carbono emitidos durante os processos de preparo do solo totalizam em 0,277347 toneladas por hectare.

4.2.2 Carbono emitido na implantação e manutenção do povoamento

Durante a implantação do povoamento tem-se a emissão de carbono pelos tratores agrícolas que transportam insumos e mudas no campo, e será quantificado o método “*top down*”.

De acordo com o trabalho de LOPES *et al.* (2008), o consumo médio de um trator é de 10,8 l /hora. Considerando que o trator opere durante 25 dias por mês, em 7 anos, irá operar por 1050 dias, dividindo o número de dias pela área do plantio, o trator irá operar dois dias por hectare, sendo a jornada de trabalho 10 h, 20 h/hectare, corresponderá a um consumo de combustível de 216 litros/hectare. Então a quantidade de carbono emitida está representada pelos cálculos a seguir:

$$\begin{aligned}CC &= CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr} \\CC &= 216 \times 0,000848 \times 45,2 \times 10^{-3} \times 0,95 \\CC &= 0,007865 \text{ TJ/ha}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}QC &= CC \times F_{emiss} \times 10^{-3} \\QC &= 0,007865 \times 18,9 \times 10^{-3} \\QC &= 0,000149 \text{ Gg C} = \mathbf{0,149 \text{ t C / hectare}}\end{aligned}$$

Será considerado que um automóvel gaste em torno de 10 Km/l e gaste de quilometragem durante 40 meses de atividades de preparo do solo, seja de 3,38295 km/ha, serão consumidos 33,8295 litros/hectare de combustível. Então, como mostra o cálculo a seguir será quantificada a emissão de carbono pelo método “*top-down*” durante este período:

$$CC = CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr}$$

$$CC = 33,8295 \times 0,000771 \times 45,2 \times 10^{-3} \times 0,95$$

$$CC = 0,00112 \text{ TJ/ha}$$

$$QC = CC \times F_{emiss} \times 10^{-3}$$

$$QC = 0,00112 \times 18,9 \times 10^{-3}$$

$$QC = 2,11677 \times 10^{-5} \text{ Gg C} = \mathbf{0,021168 \text{ t C / hectare}}$$

A quantidade de carbono emitido durante a operação de implantação e manutenção do povoamento florestal somando-se suas fontes de emissão corresponde a:

QC emitido = Emissão na queima de combustível pelo trator+ Emissão na queima de combustível pelo automóvel

$$QC \text{ emitido} = 0,149 + 0,021168$$

$$QC \text{ emitido} = \mathbf{0,170168 \text{ t C/hectare}}$$

As quantidades de carbono emitidas durante os processos de implantação e manutenção do plantio totalizam em 0,170168 toneladas por hectare.

4.2.3 Carbono emitido na exploração do povoamento e transporte da madeira do povoamento para os fornos

Para quantificar as emissões de carbono na exploração e no transporte, será quantificado o carbono durante a queima do uso de combustível utilizado no uso da motosserra e no transporte das toras, pelo caminhão até a unidade de carvoejamento.

Admitindo que o volume do povoamento seja 236,72m³ e que a motosserra corta 1 árvore em 6 min e que consome de combustível 1,45 l/h será calculado quantas árvores existem em litros por hectare, quantas árvores serão cortadas em uma hora, quantos litros são gastos por árvore e por fim quanto se consome de combustível por ha. Os valores estão apresentados na tabela a seguir:

Tabela 4: Dados de conversão para o consumo de combustível pela motosserra

Volume/ha	Volume de uma árvore	Número de árvores/ha	Consumo de combustível por hora	Litros de combustível por árvore	Litros consumidos em 1 hectare
236,72	0,1678	1410, 73	1,45	0,145	204,5554

Aplicando-se a fórmula do CC:

$$CC = CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr}$$

$$CC = 204,5554 \times 0,000771 \times 45,2 \times 10^{-3} \times 0,95$$

$$CC = 0,006772 \text{ TJ/ha}$$

$$QC = CC \times F_{emiss} \times 10^{-3}$$

$$QC = 0,006772 \times 18,9 \times 10^{-3}$$

$$QC = 0,000127994 \text{ Gg C} = \mathbf{0,12799385 \text{ t C/hectare}}$$

Para o cálculo das emissões do caminhão para o carregamento e descarregamento das toras na unidade de carvoejamento, os procedimentos adotados serão os mesmos utilizados para quantificar as emissões, utilizadas pela motosserra, lembrando-se que o combustível utilizado pelo caminhão é o diesel. Admitindo-se que o caminhão consumirá 50 l /hectare, então:

$$CC = CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr}$$

$$CC = 50 \times 0,000848 \times 45,2 \times 10^{-3} \times 0,95$$

$$CC = 0,000182066 \text{ TJ/ha}$$

$$QC = CC \times F_{emiss} \times 10^{-3}$$

$$QC = 0,000182066 \times 20,2 \times 10^{-3}$$

$$QC = 3,67773 \times 10^{-6} \text{ Gg} = \mathbf{0,003677725 \text{ tC / hectare}}$$

Também será utilizado o mesmo método para o cálculo de emissões para veículos particulares. Considerando que um automóvel gaste 10 km/l e percurso seja de 50 km por mês, em 80 meses, o percurso será de 4000 km. O percurso total pelo tamanho do povoamento, que é de 591,20 ha, terá 6,7659 km/ha. O consumo de combustível será de 67,659 l/ha.

Então:

$$CC = CA \times F_{conv} \times 45,2 \times 10^{-3} \times F_{corr}$$

$$CC = 67,659 \times 0,000771 \times 45,2 \times 10^{-3} \times 0,95$$

$$CC = 0,00224 \text{ TJ /ha}$$

$$QC = CC \times F_{emiss} \times 10^{-3}$$

$$QC = 0,00224 \times 18,9 \times 10^{-3}$$

$$QC = 4,23354 \times 10^{-5} \text{ Gg C} = \mathbf{0,042335 \text{ tC/hectare}}$$

A quantidade de emissão no processo operacional de exploração e transporte de madeira para a unidade de carvoejamento totalizará em:

QC emitido = Emissão na queima de combustível pelo uso das motosserras + pelo uso de caminhões + veículos utilizados

$$QC \text{ emitido} = 0,12799385 + 0,003677725 + 0,042335 \text{ tC/ha}$$

$$QC \text{ emitido} = \mathbf{0,174007 \text{ tC/hectare}}$$

As quantidades de carbono emitido durante os processos de exploração do plantio e transporte das madeiras para a unidade de carvoejamento totalizam em 0,174007 toneladas por hectare.

4.2.4 Carbono emitido na carbonização da madeira

De acordo com COUTO *et al.* (2004), uma tonelada métrica de matéria seca com 12-15 % de umidade, carbonizada produz os seguintes produtos e gases, como mostra a figura a seguir:

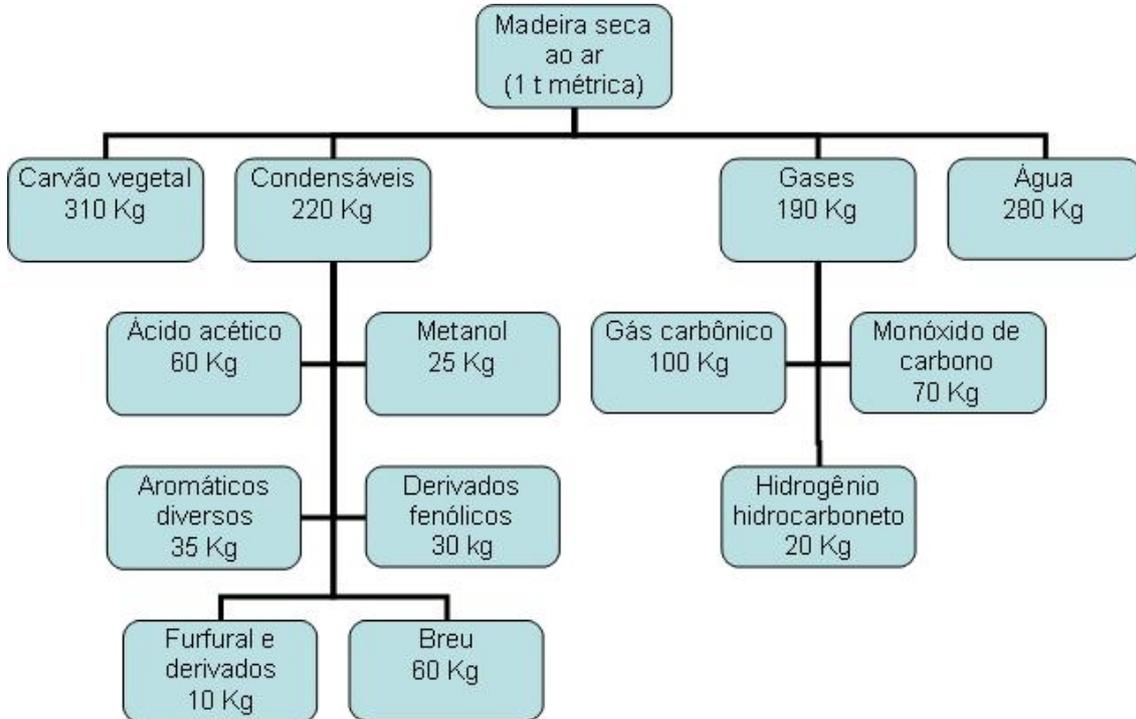


Figura 4: Rendimento da carbonização (Fonte: Benabdallha, 1996 *apud* COUTO *et al.*, 2004)

No processo de carbonização como pode se observar são produzidos 310 kg de carvão vegetal, que corresponde a 310 kg de carbono, onde este ficará estocado até ser levado para a queima total na Empresa produtora de aço. Mas, no presente estudo, não quantificará esta queima, onde seria perdida no total, a emissão seria de 310 kg de carbono.

A partir de cálculos estequiométricos, tem-se que 100 kg CO₂, emite 27,27 kg C e 70kg de CO, emite 30 kg C.

Sabendo-se que o plantio possui um volume de 236,72m³/ha, tem 50.303 kg que corresponde a 50,303 toneladas de madeira por hectare e que 1 tonelada métrica emite 57,27 kg de carbono. Então, 50,303 toneladas de madeira irá emitir 2,88099 toneladas de carbono. A tabela 6 quantifica e sumariza a situação do carbono no processo de carbonização. Verifica-se que, ao final, tem-se 15,59393 toneladas de carbono por hectare efetivamente capturado, 2,88099 toneladas por hectare emitidos e uma quantidade indefinida de carbono emitido pela liberação dos gases condensáveis.

Tabela 5: Produtos da carbonização e suas respectivas quantidades e situação

Quantidade de Matéria-prima	Produto da Carbonização			Carbono no processo	
	Discriminação	%	Peso (t)	Quantidade (t)	Situação
Volume = 236,72m ³ /hectare Massa seca = 100,606 t/hectare Carbono no tranco = 50,303	Carvão vegetal	31	15,59393	15,59393	capturado
	Condensáveis	22	11,06666	indefinido	emitido
	Gases	19	9,55757	2,88099 (*)	emitido
	Água	28	14,08484	0	neutro
Total			50,303		

(*) Obtido através de cálculos estequiométricos

4.2.5 Carbono emitido pela degradação de raízes, galhos e folhas

O carbono emitido pela degradação das raízes, galhos e folhas é considerado zero, pois a quantidade emitida é igual à quantidade capturada no processo de formação desses componentes da vegetação.

4.3 Balanço entre o Carbono Capturado e o Emitido

O balanço final do processo é obtido pela soma dos valores de captura e subtração dos valores de emissão de carbono, como mostrado a seguir pela Tabela 7:

Tabela 6: Balanço entre as emissões e a captura de carbono

Emissão do carbono	QUANTIDADE Toneladas/hectare
1. Preparo do solo	0,277347
2. Implantação e manutenção do povoamento	0,170168
3. Exploração e transporte da madeira	0,174007
4. Carbonização da madeira	2,88099
Total de emissão	3,502512
Captura do carbono	
1. Carbono efetivamente capturado, proveniente da carbonização da massa lenhosa capturado no processo de crescimento das árvores.	15,59393
Balanço do processo: (Captura – emissão do carbono)	
(15,59393 – 3,502512) = 12,09142 tC/hectare	
POSITIVO	

5 CONCLUSÃO

A produção de carvão, através da carbonização da madeira, para fins de balanço das emissões de carbono do processo, mostrou ser uma atividade que apresenta balanço positivo gerando um excedente de carbono, de 12,09142 tC/hectare.

Uma parte do processo, ligada à implantação e exploração dos povoamentos que geram a matéria prima para carbonização, emite uma quantidade equivalente a 0,344175 toneladas por hectare, que representam 9,8 % do total das emissões.

As maiores quantidades de carbono emitido provem do processo de carbonização, onde, considerados apenas a emissão de CO e CO₂, obtém-se um quantitativo de 2,88099 toneladas por hectare.

No decorrer do transcurso do presente trabalho, pode-se constatar as dificuldades de obtenção de índices de conversão que expressem adequadamente a emissão de carbono oriunda da queima dos combustíveis por parte de veículos, máquinas e equipamentos.

Mesmo no processo de carbonização, os valores disponíveis são genéricos e servem apenas para fornecer uma ordem de grandeza dos quantitativos de carbono emitidos e fixados pelo processo.

Com o crescimento da percepção da responsabilidade ambiental das empresas quanto a seus processos produtivos, a melhoria da qualidade desses índices é uma das principais sugestões que podem ser formulada.

Cumpra também ressaltar que o processo de carbonização evolui muito lentamente em termos tecnológicos.

Como sugestão dever-se-ia ampliar os estudos para o aproveitamento dos resíduos, como a quantificação dos gases não condensáveis emitidos para a atmosfera, pois com certeza eles contribuem direta ou indiretamente para um aumento da concentração dos gases do efeito estufa, já que não recebem nenhum tipo de tratamento e/ou são reaproveitados.

Sugere-se a ampliação do presente trabalho, englobando o destino do carvão gerado nesse processo, destinado à produção de gusa e aço, visando fechar o ciclo da produção e consumo do carvão.

Este trabalho serve como base para um futuro projeto de MDL, dependendo do resultado deste projeto, vender créditos de carbono para países industrializados que estão em déficit com captura de carbono.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMADO, T.J.C. **Matéria orgânica do solo no sistema de plantio direto: a experiência do Rio Grande do Sul.** Disponível em: <<http://www.cesnors.ufsm.br/professores/fabiane/Materia%20Organica%20do%20Solo%20no%20Sistema%20Plantio%20Direto%20%20Amado%20e%20Spagnollo,%202001.pdf>> Acesso em: 03 Dez. 2007.
2. BNDES & MCT - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social e Área de Planejamento & Ministério da Ciência e Tecnologia. **Efeito estufa e a Convenção sobre a Mudança do Clima.** Set, 1999.
3. BRITO, J.O. Carvão vegetal no Brasil: Gestões econômicas e ambientais. **Revista Estudos Econômicos**, v. 4, n. 0, p.221-227, 1990a.
4. BRITO, J.O. Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira. **Documentos florestais**, v.9, p.1-21, 1990b.
5. CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração florestal: Perguntas e respostas.** 2 ed. Ver.e ampl. – Viçosa : Ed. UFV, 2006. 270p.
6. COUTO, L.C.; COUTO L.; WATZLAWICK, L.F.; CÂMARA, D. Vias de Valorização Energética da Biomassa. **Biomassa & Energia**, n.1, v. 1, p. 71-92, 2004.
7. Fundação Brasileira para o desenvolvimento sustentável – FBDS. Emissões e remoções de carbono por mudanças nos estoques de florestas plantadas. **Relatórios de referência**, MCT, 2002.
8. GEROMINI, M.P. **Análise quali quantitativa do balanço de carbono em empresa do setor florestal destinada à produção de moldura.** 2004.117 f.Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.
9. IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANNEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** v.4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006.
10. JÚNIOR, N. S.; LOPES, A.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. **A emissão de CO₂ no solo em função dos sistemas de preparo.** Disponível em: <http://www.sbea.org.br/rea/v21_n3/artigo_09.pdf> Acesso em: 03 Dez.2007.
11. LOPES, A.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.da. **Desenvolvimento de um protótipo para medição do consumo de combustível em tratores.** Disponível em: <<http://www.sbiagro.org.br/revista/edicoes/v5n1/downloads/rbiagro-artigo3-v5n1.pdf>> Acesso em: 15 jan. 2008.

12. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Protocolo de Quioto à Convenção sobre Mudanças Climáticas**. Versão original do publicado pelo secretariado da Convenção sobre Mudança do Clima. Brasília: Editado e traduzido pelo ministério da Ciência e tecnologia. 34p.2001.
13. MIRANDA, A. **Aspectos ambientais da carbonização**. Viçosa: UFV, MG. Julho de 1999.38p. (Material da disciplina: Energia da Madeira)
14. MONTEIRO, A. G. **Estratégia de redução de emissão de poluentes no setor de transportes por meio de substituição modal na Região Metropolitana de São Paulo**. 1998. 114 f. Dissertação de Mestrado (Especialização em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
15. NETO, C.C. **Modelo de Compensação para de CO₂ para Empresas Poluidoras do Ar: Um Estudo de Caso na Vale do Itapocu, Região Norte de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado (especialização em engenharia de produção). Universidade de Santa Catarina, 2002a..
16. NISHI, M.H. **O MDL e o atendimento aos critérios de elegibilidade e indicadores de sustentabilidade por diferentes atividades florestais**. 2003.80f. Dissertação (Pós-graduação em Ciência florestal).
17. RAVEN, P.H.; EVERT, R.F.; EICHHORN, S.E. **Biologia Vegetal**. 6ª edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 1999. 906 p.
18. RICKLEFS, R.E.A. **Economia da Natureza**. University of Missouri-St. Louis. 5ª edição. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2001. 503 p.
19. SCARPINELLA, G.A. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto**. 2002.182 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Instituto Eletrotécnica e Energia-IEE, Universidade de São Paulo, São Paulo.
20. SOARES, T. de J. & HIGUCHI, N. A convenção do clima e a legislação pertinente com ênfase para a legislação ambiental no Amazonas. **Revista Acta Amazônica**. v.36 (4).p. 573-580.2006.
21. TSUKAMOTO FILHO, A. de A. **Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado em Minas Gerais**. 2003.111f. Dissertação (Doctor Scientiae em ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.