

Balanco de Carbono do processo de produção de madeira de reflorestamento no Norte de Minas Gerais

Ciro Lacerda Souza¹, Stanley Schettino^{2*}, Deicy Danielle Silva³, Nathália Vasconcelos Guimarães⁴

Resumo

Este estudo objetivou avaliar o balanço das emissões e imobilizações de carbono do processo produtivo das florestas plantadas norte do Estado de Minas Gerais, tendo sido os dados coletados em áreas de plantio de *Eucalyptus*. Foram avaliadas todas as atividades do ciclo produtivo: silvicultura, colheita, gestão e transporte. A partir da produtividade média de cada atividade (horas-máquina por hectare) e o volume de combustível consumido por unidade de potência por hora de trabalho (litros por hora), foi calculado o consumo de combustível por atividade (litros por hectare) durante o ciclo produtivo. Para determinar a quantidade de CO₂ resultante da queima do combustível adotou-se uma média de 3,2 kg de CO₂ emitidos na atmosfera por cada litro de óleo diesel consumido e que, em termos médios, o teor de carbono presente na biomassa total seca da árvore foi de 46,3% e que uma tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO₂. Para estimar o balanço de carbono foi calculada a diferença entre o carbono imobilizado por um hectare de floresta plantada e a somatória de toda a emissão de carbono necessário para sua produção. Os resultados apontaram que foram emitidas 15,40 t/CO₂ para produzir cada hectare de floresta e que, durante este mesmo ciclo, a floresta imobilizou 187,35 t/CO₂, representando um balanço positivo de 171,95 t/CO₂ por hectare. Assim, os reflorestamentos no norte de Minas Gerais se apresentam como alternativa para o sequestro de carbono atmosférico, contribuindo para atenuar os efeitos das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Florestas plantadas. Sequestro de carbono. Emissões atmosféricas. Mudanças climáticas.

Carbon Balance of the reforestation wood production process in Minas Gerais Northern

Abstract

This study aimed to evaluate the carbon emissions and immobilization balance of the productive process of planted forests in the north of Minas Gerais State, Brazil, having been the data collected in *Eucalyptus* planting areas. All activities of the production cycle were evaluated: forestry, harvesting, management and transportation. From the average productivity of each activity (machine hours per hectare) and the volume of fuel consumed per power unit per working hour (liters per hour), the fuel consumption per activity (liters per hectare) was calculated during the productive cycle. To determine the amount of CO₂ resulting from fuel combustion, an average of 3.2 kg of CO₂ emitted into the atmosphere per liter of diesel fuel consumed was adopted and that, on average, the carbon content present in the total dry biomass of the 46.3% and one ton of carbon equals 3.67 tons of CO₂. To estimate the carbon balance, the difference between the immobilized carbon per one hectare of planted forest and the sum of all carbon emissions required for its production was calculated. The results indicated that 15.40 t/CO₂ were emitted to produce each hectare of forest and that during this same cycle the forest immobilized 187.35 t/CO₂, representing a positive balance of 171.95 t/CO₂ per hectare. Thus, reforestation in the Minas Gerais northern is an alternative for atmospheric carbon sequestration, contributing to mitigate the effects of climate changes.

Keywords: Planted forests. Carbon sequestration. Atmospheric emissions. Climate changes

¹Universidade Federal de Minas Gerais. Campus Montes Claros. Montes Claros, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0003-0222-7762>

²Universidade Federal de Minas Gerais. Campus Montes Claros. Montes Claros, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-8085-1910>

³Universidade Federal de Minas Gerais. Campus Montes Claros. Montes Claros, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-8686-7999>

⁴Universidade Federal de Minas Gerais. Campus Montes Claros. Montes Claros, MG. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-5725-2987>

*Autor para correspondência: schettino@ufmg.br

Introdução

A vegetação, seja ela nativa ou plantada, desempenha uma função fundamental na regulação da concentração atmosférica de gás carbônico, tudo isso em função dos processos fotossintéticos, respiração, decomposição e no consumo/produção de quantidade relevantes de CO₂, que é o gás mais importante relacionado com o efeito estufa e, desta forma, com o aquecimento global. Os vegetais, utilizando-se de sua capacidade fotossintética, fixam o CO₂ atmosférico, biossintetizando-o na forma de carboidratos, e por fim é depositado na parede celular, processo conhecido como “sequestro” de carbono (Carmo, 2016).

Em se tratando de florestas plantadas, o setor florestal Brasileiro conta com cerca de 8 milhões de hectares de reflorestamento, responsáveis por 91% da madeira para fins industriais e representando 6,2% do PIB Brasileiro (Ibá, 2017). Neste contexto, o cerrado tem se mostrado de grande importância no abastecimento da demanda de madeira para os mais diversos fins, a nível regional e nacional. De acordo com Lima (1997), uma das funções dos reflorestamentos em áreas de cerrado é diminuir a pressão e a necessidade de espécies nativas, preservando assim, as espécies nativas desse bioma, as quais, muitas vezes, se encontram em risco de extinção.

Entretanto, embora as atividades florestais venham apresentando importante evolução em termos técnicos, econômicos e operacionais, verifica-se que o aspecto ambiental merece maior atenção, visto que são marcantes as atividades potencialmente poluidoras por conta do porte das máquinas, caminhões, veículos de apoio, entre outros, que compõem as mais diversas atividades do ciclo de produção florestal. Os gases emitidos pelo tubo de escapamento das máquinas e veículos são constituídos pelos produtos gerados durante reação de combustão incompleta que ocorre no motor, basicamente por monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos (HC), que são considerados gases poluentes (Carmo, 2016).

Por outro lado, as florestas plantadas podem representar grande potencial para imobilização do carbono atmosférico. Os reflorestamentos participam do ciclo de carbono por meio da troca de CO₂ com o ambiente através de processos de fotossíntese, respiração, decomposição e emissões associadas a distúrbios como fogo e à exploração florestal (Sedjo; Marland, 2003; Nascimento et al., 2011b). Sob essa ótica, é cada vez maior o interesse pela fixação de carbono em florestas plantadas, principalmente de eucalipto, devido as suas elevadas taxas de crescimento e consequente capacidade de remover dióxido de carbono da atmosfera. Tais florestas plantadas, geralmente com fins econômicos e comerciais, são orientadas por critérios técnicos, conforme um plano de manejo, definindo-se sua época de colheita. Durante sua existência, estas florestas realizam a atividade de captura e fixação de carbono na madeira e nos demais componentes (Baesso et al., 2010).

Desta forma, este estudo visou quantificar a imobilização e emissão de carbono no processo produtivo florestal para realização do balanço deste processo, em florestas plantadas no norte de Minas Gerais.

Material e métodos

Caracterização da amostragem

Os dados foram coletados em áreas de uma empresa florestal localizada nas regiões dos vales do Jequitinhonha e do São Francisco, norte do Estado de Minas Gerais, situadas entre os meridianos de 42°48'00” a 43°43'00” de longitude a Oeste de Greenwich e os paralelos de 16°49'00” a 17°42'00” de latitude a Sul da linha do Equador. A altitude onde os povoamentos se encontram variou de 600 a 1.100 m. Todas as áreas de reflorestamento da empresa são originárias da conversão de cerrado anteriormente degradado em áreas produtivas, mediante a implantação de florestas de eucalipto.

A região do vale do Jequitinhonha abrange áreas com precipitação medial anual que vão de 750mm até 1.400mm. Segundo a classificação climática de Köppen, os tipos climáticos predominantes na região são oAw – tropical chuvoso de savana, ou seja, inverno seco e chuvas máximas no verão, e a estação chuvosa ocorre entre os meses de outubro e março (Nascimento et al., 2011a) e Cwb - temperado chuvoso e moderadamente quente, com preponderância de chuvas em verões brandamente quentes (Meira Junior et al., 2017). Já as áreas localizadas na região do vale do São Francisco, apresentam precipitação média anual variando de 760 a 1.100 mm, com tipologia climática predominante do tipo Aw (Fonseca et al., 2016).

Nas áreas de estudo, as florestas são, em sua totalidade, cultivadas com eucaliptos em povoamentos de clones híbridos (*Eucalyptus urophilla* x *E. grandis*) com volume médio de 245 m³/ha, em regime de alto fuste com rotação de 7 anos de idade, espaçamento 3 x 3 m e percentual médio de sobrevivência de 95% após o plantio, com um volume médio de 0,2322 m³/árvore e densidade básica média da madeira de 450 g/cm³ (ou 0,45 t/m³), ambos aos 7 anos de idade. A colheita, por sua vez, era realizada através do sistema de árvores inteiras (*full-tree*), sistema em que, de acordo com Malinovski et al. (2014), a árvore é derrubada e levada para a margem da estrada ou pátio intermediário, onde é processada em pequenas toras, com comprimento menor que 6 m. No caso deste estudo, a madeira era processada em toras com 3 m de comprimento.

De posse dos valores médios de Inventário Florestal, dos rendimentos médios de cada atividade e dos respectivos consumos de combustível, utilizando-se o software Excel, foram calculados todos os parâmetros necessários ao desenvolvimento deste estudo, visando

quantificar as imobilizaes e emissões de carbono, bem como o seu balanço. Como não havia nenhuma hipótese a ser testada, não foi realizada nenhuma análise estatística.

Atividades avaliadas

Foram avaliadas todas as atividades presentes no ciclo de produo de madeira de florestas plantadas no norte do Estado de Minas Gerais (Imagem 1), sendo:

- a) Silvicultura: abertura de aceiros, limpeza de área, subsolagem, plantio mecanizado, irrigação,

adubaço de cobertura, aplicao de herbicida, combate a formigas e proteço florestal;

- b) Colheita: construo de estradas, manuteno de estradas, corte, extraço, processamento, carregamento e manuteno mecânica;
- c) Gestao: Inventário florestal e gestao florestal.
- d) Transporte: Transporte pessoal e transporte de madeira.

Imagem 1 – Descrição das atividades analisadas

Atividades	Caracterizao da atividade
Abertura de aceiros	Capina de uma faixa nas margens das áreas plantadas (aproximadamente 4 metros de largura) para maior proteço contra incndios. Realizado com trator de esteiras.
Limpeza de área	Operaes que consistem na retirada da vegetao e na mobilizao do solo visando a melhoria das condies do terreno para um melhor desenvolvimento da espécie
Subsolagem	Prática que consiste em revolver o solo através do subsolador que mobiliza o solo em profundidade por hastes rompendo camadas de solo compactado.
Plantio mecanizado	Utiliza-se, normalmente, as plantadoras onde será feito de modo mecanizado o sulcamento, distribuço de adubo e o plantio é efetivado.
Irrigao	Fornecimento de água ao solo de forma artificial e controlada.
Adubaço de cobertura	Adubaço feita após o plantio das espécies visando a manuteno dos níveis de nutrientes do solo durante o desenvolvimento do vegetal.
Aplicao de herbicidas	Aplicao de substancia química visando a erradicao de plantas e ervas daninhas.
Combate a formigas	Conjuntos de técnicas de combate visando diminuir a populao de formigas a um nível aceitável ou a um nível em que não haja dano econômico.
Construo de estradas	Abertura do leito da estrada com trator de esteiras, regularizao do leito da estrada com moto niveladora, aplicao de cascalho e compactao com rolo compressor, escavaes para escoamento da água pluvial com retroescavadeira
Manuteno de estradas	Regularizao do leito da estrada com moto niveladora, aplicao de cascalho e compactao com rolo compressor, escavaes para escoamento da água pluvial com retroescavadeira.
Corte	Operao que consiste na derrubada de árvores.
Extraço	Consiste na transferncia de material lenhoso do local de abate até o local de carregamento. Operao muito diversificada tanto nos meios como nas técnicas utilizadas.
Processamento	Operao florestal que visa concretizar o processo de abate, corte de ramos, traçamento, descascamento (quando for o caso) e empilhamento.
Carregamento	Visa movimentar a madeira desde as pilhas de estocagem até os caminhões que executarão o transporte da mesma. É executada por carregadores florestais de esteiras.
Manuteno mecânica	São operaes de manuteno em máquinas e implementos da silvicultura e colheita florestal visando falhas mecânicas juntamente com o abastecimento de todo o maquinário.
Inventário florestal	Procedimento que visa obter informaes sobre as características qualitativas e quantitativas da floresta.
Proteço florestal	Prática onde é realizado um plano para a proteço florestal e é feito um calendário com as visitas periódicas e medidas a serem tomadas quanto a ocorrência de agentes danosos. Também, medidas de segurana e de combate para lidar com os incndios florestais e com sua precauo.

Gestão florestal	É um plano visando a programação espacial e temporal de uma série de ações visando desenvolver, sobre vários aspectos da floresta, a sua sustentabilidade econômica, ambiental e social de forma conjunta.
Transporte de madeira	Operação que consiste no deslocamento da madeira desde a floresta até as unidades consumidoras de madeira

Determinação do consumo de combustível por atividade

A determinação do consumo de combustível por atividade foi a partir da produtividade média de cada atividade (horas de máquina por hectare) e o volume de combustível consumido por unidade de potência por hora de trabalho (litros por hora) o que, por relação direta, permitiu a obtenção do consumo de combustível por atividade (litros por hectare) durante o ciclo de produção da madeira.

Para cada atividade avaliada, foram tomados como base os rendimentos operacionais padrões de uma empresa florestal, por meio de estudos de tempos e movimentos com o uso do método de tempos contínuos (Barnes, 1977), de forma a determinar as horas de máquina necessárias para sua realização, ou seja, a produtividade média de cada atividade.

O consumo de combustível por máquina foi calculado com base na metodologia proposta pela ASAE - American Society of Agricultural Engineers (Asae, 1989; ASae, 1996). Para veículos de transporte (caminhões, ônibus e utilitários) foram utilizados dados de controles de abastecimentos, disponibilizados pela empresa.

De acordo com as práticas usuais de manejo florestal na região do estudo, a atividade de abertura de aceiros é realizada anualmente, ou seja, em seis momentos até o corte da madeira. Por sua vez, as atividades de aplicação de herbicidas (capina química), adubação, irrigação e controle de formigas são realizadas 3 vezes cada durante o período de 7 anos. Para o transporte de madeira foi considerada uma distância média de 50 km, desde as florestas até as unidades consumidoras da madeira.

Determinação do balanço de carbono

De forma a determinar o estoque de carbono imobilizado pelas florestas, assumiu-se que, em termos médios, o teor de carbono presente na biomassa total seca da árvore foi de 46,3% (SILVA *et al.*, 2015). Para a realização das análises foi feita a conversão das estimativas de carbono para CO₂ equivalente. Para tanto, de acordo com Face (1994), foi assumido que uma tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO₂, ou que uma tonelada de CO₂ equivaleria a 0,27 tonelada de carbono.

A etapa seguinte foi determinar a quantidade de CO₂ resultante da queima do combustível necessário ao processo de produção florestal. Durante o processo

de combustão, para cada litro de óleo diesel queimado, incluindo as fases de produção e distribuição desse combustível, adotou-se que são emitidos uma média de 3,2 kg de CO₂ (0,0032 t de CO₂) na atmosfera, conforme os estudos apresentados por Carvalho (2011).

Para a estimativa do balanço de carbono foi calculada a diferença entre o carbono imobilizado por um hectare de floresta plantada, durante o ciclo de produção de 7 (sete) anos e considerando o volume de madeira médio por hectare, e a somatória de toda a emissão de carbono necessário para sua produção durante o mesmo ciclo.

Resultados e discussão

Os resultados da determinação do consumo de combustível por atividade, necessário para a produção de 1 hectare de floresta de eucalipto, nas condições avaliadas e considerando um ciclo de 7 anos, encontram-se na Tabela 1. Dessa forma, para a produção de 1 hectare de floresta de eucalipto na região norte do Estado de Minas Gerais, são necessários 4.813,65 litros de óleo diesel, equivalentes a 15,40 t de CO₂ emitidos na atmosfera por hectare produzido (15,40 t CO₂/ha). É importante ressaltar que, considerando a atividade de colheita de madeira, não existe diferença significativa de consumo de combustível (litros por hectare) com a variação da produtividade das florestas, conforme apresentado por Simões *et al.* (2014), mesmo comportamento verificado para as demais atividades necessárias a produção florestal.

Embora tenha sido observada uma grande evolução nos processos florestais nos últimos tempos, as operações mecanizadas ainda necessitam de alguns avanços tendo em vista o custo operacional elevado das máquinas e os impactos ambientais que podem ser causados. De acordo com Laschi *et al.* (2016) é necessário identificar e quantificar os danos ambientais que são causados pela atividade florestal e desta forma, será possível tomar medidas para a sustentabilidade ambiental. Destaca-se nesse contexto, as emissões dos gases da combustão dos combustíveis fósseis.

Ao avaliar o funcionamento das máquinas florestais, tem-se que a combustão nos motores vai gerar potência e gases nocivos (Teixeira *et al.*, 2008). Os principais compostos nocivos são o gás carbônico (CO₂), o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio (NO_x), os óxidos de enxofre (SO_x), além de material particulado (MP), dentre outros (Braun *et al.*, 2004).

Para IPCC (2018), a concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO₂) vem aumentando drasticamente desde o século XVIII e aproximadamente 75% das emissões antropogênicas de CO₂ para atmosfera durante os últimos anos do século XX foram devido à queima de combustíveis fósseis, derivados do petróleo. Os outros 25% foram devido a alterações no uso da terra, especialmente relacionadas ao desmatamento.

Se por um lado as emissões atmosféricas de gases do efeito estufa possuem efeito negativo, quando as florestas são conservadas, preservadas, recuperadas ou plantadas, ocorre um processo inverso, devido ao surgimento de um sumidouro de carbono, uma vez que as florestas removem parte do CO₂ da atmosfera por meio do processo de fotossíntese, promovendo o chamado sequestro de carbono (JACOVINE *et al.*, 2008).

Tabela 1 – Produtividade média (PM, em horas máquina por hectare), consumo (CC, em litros por hora máquina) e gasto de combustível (GC, em litros por hectare) das atividades avaliadas para a produção de 1,0 hectare de floresta de eucalipto

Atividades	Tipo de Máquina (ou Veículo)	PM (hm/ha)	CC (l/hm)	GC (l/ha)		
				Unit.	Repetições ^{1/}	Total
Abertura de aceiros	Trator de esteiras D6	1,65	22,00	36,30	6	217,80
Limpeza de área	Trator pneus 140 CV	1,10	25,00	27,50	1	27,50
Subsolagem	Trator pneus 180 CV	1,35	32,30	43,60	1	43,60
Plantio mecanizado	Trator pneus 140 CV	2,00	25,00	50,00	1	50,00
Irrigação	Trator pneus 110 CV	0,95	19,80	18,80	3	56,40
Adubação de cobertura	Trator pneus 110 CV	3,00	19,80	59,40	3	178,20
Aplicação de herbicidas	Trator pneus 110 CV	1,70	19,80	33,65	3	100,95
Combate a formigas	Trator pneus 110 CV	0,75	19,80	14,85	3	44,55
Construção de estradas	Trator de esteiras D6	3,00	22,00	66,00	1	66,00
	Motoniveladora	2,55	17,00	43,35	1	43,35
	Rolo compressor	1,90	7,00	13,30	1	13,30
	Retroescavadeira	1,50	12,00	18,00	1	18,00
Manutenção de estradas	Motoniveladora	3,60	17,00	61,20	1	61,20
	Rolo compressor	2,00	7,00	14,00	1	14,00
	Retroescavadeira	1,50	12,00	18,00	1	18,00
	Caminhão 6 x 4	5,00	15,00	75,00	1	75,00
Corte	Feller buncher de esteiras	2,45	30,00	73,50	1	73,50
Extração	Skidder 6 x 6 de pneus	4,90	22,00	107,80	1	107,80
Processamento	Garra traçadora de esteiras	4,10	25,00	102,50	1	102,50
Carregamento de madeira	Grua de esteiras	4,90	20,00	98,00	1	98,00
Manutenção mecânica	Caminhão comboio	9,50	24,00	228,00	1	228,00
	Caminhão oficina	12,75	20,00	255,00	1	255,00
	Utilitário 4 x 4	6,50	15,00	97,50	1	97,50
Inventário florestal	Utilitário 4 x 4	6,50	15,00	97,50	5	487,50
Proteção florestal	Utilitário 4 x 4	5,00	15,00	75,00	7	525,00
Gestão florestal	Utilitário 4 x 4	5,00	15,00	75,00	7	525,00
Transporte de pessoal	Ônibus	8,35	13,50	112,70	6	676,20
Transporte de madeira	Caminhão bitrem	21,78	28,00	609,80	1	609,80
Total						4.813,65

1/Referente à quantidade de vezes que a atividade é realizada durante o ciclo de 7 anos.

Especificamente, os plantios de eucalipto, por terem um alto incremento de carbono, quando comparado a outras espécies, têm um importante papel na retirada de CO₂ da atmosfera e sua fixação na superfície terrestre. Dessa forma, considerando os plantios de eucaliptos na região norte de Minas Gerais, com espaçamento de 3 x

3 metros no plantio, 95% de sobrevivência aos 7 anos de idade, resultando em aproximadamente 1.055 árvores por hectare e um volume médio de 245 m³, a estimativa da quantidade total de CO₂ imobilizado encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Estoque de CO₂ (toneladas por hectare) imobilizado na biomassa aérea dos plantios de eucalipto na região norte do Estado de Minas Gerais, aos sete anos de idade

Espécie	Volume total (m ³ /ha)	Densidade básica (t/m ³)	Volume de matéria seca (t/ha)	% de C na biomassa seca	Estoque de C (t/ha)	t CO ₂ /t C	Estoque CO ₂ (t/ha)
Eucalipto	245,00	0,450	110,25	46,30	51,05	3,67	187,35

Desta forma, pela diferença entre o estoque de CO₂ retirado da atmosfera (187,35 t) e a quantidade emitida para a produção (15,40 t), estima-se que cada hectare plantado com eucalipto na região norte do Estado de Minas Gerais seja capaz de imobilizar 171,95 toneladas de CO₂, contribuindo, sobremaneira, para atenuar os efeitos do aquecimento global.

A quantidade de estoque de dióxido de carbono feita pelas florestas é 12 vezes maior em comparação com as emissões feitas para a produção do ciclo florestal, isso presume um elevado potencial na regulação da concentração atmosférica de gás carbônico e assim, a redução dos gases de efeito estufa.

Paixão *et al.* (2006) relataram um estoque de 47,7 toneladas da parte aérea de carbono por hectare em plantios de reflorestamento, se mostrando bem próximo do presente estudo onde foi estocado 51,05 toneladas de carbono, tal diferença é justificada pelo tempo da cultura que foi respectivamente 6 e 7 anos de idade. O mesmo autor ainda relata a soma de 23,43 toneladas de carbono referente ao estoque nas raízes (14,71 t) e na manta orgânica (8,72 t), o que mostra o potencial de estoque de carbono quando se adiciona os estoques de raízes e material presentes na serapilheira. Tais valores demonstram a importância dos reflorestamentos neste contexto quando comparado ao cerrado *strictu sensu*, cujos valores de CO₂ imobilizado variaram de 10 até aproximadamente 37 toneladas por hectare (Aduan *et al.*, 2003; Fernandes *et al.*, 2008; Lopes; Miola, 2010), lembrando que no cerrado é necessário que haja a queima prévia da vegetação (liberação de CO₂) para que haja a posterior regeneração e, novamente, sua imobilização.

Sang *et al.* (2013), comparando plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus urophylla*, florestas secundárias e pastagens em gradientes de solo e clima, concluíram que o reflorestamento adequado melhora a fertilidade do solo e promove o sequestro de carbono em terras tropicais degradadas. Desse modo, é evidente o potencial das florestas plantadas para a imobilização do carbono em áreas do norte do Estado de Minas Gerais, principalmente por conta de suas elevadas taxas de crescimentos iniciais junto com sua eficácia em remover

o dióxido de carbono de atmosfera, na qual se destaca o eucalipto.

Muito embora os resultados positivos do sequestro de Carbono pelas florestas sejam notadamente importantes, Chang (2011) afirma que as formas de sequestrar carbono florestal podem ser simplificarmente classificadas em três tipos, quais sejam: a preservação do estoque de carbono nas florestas já existentes através de ação protetora; o aumento do estoque de carbono florestal por meio de uma ação combinada de práticas de manejo florestal sustentável, regeneração florestal e reflorestamento em áreas degradadas, ou introdução de atividades agroflorestais em áreas de agricultura; e a substituição de combustíveis fósseis por produtos de biomassa vegetal sustentáveis.

Mesmo assim, o manejo adequado do solo e da vegetação deve ter como premissa básica a utilização de métodos com o mínimo revolvimento do solo, assim como os sistemas de rotação e sucessão de culturas que incluam plantas com alta produção de resíduos vegetais e, ainda, plantas capazes de acumular nutrientes no solo, lembrando que, ainda, devem ser preservadas as vegetações nativas remanescentes, bem como realizar plantios de reflorestamento em larga escala, pois nesses ambientes estão as maiores quantidades de carbono sequestradas no sistema solo-planta (Nunes Carvalho *et al.*, 2010).

Em uma abordagem de curto e médio prazos, Baesso *et al.* (2010) concluem, a partir de simulações, que em uma projeção de 2011 até 2040 o eucalipto tende a fixar mais carbono num futuro próximo, isso por conta de um maior índice de produção de matéria seca, elevando o potencial de imobilização de dióxido de carbono por parte do eucalipto e também torna viável, ainda mais, projetos de reflorestamentos ligados à venda de créditos de carbono tornando, desta forma, o empreendimento economicamente atraente.

Ainda, de acordo com Oliveira; Oliveira (2017), vale ressaltar que o potencial de solos florestais de estocar carbono depende, principalmente, do uso apropriado da terra, de técnicas adequadas de fertilizações, práticas conservacionistas e a conversão de áreas degradadas,

as quais, isolada ou conjuntamente, podem ser grandes aliados no combate à mudança do clima. Em plantios de reflorestamento na região norte de Minas Gerais, tais práticas vêm sendo amplamente utilizadas, contribuindo grandemente para o desenvolvimento socioambiental da região.

Conclusão

Nas condições em que este estudo foi realizado, é possível concluir que:

- Para a produção de florestas plantadas na região norte do Estado de Minas Gerais, considerando um ciclo de 7 anos e todas as atividades desde o

plantio até o transporte da madeira, são emitidas 15,40 t/CO₂ por hectare.

- Cada hectare de floresta plantada, durante este mesmo ciclo, imobiliza 187,35 t/CO₂.
- Esses valores de emissão e imobilização representam um balanço positivo de 171,95 t/CO₂ por hectare.
- Os reflorestamentos do norte de Minas Gerais se apresentam como alternativa para o sequestro de carbono da atmosfera, contribuindo para atenuar os efeitos indesejáveis das emissões de CO₂.

Referências

- Aduan, R. E.; Vilela, M. D. F.; Klink, C. A. 2003. Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: o caso do cerrado brasileiro. Embrapa Cerrados, Brasília, DF, Brasil (Documentos INFOTECA-E). Disponível em: <https://bit.ly/2koUwmJ>.
- American Society of Agricultural Engineers - ASAE. 1989. Agricultural tractor test code. In: ASAE standards 1989: standards engineering practices data (ASAE S-209.5). St. Joseph, MO, USA.
- American Society of Agricultural Engineers - ASAE. 1996. Agricultural machinery management data. In: ASAE standards 1996: standards engineering practices data (ASAE D-497.2). St. Joseph, MO, USA.
- Baesso, R. C. E.; Reis, M. G.; Ribeiro, A.; Silva, M. P. 2010. Balanço de Carbono em Floresta de Eucalipto. Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, PA, Brasil, 16. Disponível em: http://www.sbmet.org.br/cbmet2010/artigos/393_92666.pdf.
- Barnes, R.M. 1977. Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho. Edgard Blücher, São Paulo.
- Braun, S.; Appel, L. G.; Schmal, M. 2004. A poluição gerada por máquinas de combustão interna movidas à diesel - a questão dos particulados. Estratégias atuais para a redução e controle das emissões e tendências futuras. Química Nova, 27, 472-482. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n3/20176.pdf>.
- Carmo, F. C. A. 2016. Balanço da emissão de gases carbônicos nas operações florestais e sequestro de carbono em florestas plantadas no Espírito Santo. Jerônimo Monteiro: Universidade Federal do Espírito Santo, 68p. Tese Doutorado. Disponível em: <http://repositorio.ufes.br/handle/10/7702>.
- Carvalho, C.H.R. 2011. Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), São Paulo. Disponível em: <https://bit.ly/2krxnzX>.
- Chang, M. 2011. Sequestro de carbono florestal: oportunidades e riscos para o Brasil. Revista Paranaense de Desenvolvimento, 102, 85-101. Disponível em: <https://bit.ly/2k0nh9a>.
- Fernandes, A.; Salis, S. M.; Fernandes, F.; Crispim, S. 2008. Estoques de carbono do estrato arbóreo de Cerrados no pantanal da Nhecolândia. Embrapa Pantanal, Corumbá, MS, Brasil (Documentos INFOTECA-E). Disponível em: <https://bit.ly/2ls3zn3>.
- Fonseca, S. F.; Souza, M. J. H.; Silva, A. C. 2016. Análise da precipitação pluviométrica do município de Pirapora-MG (1961 e 2013). Revista Ra'e Ga, 38, 35-49. Disponível em: <https://bit.ly/328HZV3>.
- Forest Absorbing Carbon Dioxide Emission Foundation - FACE. 1994. Annual Report 1993. FACE, Arnheim, Netherlands.
- Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ. 2017. Anuário IBÁ 2017: ano base 2016. Pöyry Consultoria em Gestão e Negócios Ltda, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <https://bit.ly/2zJ3QXn>.
- Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. 2018. A report of working Group I of the intergovernmental panel on climate change. IPCC, Genebra, Suíça. Disponível em: <https://bit.ly/2lu81lm>.
- Jacovine, L. A. G.; Soares, C. P. B.; Ribeiro, S. C.; Silva, R. F.; Paixão, F. A. 2008. Sequestro de carbono em povoamentos florestais de eucalipto e a geração de créditos de carbono. Informe Agropecuário, 29, 90-104. Disponível em: <https://bit.ly/2krZj6L>.
- Laschi, A.; Marchi, E.; García, S. G. 2016. Forest operations in coppice: Environmental assessment of two different logging methods. Science of the Total Environment, 562, 493-503. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.041>.
- Lima, D.G. 1997. Importância das florestas plantadas como forma de reduzir a pressão sobre as florestas nativas ainda existentes. Revista Bahia Agrícola, 1, 45-48. Disponível em: <https://bit.ly/2lv9Oqc>.
- Lopes, R. B.; Miola, D. T. B. 2010. Sequestro de carbono em diferentes fitofisionomias do cerrado. Revista Digital FAPAM, 2, 127-143. Disponível em: <https://bit.ly/2ltlcD9>.
- Malinovski, J. R.; Camargo, C. M. S.; Malinovski, R. A. 2014. Sistemas. p. 178-205. In: Machado, C.C. (Ed.). Colheita Florestal. Editora UFV, Viçosa, MG, Brasil.
- Meira Junior, M. S. D.; Pereira, I. M.; Machado, E. L. M.; Mota, S. D. L.; Ribeiro, P. S. S. D. P.; Otoni, T. J. O. 2017. Impacto do fogo em campo sujo no Parque Estadual do Biribiri, Minas Gerais, Brasil. Floresta e Ambiente, 24, e00110814. Disponível em: <https://bit.ly/2jUKauw>.
- Nascimento, A. C.; Leite, A. M. P.; Soares, T. S.; Freitas, L. D. 2011a. Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com *feller buncher*. Cerne, 17, 9-15. Disponível em: <https://bit.ly/2lBLumr>.

- Nascimento, J. J. V. R.; Paula, R. R.; Da Silva, G. F.; Pereira, R. G.; Neto, F. B. 2011b. Balanço de carbono, aquecimento global e recuperação áreas degradadas. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 6, 14-29. Disponível em: <https://bit.ly/2jWhAJd>.
- Nunes Carvalho, J. L.; Avanzi, J. C.; Naves Silva, M. L.; Mello, C. R. D.; Pellegrino Cerri, C. E. 2010. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 277-290. Disponível em: <https://bit.ly/2kft0U4>.
- Oliveira, Y. M. M.; Oliveira, E. B. 2017. Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental. *Embrapa Florestas*, Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <https://bit.ly/2ks3Tlt>.
- Paixão, F. A.; Soares, C. P. B.; Jacovine, L. A. G.; Silva, M. D.; Leite, H. G.; Silva, G. D. 2006. Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de diferentes alternativas de manejo em um plantio de eucalipto. *Revista Árvore*, 30, 411-420. Disponível em: <https://bit.ly/2jUMiCw>.
- Sang, P. M.; Lamb, D.; Bonner, M.; Schmidt, S. 2013. Carbon sequestration and soil fertility of tropical tree plantations and secondary forest established on degraded land. *Plant and Soil*, 362, 187-200. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1281-9>.
- Sedjo, R. A., Marland, G. 2003. Inter-trading permanent emissions credits and rented temporary carbon emissions offsets: some issues and alternatives. *Climate Policy*, 3, 435-444. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1469-3062\(03\)00051-2](https://doi.org/10.1016/S1469-3062(03)00051-2).
- Silva, C. A.; Klauber, C.; Carvalho, S. P. C.; Piccolo, M. C.; Rodriguez, L. C. E. 2015. Estoque de carbono na biomassa aérea florestal em plantações comerciais de *Eucalyptus* spp. *Scientia Forestalis*, 43, 135-146. Disponível em: <https://bit.ly/2LA58iG>.
- Simões, D.; Fenner, P. T.; Esperancini, M. S. T. 2014. Produtividade e custos do feller-buncher e processador florestal em povoamento de eucalipto de primeiro corte. *Ciência Florestal*, 24, 621-630. Disponível em: <https://bit.ly/36zgxSU>.
- Teixeira, E. C.; Feltes, S.; Santana, E. R. R. 2008. Estudo das emissões de fontes móveis na Região Metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do Sul. *Revista Química Nova*, 31, 244-248. Disponível em: <https://bit.ly/2lRp6Wl>.