

ESTIMATIVA DO BALANÇO DE CARBONO DE FLORESTAS INDUSTRIAIS NO ESTADO DO PARANÁ

Elcio Martens (Unimep) elmartens@unimep.br

Aparecido dos Reis Coutinho (Unimep) arcoutin@unimep.br

Resumo

É crescente a preocupação com o aquecimento global e suas consequências sobre a vida no planeta, que vão desde variações climáticas, a extinção de determinadas espécies e prejuízos causados na produção de alimentos, comprometendo o suprimento da demanda mundial, dentre outras. Nesse contexto, muitos estudos têm sido realizados com o intuito de encontrar soluções alternativas, envolvendo desde as mudanças em matrizes energéticas, os meios de produção, a redução das emissões de GEE, sequestro e armazenamento de carbono, etc. Algumas das alternativas consistem no plantio de florestas com a finalidade, tanto de atender à demanda mundial por madeira, quanto para substituir, onde possível, aos recursos que demandam maiores volumes de energia em sua produção ou que são mais poluentes. Desta forma este estudo tem por objetivo estimar o volume de carbono sequestrado por florestas industriais/comerciais de *Eucalyptus*, do Estado do Paraná, com ênfase no seu ciclo de vida. Os dados foram obtidos a partir do inventário de florestas plantadas no Estado do PR, realizado pelo MMA em convênio com a SEAB-PR. Assim, a partir dos dados disponibilizados, foram feitas as estimativas do balanço de carbono sequestrado e estocado por estas florestas, com base no crescimento anual das florestas.

Palavras chave: Sequestro de Carbono, GEE, Florestas, Eucalipto, Ciclo de Vida.

ESTIMATE OF THE CARBON BALANCE OF INDUSTRIAL FOREST IN THE STATE OF PARANA

Abstract

There is growing concern about global warming and its consequences on life on the planet, ranging from climatic variations, the extinction of certain species and losses caused in food production, jeopardizing the supply of world demand, among others. In this context, many studies have been carried out to find alternative solutions, ranging from changes in energy matrices, means of production, reduction of GHG emissions, sequestration and storage of carbon, etc. Some of the alternatives consist of planting forests with the purpose of meeting the world demand for wood and replacing, where possible, resources that demand higher volumes of energy in their production or which are more polluting. In this way, this study aims to estimate the volume of carbon sequestered by industrial / commercial forests of *Eucalyptus*, State of Paraná, with emphasis on its life cycle. The data were obtained from the inventory of forests planted in the State of PR, carried out by MMA in agreement with SEAB-PR. Based on the available data, estimates of the carbon balance sequestered and stored by these forests were made, based on annual forest growth.

Key-words: Carbon Sequestration, GHG, Forests, Eucalyptus, Life Cycle.

1. Introdução

O avanço das atividades humanas juntamente com o desenvolvimento de novas tecnologias, ao longo de várias décadas, fez com que o homem alterasse o seu modo de viver. Por outro lado, resultou na busca por novos produtos, no desenvolvimento de novos processos, assim

como no aumento da demanda por energia e matérias primas. Porém, o avanço ocorreu a um custo bastante alto, quando considerados os danos ambientais causados por essas transformações, com reflexos diretos no ecossistema do planeta (CAPRA, 2006).

Nos dias atuais, observa-se a crescente conscientização com os problemas resultantes da atividade humana que afetam o meio ambiente e que provocam o aquecimento global. As consequências das mudanças climáticas podem ser tanto o aumento das temperaturas, quanto a extinção de determinadas espécies ou, até mesmo, o fim de algumas atividades produtivas. Para Gomes (2014) “mesmo nos cenários mais otimistas, as mudanças climáticas podem provocar prejuízos em diversas cadeias de produção do setor agrícola, com fortes impactos negativos nas economias em desenvolvimento, que dependem em grande medida do setor primário”.

As consequências das alterações climáticas implicaram ao longo do tempo em perdas para os diversos setores produtivos, refletindo nas políticas econômicas e governamentais, por exemplo, voltadas ao desenvolvimento de programas, assim como o empenho de recursos, relacionados à mitigação dos gases de efeito estufa (GEE), a adequação dos processos produtivos, bem como os padrões de consumo, à nova realidade. Tais necessidades proporcionam também, novas alternativas e oportunidades econômicas que minimizem a vulnerabilidade climática, mudanças globais e os riscos associados (EMBRAPA FLORESTAS, 2016).

Nas últimas décadas tem sido realizadas muitas pesquisas relacionadas às mudanças climáticas, emissões de GEE e ciclo de vida de florestas. Adicionalmente, observa-se que as florestas se tornam cada vez mais, um dos elementos fundamentais para substituição das fontes energéticas de origem fóssil (CAPRA, 2006; GOMES, 2014); assim como para mitigação dos GEE, no sentido de minimizar o aquecimento global (PAIXÃO, 2004; GOMES, 2014). Outras pesquisas e esforços têm sido realizados com relação à redução da emissão de GEE, como exemplo, substituir na construção civil alguns elementos de alto consumo energético, como o ferro, o cimento, o aço (FERREIRA, 2003); investimentos no setor industrial de celulose e papel, compensados, placas de madeira, de madeiras serradas e indústria moveleira; sendo que estes últimos, do ponto de vista da armazenagem de carbono, são os mais importantes, pois tendem a retardar seu retorno à atmosfera (PONCE, 1995; CAMPOS, 2002).

Durante o crescimento das florestas, outros benefícios são proporcionados, como, o comércio de crédito de carbono e a geração de empregos no setor florestal, beneficiando a população local. Por essas razões, é importante avaliar o estoque de carbono capturado pelas florestas industriais/comerciais de modo geral.

O uso de produtos florestais, por meio de transformações industriais, apresentou aumento nas áreas ligadas a indústria do papel, a indústria moveleira, construção civil, e outras. Assim, o aumento na demanda e uso de produtos florestais contribuiu para o esgotamento das florestas naturais e, por consequência, o aumento de áreas reflorestadas em todo o mundo. Por outro lado, o mundo todo teve um crescente consumo de energia em todos os segmentos da sociedade, tanto de origem fóssil, como de fontes renováveis, que resultou no aquecimento do planeta, assim como na redução da camada de ozônio (DERECZYNSKI *et al.*, 1998).

Inicialmente, ou até a década de 1970, as questões ambientais e o aquecimento global, não faziam parte das pautas, ou não era prioridade nas discussões políticas; de modo que a partir da década de 1980 é que se passou a ter maior preocupação com os reflexos das concentrações de GEE. Fritjof Capra, em seu livro “O Ponto de Mutação” publicado em 1982,

chamou a atenção para a necessidade de substituir as fontes energéticas por fontes renováveis, por conta da dependência dos combustíveis fósseis (IPEA, 2010).

A partir de 1980, questões relativas às mudanças climáticas, ao aquecimento global e ao efeito estufa passaram a ser destaques como ameaças ambientais que colocam em risco a integridade do Planeta. Essas questões ganharam importância, culminando na criação da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas Globais (UNFCCC – *The United Nations Framework Convention Climate Change*), em 1992 (MAESTRI, 2004; GOMES, 2014).

A principal fonte dos GEE é a queima de combustíveis de origem fóssil, como petróleo, gás natural e carvão mineral. Outras atividades como: agrícolas, desmatamento, queimadas e pecuária também contribuem para o agravamento da situação; por exemplo, o uso de máquinas agrícolas emitem GEE, o desmatamento reduz o sumidouro de CO₂ e, as queimadas e a pecuária aumentam os GEE (SILVA, 2007).

A grande preocupação está em como proceder no intuito de minimizar tais consequências, se ainda for possível e, reverter esse quadro. Uma das alternativas encontradas consiste na migração para as fontes energéticas renováveis, dentre os quais se encontram as energias consideradas limpas, tais como: hidrelétrica, geotérmica, eólica, maremotriz, solar, biomassa, resíduos sólidos, e até mesmo a nuclear (CGEE, 2010).

A melhoria das condições climáticas pode ocorrer, por exemplo, por meio do plantio e replantio de florestas, para fins industriais, assim como energético. Deste modo, durante o período de crescimento das florestas industriais e energéticas ocorre o sequestro de carbono e, mesmo quando ocorre seu corte e retirada do ambiente, o balanço global de emissão de GEE ainda será positivo (DERECZYNSKI *et al.*, 1998).

Os ecossistemas florestais são excelentes retentores de carbono (C) em função de suas rápidas taxas de sucessão e por apresentar alta absorção de CO₂. A eficiência de florestas para sequestrar e armazenar carbono deve levar em conta o estágio atual de degradação da área de plantio, o manejo que está sendo adotado, o tempo de permanência da floresta até o seu corte, e a vida média dos produtos gerados com a madeira dessa floresta (SILVA, 2007).

A quantificação do volume de C nos ecossistemas vem recebendo mais atenção, no sentido de conhecer a quantidade de C fixado nos ecossistemas naturais, uma vez que as florestas contribuem para a estabilidade ambiental de diversas formas: a mitigação das temperaturas extremas, o aumento das precipitações regionais, a prevenção de erosões e a deterioração do solo; além de contribuir para o ciclo do carbono. As florestas constituem-se em sumidouros de C; ou seja, pela fotossíntese, as florestas em crescimento absorvem CO₂ da atmosfera que são armazenados em sua biomassa, na forma de um reservatório de C (SILVEIRA, 2008).

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo “estimar o volume de carbono sequestrado e armazenado pelas florestas industriais de *Eucalyptus* de ciclo curto, do Estado do Paraná, com ênfase no ciclo de vida”. Inicialmente foi feita revisão de literatura voltada às questões ambientais, com destaque para o estoque de carbono em florestas industriais, o levantamento de informações relacionadas ao crescimento das florestas plantadas, a quantificação do volume de biomassa acumulada e o volume de CO₂ capturado durante o crescimento das florestas plantadas para fins industriais no Estado do Paraná.

1.2 Gases de Efeito Estufa – GEE

As mudanças climáticas ocorridas ao longo do tempo no planeta foram e são motivadas pelo aumento das emissões de GEE, especialmente o dióxido de carbono (CO₂) que contribui para as alterações climáticas do planeta, na forma de um círculo vicioso, de modo que a cada dia

aumenta os danos ao planeta e à sustentabilidade da vida na terra (PAIXÃO, 2004). Análises realizadas nas geleiras polares e nas montanhas da Antártida e da Groelândia mostraram variações significativas da concentração do CO₂ atmosférico desde o final da última era glacial. Por exemplo, na era glacial a concentração de CO₂ era de 200ppm, porém, o aumento gradual elevou para cerca de 225ppm ao longo de oito mil anos e, para 250ppm durante os sete mil anos seguintes (PAIXÃO, 2004).

Segundo Silveira *et al.* (2008), está previsto um aumento na temperatura global de 1,5°C à 4,5°C até o ano de 2050 e, que os impactos resultantes dessas variações afetarão todos os países, não somente do ponto de vista ambiental, mas também social e econômico. Portanto, estratégias devem ser estudadas e aplicadas para reduzir a concentração de CO₂ na atmosfera, assim como reduzir as consequências de tais alterações e, dentre as principais ações deve estar a redução das emissões do CO₂ por queima de combustíveis fósseis, a redução da queima de material vegetal e o aumento do sequestro do carbono pelo plantio de florestas, tendo em vista que as florestas estocam carbono tanto na biomassa, quanto no solo e na serapilheira e, representam mais carbono do que atualmente existe em relação ao estoque na atmosfera.

No balanço global de carbono na atmosfera do planeta terra, cerca de 8 bilhões de toneladas de carbono são emitidas anualmente na forma de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra; em torno de 3,2 bilhões permanecem na atmosfera provocando o aumento do efeito estufa e o restante é absorvido pelos mares e pela biota terrestre. Os oceanos são os maiores sorvedouros de carbono; porém, as florestas também são importantes para o equilíbrio do estoque de carbono global, por armazenarem carbono tanto na sua parte aérea, quanto na radicular, no solo e na serapilheira (NOBRE e NOBRE, 2002; BASSANELLI *et al.* 2012).

O avanço da industrialização promoveu expressiva e rápida elevação do acúmulo de CO₂ na atmosfera; no período compreendido entre 1850-1998, saltou de 275ppm para 366ppm, o que tem refletido no aquecimento global em que as temperaturas médias, a cada ano, estão mais altas. A Figura 1 mostra a evolução da emissão de GEE ao longo de vários anos, causado pelo crescimento industrial, uso de combustíveis fósseis, etc (PAIXÃO, 2004; ARTAXO, 2014).

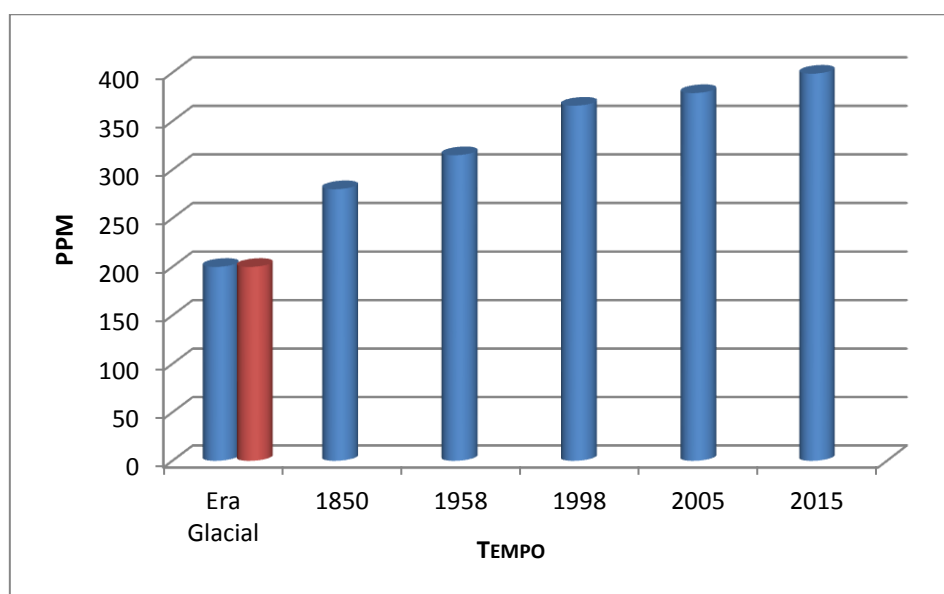


Figura 1 – Evolução das emissões de GEE (Adaptado de PAIXÃO, 2004; ARTAXO, 2014).

As árvores são uma alternativa para reduzir o aquecimento global por meio da absorção do CO₂, melhorando as condições de vida no planeta e, adicionalmente, proporcionando melhorias nas condições econômicas das comunidades onde houver reflorestamento. Outra ação que pode contribuir para minimizar o aquecimento, pode ser via descentralização das centrais de (co)geração de energia (REZAIE e ROSEN, 2012), pois desta forma os veículos de transporte, que são grandes emissores de GEE, ao percorrerem curtas distâncias, emitirão menores volumes de gases. Por outro lado, quando se constroem pequenas centrais regionalizadas, estas também emitirão taxas menores de GEE, além de que, consumirão os resíduos disponíveis naquela região, o que é uma maneira de gestão dos recursos renováveis disponíveis; evitando-se tanto o desperdício de energias quanto a contaminação do ambiente, pelo seu longo processo de decomposição.

Após um longo período em que as questões ambientais não faziam parte do rol de temas das discussões dos líderes mundiais, a partir da década de 1980 é que se aprofundaram tais discussões e, na década de 1990, foi tomada a iniciativa de elaborar um protocolo, que norteou os rumos para as questões ambientais e, ao mesmo tempo, serviu de referência para a elaboração de projetos voltados a mitigação dos GEE. Assim, deu-se início a uma corrida para reduzir as emissões, principalmente nos países desenvolvidos, a patamares do início daquela década. Por outro lado, surgiu como alternativa a possibilidade de investimento em florestamento e reflorestamento e, o comércio de crédito de carbono; que aparentou ser um negócio vantajoso, especialmente para os países em desenvolvimento, pois podem explorar esse mercado ao longo do período em que for mantido o plantio florestal e, ao final, comercializar a madeira que pode tanto servir à produção de energia quanto, ser destinado às indústrias de base florestal (SFB, 2013).

O Protocolo de Quioto, realizado no âmbito da Convenção das Nações Unidas sobre Mudança de Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change* - UNFCCC) - 1997, em nível internacional, passou a vigorar de fevereiro de 2005 a 2012, o qual previa a redução de 5,2%, em média, das emissões de GEE dos países desenvolvidos do ano base de 1990. Adicionalmente, estabeleceu que parte dessas reduções pudessem ser negociadas com os países em desenvolvimento por meio dos mecanismos de flexibilização, objetivando facilitar o cumprimento das metas estabelecidas, criando o mercado mundial de carbono. Ao mesmo tempo, tal protocolo isentou desse compromisso os países em desenvolvimento, o que lhes proporciona melhores condições para comercializar os créditos de carbono resultantes de projetos para florestamento e reflorestamento (TORRES, 2015; SFB, 2013).

No Brasil foi criado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT (2009) um programa denominado de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), com a finalidade de contribuir no processo de redução das emissões de GEE e o sequestro de carbono pelos países industrializados, na forma de negociação dos créditos de carbono entre países em desenvolvimento, por meio da proposição de projetos que contribuam para o desenvolvimento sustentável e que estes apresentem condições que favoreçam a redução das emissões de GEE, obtendo assim as Reduções Certificadas de Emissões (RCE). As RCE, que são emitidas pelo Conselho Executivo do MDL, podem ser negociadas no mercado global. Aos países industrializados foram estabelecidas cotas de redução de emissões de GEE, de modo que possam adquirir as RCE comercializadas pelos desenvolvedores de projetos nos países em desenvolvimento auxiliando no cumprimento de suas metas (GOMES, 2014).

No contexto das negociações do Protocolo de Quioto, nem todas as atividades relacionadas com o setor florestal podem ser objeto de comercialização de créditos de carbono. As únicas atividades de projeto elegíveis para tal finalidade, envolvendo o setor florestal, são as voltadas

para a contabilidade de carbono, por meio da remoção de CO₂ da atmosfera, que são florestamento e reflorestamento (F/R). Em função das incertezas associadas às estimativas e ao monitoramento do carbono nos diferentes reservatórios florestais (biomassa viva – acima e abaixo do solo; matéria orgânica morta – madeira morta e serapilheira; e carbono no solo orgânico), o Protocolo de Quioto estabelece limites para uso dos créditos com origem nas atividades de projetos MDL florestais, sendo 1% das emissões de CO₂ do país em 1990, vezes cinco (total de anos), no primeiro período de compromisso, de 2008 a 2012 (GOMES, 2014).

Tal fato pode servir de motivação para o aumento da área de plantio florestal, como o de *Eucalyptus*, principalmente em função de que no Brasil as plantações florestais desse gênero, atingiram índices de até dez vezes o volume produzido por hectare, por alguns dos países líderes neste mercado. Por exemplo, a tabela 1 mostra a produtividade média de *Eucalyptus* por ano, em que o Brasil apresenta liderança, em função de condições climáticas favoráveis, adaptação de espécies e atividades de silviculturas apropriadas (GOMES, 2014).

País	Produtividade média (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
Finlândia	4,0
Suécia	5,5
Espanha	10,0
África do Sul	20,0
Chile	30,0
Brasil	35 à 55

Fonte: Adaptado de GOMES (2014)

Tabela 1 – Produtividade média de plantações de *Eucalyptus*, em alguns países

Os resultados que podem ser obtidos com investimentos em florestamento ou reflorestamento, não são apenas financeiros e não somente para os investidores; mas também são benefícios sociais, tanto com a geração de postos de trabalho, a melhoria do clima contribuindo para a minimização do aquecimento global, bem como, podendo até, reverter os danos causados ao bioma local, dependendo do volume de elementos químicos que forem aplicados na cultura (FOELKEL, 2013).

Diversos estudos sobre sequestro e estocagem de carbono florestal têm sido realizados nos últimos anos. Por exemplo, Faria (2015) avaliou o acúmulo de biomassa e o estoque de carbono na parte aérea e no sistema radicular de plantas intactas e de brotações de plantas jovens em clones de *Eucalyptus*, para a produção de energia, em plantios de 9 e 12 meses, com diferentes intensidades de desbrota; e obteve como resultado que as plantas intactas estocaram 85,3 Mg.C.h⁻¹ (parte aérea + raízes); para o clone, o estoque foi de 61,7 Mg.C.h⁻¹. O estoque total de carbono para as brotações variou de 16,0 à 57,8 Mg.C.h⁻¹ e a média para todos os tratamentos de brotações estudados foi de 35,5 e 26,5 Mg.C.h⁻¹, respectivamente, para plantas intactas e clones.

Pesquisas feitas por Silva (2007) e Silva et al (2008), determinaram a produção volumétrica da biomassa e o estoque de carbono dos fustes em povoamentos de *Eucalyptus*, por meio da aplicação de modelos de crescimento e produção e, também, avaliaram economicamente a inclusão dos créditos de carbono em projetos florestais.

Outros trabalhos apresentaram a quantificação do estoque de carbono em compartimentos aéreos da planta, por meio do uso da análise de regressão para a modelagem de estoque de

carbono total presente na biomassa de plantios de *Eucalyptus* spp (SILVA *et al.*, 2015); além de estudo sobre a biomassa aérea estimada das árvores em um plantio de *Eucalyptus Grandis* na Região Centro-Oeste do Brasil, a composição das árvores e arbustos, composição da serapilheira e troncos caídos (fitomassa morta acima do solo) e composição das raízes (biomassa abaixo do solo) (PEDROSA *et al.*, 2013).

Segundo Pegoraro *et al.* (2011 e 2014), o cultivo de florestas plantadas de *Eucalyptus* em áreas de pastagens tem propiciado alterações no estoque de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo, em função das diferentes características de cada planta e o manejo dos resíduos vegetais, de modo que o *Eucalyptus* pode propiciar o acúmulo de maiores volumes de C e N, nos resíduos na camada superficial do solo. Outro estudo buscou avaliar a influência do tempo (idade) de plantações de *Eucalyptus* sp, sobre a variação de carbono acumulado no solo e na biomassa e mostrou que tanto o crescimento das árvores e o acúmulo de biomassa, como a manutenção de resíduo florestal na superfície do solo podem atuar na retirada de carbono da atmosfera. E, que apesar de ser considerado baixo, o estoque de carbono indicou que o crescimento das florestas em substituição à vegetação de campo não agregou um aumento significativo nesse estoque, ao contrário dos compartimentos arbóreos e da manta superficial (serapilheira). Apesar disso, o solo armazenou um estoque médio total de carbono maior quando comparado ao compartimento acima do solo (WINK *et al.*, 2013).

Destaca se também, estudo realizado por Denardin *et al.* (2014) em formações florestais no Estado de Santa Catarina, na cidade de Chapecó, que analisou a influência de diferentes cultivos florestais no acúmulo de carbono na matéria orgânica do solo e quantificou perdas de carbono quando da mudança da cobertura do solo.

Estudos feitos em outras localidades mostraram os impactos das emissões de GEE sobre as atividades da cadeia de suprimento de biomassa florestal no Estado de Michigan, avaliando o ciclo de vida dos estágios de colheita e transporte e, a análise de uma perspectiva de oferta de biomassa em substituição das fontes energéticas de origem fóssil (ZHANG *et al.* 2015). Também, Feng *et al.* (2015) quantificaram as emissões de GEE por setor, relacionadas à produção de energia na China, por meio de métodos de acompanhamento das tendências das emissões e o desenvolvimento de estratégias de mitigação, visando: economizar energia e melhorar a eficiência energética; otimizar a estrutura energética e desenvolver energia com baixo teor de carbono; e, melhorar a gestão das emissões de GEE para o setor residencial.

Para se realizar uma avaliação do balanço líquido de carbono nas atividades florestais, é importante que seja abrangente. É necessário levantar as emissões de CO₂ por meio do consumo de combustíveis fósseis, relacionadas com o preparo do solo, transporte das mudas, plantio, aplicações de adubos e inseticidas, colheita e o transporte até o local de processamento (GOMES, 2014).

3. Metodologia

Os dados relacionados às áreas de reflorestamento de *Eucalyptus* no Estado do Paraná foram obtidos a partir do inventário de florestas plantadas no Estado do PR, realizado pelo MMA em convênio com a SEAB-PR (EISFELD e NASCIMENTO, 2015).

A estimativa do balanço de carbono nas florestas industriais de *Eucalyptus*, do Estado do PR, foi feita com base nos dados médios de Simões *et al.* (1980) e, também, de Dereczynsky *et al.* (1998). Também, foi determinada a produção média (em ton.ha⁻¹ano⁻¹) da madeira de *Eucalyptus*, na forma de biomassa viva, em função do crescimento anual da árvore. O índice IMAM, denominado incremento médio anual de massa, foi calculado com base nos estudos feitos por Rezende e Ferraz (1986). O índice denominado Biomassa Viva corresponde a

produtividade média de $22 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, segundo REIS et al. 1994 e DERECHYNSKY et al., 1998, multiplicado por $0,430 \text{ ton} \cdot \text{m}^{-3}$ (densidade do *Eucalyptus*). O valor do ano 2 corresponde ao produto entre a Biomassa Viva do ano 1 vezes o 1,51 (IMAM do ano 2), e assim por diante. O valor da Biomassa Viva Acumulada no ano 2 é igual a soma entre a Biomassa Viva do ano 1 e a Biomassa Viva do ano 2.

4. Resultados

O Estado Paraná, com 20,16 milhões de hectares tem perto de 1,07 milhão de plantios florestais e, deste, pequena parcela de 0,34 milhão é destinado ao cultivo do *Eucalyptus*, como mostra a Figura 1 (EISFELD e NASCIMENTO, 2015).

No Estado do PR ainda há parcela significativa de florestas nativas, especialmente nas regiões norte, noroeste, oeste, centro e centro-sul e, sudoeste, com grandes extensões agricultáveis, que são atividades prioritárias no estado; ficando a atividade florestal em segundo plano. Apesar de não ser prioridade, o Paraná se destaca no cenário nacional, no segmento de produtos florestais, oriundos do processamento da madeira, como a indústria moveleira, a de papel e celulose, entre outras (EISFELD e NASCIMENTO, 2015).

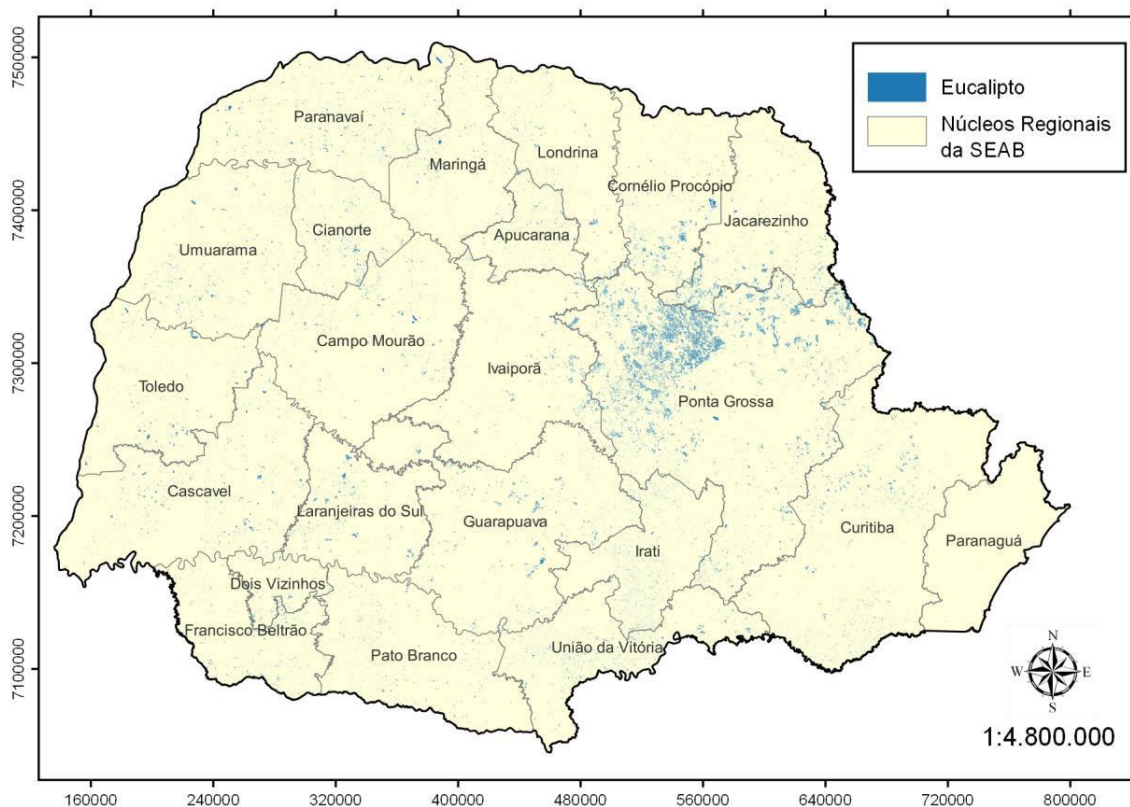


Figura 2 – Mapa dos plantios de *Eucalyptus* no Estado do PR (EISFELD e NASCIMENTO, 2015)

A Tabela 2 mostra a produção média do *Eucalyptus* em função do crescimento anual, correspondente a uma área plantada de 1,0 ha. O valor relativo ao sétimo ano do plantio, indica a produção (Biomassa Viva Acumulada) igual a $137,43 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, que está próximo ao encontrado na literatura científica (SIMÕES et al., 1980). Também, a Tabela 2 mostra o total de CO_2 acumulado em árvores de *Eucalyptus* em função do crescimento anual, atingindo valor próximo a $66 \text{ ton} \cdot \text{ano}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$, no sétimo ano do plantio.

Biomassa acumulada	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7
IMAM	1,00	1,51	1,29	1,16	1,09	1,06	1,05
Biomassa Viva (ton.ano ⁻¹)	9,46	14,28	18,42	21,37	23,29	24,69	25,92
Biomassa Viva Acumulada (ton.ano ⁻¹)	9,46	23,74	42,16	63,53	86,82	111,51	137,43
Total de CO ₂ Acumulado (ton.ano ⁻¹)	4,55	11,40	20,24	30,49	41,67	53,52	65,97

Fonte: Adaptado de EISFELD e NASCIMENTO (2015) e NEGRI (2008)

Tabela 2 – Produção média do *Eucalyptus* em função do crescimento anual (correspondente a 1,0 ha)

Por outro lado, a Tabela 3 apresenta a distribuição das áreas de plantios de *Eucalyptus* por região e núcleo, com destaque a região Centro-Sul, com mais de 50% do plantio da cultura no Estado, em que o total de área plantada atingiu 340.315.10³ha (EISFELD e NASCIMENTO, 2015). Também, a Tabela 3 mostra que a biomassa de *Eucalyptus* acumulada atingiu 46.769.10³ ton., assim como quantidade de CO₂ sequestrado da atmosfera foi de 22.449.10³ton, no Estado do Paraná, em que os valores foram calculados segundo Eisfeld e Nascimento (2015) e Negri (2008).

Região	Núcleo	Área (10 ³ ha) <i>Eucalyptus</i>	Biomassa (10 ³ ton)	CO ₂ (10 ³ ton)
Centro-Oeste	Campo Mourão	9.339	1.283	0,616
	Sub-Total	9.339	1.283	0,616
Centro-Sul	Curitiba	16.597	2.281	1.095
	Guarapuava	14.037	1.929	926
	Irati	9.925	1.364	655
	Laranjeiras do Sul	8.229	1.131	543
	Pato Branco	6.913	950	456
	Ponta Grossa	143.849	19.769	9.489
	União da Vitória	11.137	1.531	735
	Sub-Total	210.687	28.955	13.899
Litoral	Paranaguá	65	8,933	4,288
	Sub-Total	65	8,933	4,288
Noroeste	Cianorte	6.310	867	416
	Paranavaí	13.690	1.881	903
	Umuarama	9.670	1.329	638
	Sub-Total	29.670	4.077	1.957
Norte	Apucarana	4.912	675	324
	Cornélio Procopio	13.880	1.908	916
	Ivaiporã	9.849	1.354	650
	Jacarezinho	19.714	2.709	1.300
	Londrina	6.062	833	400
	Maringá	5.968	820	394
	Sub-Total	60.385	8.299	3.984
Oeste	Cascavel	12.199	1.677	805
	Dois Vizinhos	2.683	369	177
	Francisco Beltrão	6.698	921	442
	Toledo	8.591	1.181	567
	Sub-Total	30.170	4.148	1.991
Total Geral		340.315	46.769	22.449

Fonte: Adaptado de EISFELD e NASCIMENTO (2015) e NEGRI (2008)

Tabela 3 – Distribuição da área plantada com *Eucalyptus* no Estado do PR e o total de biomassa viva e de CO₂ acumulados.

Também, destaca-se que o percentual dos produtos das florestas industriais do Estado do PR, em 2015, representou em torno de 52,25% processados pelas serrarias e laminadoras para a produção de madeira serrada, placas e compensados; 30,21% foram utilizados para fins energéticos na forma de lenha e, 17,54% foram para a produção de celulose e papel (EISFELD e NASCIMENTO, 2015). Desta forma, observa-se que a maior parte da produção madeireira no Estado, está preservando por tempo maior grande parte do dióxido de carbono sequestrado e armazenado, do que apenas o seu ciclo de produção durante o seu período de crescimento, exceto a quantidade usada para energia na forma de queima direta.

As florestas industriais apresentam ciclos distintos de acordo com a finalidade a que se destinam. Por exemplo, para uso como lenha, carvão, celulose e papel, são consideradas florestas de ciclo curto, que compreende sete anos; para uso como postes e moirões, em torno de treze à quatorze anos; enquanto que para produção de madeira serrada para a construção civil e indústria moveleira, são necessários vinte e um anos ou mais. Portanto, a finalidade que se destina os produtos florestais está ligada à gestão silvicultural, por meio de escolha de espécies específicas e a gestão dos plantios, a fim de reduzir a competição entre os indivíduos permitindo desta forma o seu aumento de volume de biomassa.

5. Conclusão

As florestas industriais de ciclo curto, de *Eucalyptus*, do Estado do Paraná, apresentaram valores da ordem de 46,769 Mton de biomassa florestal acumulada e da ordem de 22,449 Mton de CO₂ sequestrados da atmosfera, portanto acumulado na biomassa, no ciclo de sete anos por hectare.

Desta forma, é importante o plantio de florestas industriais, principalmente, para aquelas atividades em que a madeira consumida é conservada em seu estado natural por mais tempo; como por exemplo, na construção civil a madeira será conservada por décadas. Do ponto de vista ambiental a conservação da madeira por mais tempo é muito benéfico, tanto pelo sequestro de carbono durante o seu crescimento, quanto por sua preservação na forma de carbono armazenado. Como referencia a área plantada de 1,0 ha *Eucalyptus*, no período de sete anos terá armazenado 22,449 Mton de CO₂; enquanto que no período de 20 atingirá em torno de 64 Mton de CO₂, que deixarão de serem emitidos para a atmosfera na forma de GEE.

Referências

- ARTAXO, P. *Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno?* Revista USP, SP, 103. 13-24, 2014.
- BASSANELLI, H. R.; BATISTA, G. T.; LOOS, R. A. *Emissões de Carbono em Função da Implantação de Eucalipto em Áreas Ocupadas com Pastagem*. The 4th International Congress on University-Industry Cooperation – Taubaté, SP – Brazil – December 5th through 7th, 2012. (ISBN 978-85-62326-96-7).
- CAMPOS, P.C. *A Conservação das florestas no Brasil, mudanças do clima e o mecanismo de desenvolvimento limpo no Protocolo de Quioto*. Rio de Janeiro, 2002. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- CAPRA, F. *O Ponto de Mutação*. 26 (reimp). (trad. Álvaro Cabral). São Paulo: Cultrix, 2006.
- CGEE. *Manual de capacitação sobre Mudança Climática e Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)*. Ed. rev. e atual. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.
- DENARDIN, R. B. N.; MATTIAS, J. L.; WILDNER, L. P.; NESI, C. N.; SORDI, A.; KOLLING, D. F.; BUSNELLO, F. J.; CERUTTI, T. *Estoque de carbono no solo sob diferentes Formações Florestais, Chapecó* – SC. *Ciência Florestal*, 24(1), 59-69, 2014.

- DERECZYNSKI, C.P.; SILVA, M. G.A.J. da; CRUZ, F.T.L. da. *Avaliação econômica do sequestro de CO₂ a partir do plantio de florestas industriais*. 1998. <http://www.cbmet.com/cbm-files/13-163e97d0ad4920c2471a46c25246b548.pdf>
- EISFELD, R.L.; NASCIMENTO, F.A.F.. *Mapeamento dos Plantios Florestais do Estado do Paraná – Pinus e Eucalyptus*. Curitiba: Instituto de Florestas do Paraná, 2015.
- EMBRAPA FLORESTAS. *Plantações Florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental*. Colombo-PR: Embrapa, 2016.
- FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2010. *Evaluación de los recursos forestales mundiales*.
- FARIA, R. S. *Biomassa e Estoque de Carbono de Plantas Intactas e de Brotações de Eucalipto em Espaçamento Amplo*. Dissertação, UFV, Viçosa-MG, 2015.
- FENG, C; GAO, X; WU, J; TANG, Y; HE, J; QI, Y. *Greenhouse Gas Emissions Investigation for Towns in China: a case study of Xiaolan*. Journal of Cleaner Production, 103 (2015), 130-139.
- FERREIRA, O.P. (org) *Madiera: uso sustentável na construção civil*. São Paulo: Inst. Pesq. Tecnológica: SVMA: SindusCon-SP, 2003.
- FOELKEL, Celso. *Aspectos Práticos Conceituais sobre a Fabricação de Celulose de Mercado do Tipo Kraft Branqueada a Partir da madeira de Eucalipto*. Eucalyptus Online Book & Newsletter. Cap. 31. 2013.
- GOMES, R. R. M. *Uso de Dinâmica de Sistemas para Simulação de Remoções de Gases do Efeito Estufa em Floresta de Eucalipto*. (Tese) Belo Horizonte: UFMG, 2014.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). *Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano*. Brasília: IPEA, 2010.
- MAESTRI, R; et al. *Viabilidade de um Projeto Florestal de Eucalyptus grandis Considerando o Sequestro de Carbono*. Floresta, 34(3), 347-360, 2004.
- NEGRI, Edson L. *Balanço de Carbono na Produção de Papel e Celulose – Estudo de uma empresa da região sudeste*. Dissertação. UNIMEP: Santa Bárbara D'Oeste-SP, 2008.
- NOBRE, C.A.; NOBRE, A.D. *O Balanço de Carbono da Amazônia Brasileira*. Estudos Avançados vol.16, núm.45, São Paulo: May/Aug., págs. 81-90, 2002
- PAIXÃO, F.A. *Quantificação do Estoque de Carbono e Avaliação Econômica de Alternativas de Uso de um Povoamento de Eucalipto*. (Tese) Viçosa: UFV, 2004.
- PEDROSA, T. D.; MASCARENHAS, A. R. P.; MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M. *Estimativa da Biomassa em um Plantio de Eucalyptus grandis na Região Centro-Oeste*. Scientia Plena, vol. 9, n.5, págs. 1-7, 2013
- PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; FONSECA, S. *Estoque de Carbono e Nitrogênio em Argissolo Submetido ao Monocultivo de Eucalyptus Urograndis e em Rotação com Acácia Mangium*. Ciência Florestal, 24(4), 935-946, 2014.
- PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; FONSECA, S.; DAMBROZ, C.S. *Estoque de Carbono e Nitrogênio nas Frações da Matéria Orgânica em Argissolo sob Eucalipto e Pastagem*. Ciência Florestal, Santa Maria, 21(2), 261-273, 2011.
- PÉLLICO NETO, S.; KAUAÑO, É.E.; CORAIOLAC, M.; WEBERD, S.H.; ERDELYI, S. *Estimativa do Potencial de Neutralização de Dióxido de Carbono no Programa Vivat Neutracarbono em Tijucas do Sul, Agudos do Sul e São José dos Pinhais, PR*. Rev Acad, Ciências Agrárias e Ambiental, 6(2), 293-306, 2008.
- PONCE, P.H. *Madeira Serrada de Eucalipto: desafios e perspectivas*. Inst. Pesq. Tecnológicas do Est. SP. Anais do Seminário Internacional de Utilização da Madeira de Eucalipto para Serraria - 1995.
- REIS, M.G.F. et al. *Sequestro e armazenamento de carbono em florestas nativas e plantadas dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo*. In: Seminário Emissão x Sequestro de CO₂, 1994, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Cia Vale do Rio Doce, 1994. P. 155-195
- REZAIE, B.; ROSEN, M.A. *District heating and cooling Review of technology and potential enhancements*. ScienceDirect. Applied Energy 93, 2-10, 2012.

REZENDE, M.A.; FERRAZ, E.S.B. *Incrementos Anuais de Volume, Massa e Idade Ideal de Corte para Eucalyptus grandis*. IPEF, n. 32, p.43-48, abr.1986.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB/MMA). *Florestas do Brasil em resumo – 2013: dados de 2007-2012*. Brasília: SFB, 2013.

SILVA, C.A.; K LAUBER, C.; CARVALHO, S. P. C.; PICCOLO, M. C.; RODRIGUES, L. C. E. *Estoque de carbono na biomassa aérea florestal em plantações comerciais de Eucalyptus spp.* Scientia Forestalis, Piracicaba, 43(105), 135-146, 2015.

SILVA, R. F. *Projeção do Estoque de Carbono e Análise da Geração de Créditos de Carbono em Povoamentos de Eucalipto*. (Dissertação) Viçosa-MG, UFV, 2007.

SILVA, R. F.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; SILVA, G. F. *Projeção do Estoque de Carbono e Análise da Geração de Créditos em Povoamentos de Eucalipto*. Revista Árvore, 32(6), 979-992, 2008.

SILVEIRA, Pércles. *Métodos Indiretos de Estimativa do Conteúdo de Biomassa e do Estoque de Carbono em um Fragmento de Floresta Ombrófila Densa*. Tese – Programa de Engenharia Florestal / A. Concentração: Manejo Florestal - UFPR. Curitiba, 2008.

SIMÕES, J.W.; COELHO, A.S.R.; MELLO, H.A.; COUTO, H.T.Z. *Crescimento e Produção de Madeira de Eucalipto*. IPEF n.20, p.77-97, jun.1980.

TORRES, C.M.M.E. *Estocagem de carbono e inventário de ases de efeito estufa em sistemas agroflorestais, em Viçosa, MG*. (Tese). Viçosa, MG: 2015.

WINK, C.. REINERT, D. J; MÜLLER, I; REICHERT, J. M.; JACOMET, L. *A Idade das Plantações de Eucalyptus sp. Influenciando os Estoques de Carbono*. Ciência Florestal, 23(2), 333-343, 2013.

ZHANG, F.; JOHNSON D. M.; WANG, J. *Life-Cycle Enery and GHG Emissions of Forest Biomass Harvest and Transport for Biofuel Production in Michigan*. Energies, 8, 3258-3271, 2015.