

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JÉSSICA PRISCILA TOSATO

**INVENTÁRIO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM EMPRESA
DE BASE FLORESTAL**

CURITIBA

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JÉSSICA PRISCILA TOSATO

**INVENTÁRIO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA EM EMPRESA
DE BASE FLORESTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito para a conclusão da disciplina ENG006 e requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Allan Libanio Pelissari

CURITIBA

2017

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não resulta de um esforço meramente individual, mas nasce de significativas contribuições que recolhi durante toda minha trajetória acadêmica. É impossível listar todos que, de alguma forma ou outra, me acrescentaram conhecimento essenciais à forma de ver o mundo e como nele atuar. Mas, gostaria de demonstrar minha gratidão em especial:

À Deus, pelo dom da vida. Apesar de não compreender Seus caminhos, posso afirmar que está valendo a pena! Tudo coopera para o bem daqueles que confiam no Senhor...

Aos meus pais pelo exemplo, dedicação e amor. A eles devo agradecer por acreditarem que esse dia chegaria e por investirem no meu futuro. Amo vocês!!

A todos da minha família, em particular para: Guilherme, Vanessa, João Luiz e Jackeline, por compreenderem a minha ausência em muitos momentos, pelos incentivos e apoio em todos as horas. Com certeza vocês tornam meus dias mais felizes!

À minhas amigas: Silvia Martin, Tuany Valerio, Rafaela Francisco, Carolina Soldera, Djulia de Azevedo e Flávia Tussulini, pelos cinco anos compartilhados, pelas rodas de chimarrão e conversas aleatórias.

À família Vasconcelos, em especial seu Glorismaro e Solange, por me acolherem tão bem em sua casa no meu período de estágio em Bofete.

À minhas amigas Tairis Vasconcelos e Bianca Ito, por me receberem em Botucatu. Agradeço pelo companheirismo, carinho e paciência. Conhecê-las foi um presente. Ao Professor orientador Allan, pelas sugestões e dedicação. Sempre estive pronto para me atender e empenhou sua função com excelência.

Ao Curso de Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, na pessoa de seu coordenador Prof. Dr. Umberto Klock, pelo apoio recebido.

Aos bons professores da UFPR pelo exemplo a ser seguido.

À empresa Novo Prisma Agro-Florestal Ltda. - Grupo Eucatex pela oportunidade.

Muito obrigada!

RESUMO

A elaboração do inventário de emissões é o primeiro passo para que uma empresa contribua para a minimização das mudanças climáticas, uma vez que, a partir do diagnóstico obtido pelo inventário, a organização poderá estabelecer estratégias e metas para redução e gestão das emissões de gases efeito estufa (GEE), empenhando-se na solução desse problema. Assim, o objetivo deste estudo foi obter o balanço entre as emissões e o sequestro de GEE pelos plantios de *Eucalyptus* spp. de uma empresa de base florestal. Quantificando o carbono emitido pelas operações florestais, desde a produção das mudas até o transporte dos toretes para a fábrica, quantificando também o carbono sequestrado pelos plantios florestais, e comparar os resultados com o ano base 2015. A metodologia adotada para quantificação das emissões baseia-se nas especificações do IPCC (2006). Considerando o balanço entre a captura e as emissões no sistema estudado conclui-se que 8,8% do CO_{2eq.} removido é efetivamente armazenado pelos plantios (255.394,38 t), contribuindo positivamente para a redução do efeito estufa. Além disso, as emissões de CO_{2eq.} reduziram em 2016 (20.036,08 t CO_{2eq.}), quando comparado ao ano base de 2015 (25.624,65 t CO_{2eq.}).

Palavras-chave: balanço de emissões, GEE, operações florestais.

ABSTRACT

Inventory emissions developing is the first step for a company to contribute to minimizing climate changes, since the diagnosis obtained by inventory, the organization can be establishing strategies and targets for reduction and management of greenhouse gas emissions (GHG), working to solve this problem. Thus, the aim of this study was to obtain the balance between emissions and GHG sequestration by *Eucalyptus* spp. of a forest-based company. Quantifying the carbon emitted by forestry operations from production of seedlings to transportation of logs to the factory. The methodology adopted for quantification of emissions is based on IPCC (2006) specifications. Considering the balance between catch and emissions in studied system, it is concluded that 8.8% of CO_{2eq.} removed is effectively stored by plantations (255,394.38 t), contributing positively to reduction of greenhouse effect. In addition, CO_{2eq.} emissions reduced in 2016 (20,036.08 t CO_{2eq.}), when compared the base year of 2015 (25,624.65 t CO_{2eq.}).

Keywords: emissions balance, GHG, forest operations.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EMISSÕES ANTRÓPICAS TOTAIS ANUAIS DE GEE, NO PERÍODO DE 1970 A 2010.....	12
FIGURA 2 – PERSPECTIVAS REFERENTES AS EMISSÕES DE CO2 ANUAIS E AQUECIMENTO DA ATMOSFERA ATÉ O ANO DE 2100.	14
FIGURA 3 - CRONOLOGIA DOS ACORDOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.	18
FIGURA 4 - ETAPAS DA CADEIA PRODUTIVA DE MADEIRA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA EMISSÃO E REMOÇÃO DE CO2 EM EMPRESA DE BASE FLORESTAL	28
FIGURA 5 - PORCENTAGEM DE CO ₂ eq REMOVIDOS POR CLASSE DE IDADE DE <i>Eucalyptus</i> spp. EM EMPRESA DE BASE FLORESTAL, NOS ANOS DE 2015 E 2016.	30
FIGURA 6 - PORCENTAGEM DE EMISSÕES DE CO ₂ eq. CALCULADOS PARA O ANO 2015 REFERENTE AS ATIVIDADES DE UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL.....	31
FIGURA 7 - PORCENTAGEM DE EMISSÕES DE CO ₂ eq. CALCULADOS PARA O ANO 2016, REFERENTE AS ATIVIDADES DE UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL.....	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - FONTES DE EMISSÕES DE CO ₂ E SETORES RESPONSÁVEIS PELAS PRINCIPAIS EMISSÕES NO BRASIL.....	13
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DE CLIMA, SOLO E LOCALIZAÇÃO DA EMPRESA NOVO PRISMA AGRO-FLORESTAL REFERENTES AS MICRORREGIÕES DE BOTUCATU, SALTO E CAPÃO BONITO.	24
TABELA 3 - DADOS COLETADOS EM UMA EMPRESA FLORESTAL PARA O CÁLCULO DE EMISSÕES DE CO ₂ POR ATIVIDADE NO PERÍODO DE UM ANO.....	26
TABELA 4 - QUANTIDADE DE CO ₂ eq. REMOVIDOS DA ATMOSFERA NO ANO DE 2015 E VOLUME DE BIOMASSA INVENTÁRIADOS POR CLASSE DE IDADE EM UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL.	29
TABELA 5 - QUANTIDADE DE CO ₂ eq. REMOVIDOS DA ATMOSFERA NO ANO DE 2016 E VOLUME DE BIOMASSA INVENTÁRIADOS POR CLASSE DE IDADE EM UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL.	29
TABELA 6 - EMISSÕES DE CO ₂ eq POR SETOR PRODUTIVO DE UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL, CORESPONDENTE AOS ANOS DE 2015 E 2016.....	31
TABELA 7 - EMISSÕES DE CO ₂ eq. POR SETOR PRODUTIVO DE UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL, CORESPONDENTE AO ANO 2016.	32
TABELA 8 - BALANÇO DE CARBONO CALCULADO PARA OS ANOS DE 2015 E 2016, REFERENTE AS ATIVIDADES DE UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL.	32

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	OBJETIVOS	11
3.	REVISÃO DE LITERATURA	11
3.1.	Gases de Efeito Estufa (GEE) e suas emissões	11
3.1.1.	Consequência da Emissão do Gás Carbônico	15
3.2.	Contexto histórico das Mudanças climáticas	16
3.3.	Importância do Setor Florestal na Mitigação das Mudanças Climáticas	18
3.4.	Metodologia para Inventário de GEE	20
2.4.1.	Cálculo de Emissão.....	22
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1.	Quantificação das Emissões de GEE:	25
4.2.	Balanço de carbono:	27
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1.	Fixação do carbono pelos plantios	28
5.2.	Emissões	30
5.3.	Balanço de Carbono	32
6.	CONCLUSÕES.....	33
7.	RECOMENDAÇÕES.....	34
	REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

A interação entre a natureza e ação humana, principalmente após a revolução industrial, foi marcada por uma excessiva exploração dos recursos naturais, não considerando a frágil capacidade de regeneração e assimilação do meio ambiente às mudanças abruptas. Devido a isso, surge a necessidade de um novo modelo de desenvolvimento consciente da sociedade que adote a sustentabilidade, visando: desenvolver o presente de forma a deixar condições para que as gerações futuras também se desenvolvam (GEROMINE, 2004).

Há dois fatores notórios referentes as alterações de comportamento ambiental na superfície da Terra. O primeiro, trata do aumento da temperatura média da superfície do planeta, enquanto o segundo fato está relacionado com o aumento da concentração de gases resultantes da combustão com carbono fóssil. Mesmo não existindo absoluto consenso da comunidade científica em relação a essas duas afirmações, não se pode deixar de notar que o planeta está sofrendo alterações devido as ações antrópicas. Isso implica em uma responsabilidade global na mitigação desses problemas (NAE, 2005; IBÁ, 2016).

Levando em consideração esse aspecto, nas últimas décadas surgiram debates mundiais a respeito de como a sociedade poderia minimizar os problemas das mudanças climáticas. Assim, alguns países começaram a firmar compromissos de diminuição de emissões de gases efeito estufa (GEE), bem como fomentar as iniciativas de novas tecnologias de baixo impacto ambiental e apoiar ideias de conservação da biodiversidade terrestre (NAE, 2005).

A participação com ações de mitigação não é realizada somente em âmbito global, podendo pequenas comunidades, instituições e empresas colaborarem para a minimização das mudanças climáticas. A execução de um inventário de emissões pode ser o primeiro passo que uma empresa pode tomar no apoio a solução desse problema. A realização de inventários de gases efeito estufa também permitem às organizações visualizarem oportunidades de negócios no mercado de carbono, atrair novos investidores, ou ainda planejar processos que garantam a eficiência energética, operacional e/ou econômica (GHG Protocol, 2011).

Segundo o *International Council of Forest and Paper Associations* (ICFPA), a indústria global de base florestal é parte da solução para as mudanças climáticas. Uma vez que, esse setor tem alcançado progressos significativos na redução das

emissões de carbono, a partir de novas tecnologias, além do aumento do estoque de carbono e remoção de GEE, devido ao manejo sustentável das florestas (PAINEL FLORESTAL, 2016).

Nos últimos anos, é crescente o número de pesquisas que abordam este tema na área florestal, devido a demanda por metodologias mais precisas para a quantificação do carbono. Em trabalhos como os de Gorgens *et al.* (2005), Soares *et al.* (2005) e Torres *et al.* (2013), buscam comparar as melhores formas de quantificação da biomassa e estocagem de carbono em florestas, a partir de modelos matemáticos e ajustes metodológicos.

Geromini (2004), em seu trabalho, objetivou obter o balanço entre a quantidade de carbono armazenado pelos plantios de *Pinus taeda* L. e a quantidade de carbono emitido pelas operações florestais e industriais. Como um dos resultados do balanço, foi observado que, se houver reposição do que foi colhido, haverá armazenamento de CO₂ equivalente a 53,83% da quantidade de CO₂ que entrou no processo industrial através da madeira em tora.

Segundo Higa *et al.* (2016), o Brasil possui elevado potencial para ações mitigadoras do efeito estufa. No entanto, é necessário que novos estudos sejam realizados para embasar uma nova gestão florestal, adequando-se aos efeitos das mudanças climáticas, permitindo o manejo sustentável das florestas tanto em pequena escala, quanto em grandes indústrias.

Muitos são os fatores que levam uma empresa de base florestal a realizar estudos do balanço de carbono de suas atividades. Entre eles, destacam-se os fatores: políticos, econômicos, estratégicos e, em especial, para adequação de normas concomitantemente para o atendimento de exigências legais (GHG *Protocol*, 2011). Destaca-se a ABNT NBR ISO 14.001 que especifica os requisitos para um sistema de gestão ambiental e sua norma ISO 14.069 que estabelece orientação para os cálculos de emissões. A qual foi a principal motivação para a execução do trabalho.

2. OBJETIVOS

Obter o balanço entre as emissões e o sequestro de GEE pelos plantios de *Eucalyptus* spp. de uma empresa de base florestal. Quantificando o carbono emitido pelas operações florestais, desde a produção das mudas até o transporte dos toretes para a fábrica, quantificando também o carbono sequestrado pelos plantios florestais, e comparar os resultados com o ano base 2015.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Gases de Efeito Estufa (GEE) e suas emissões

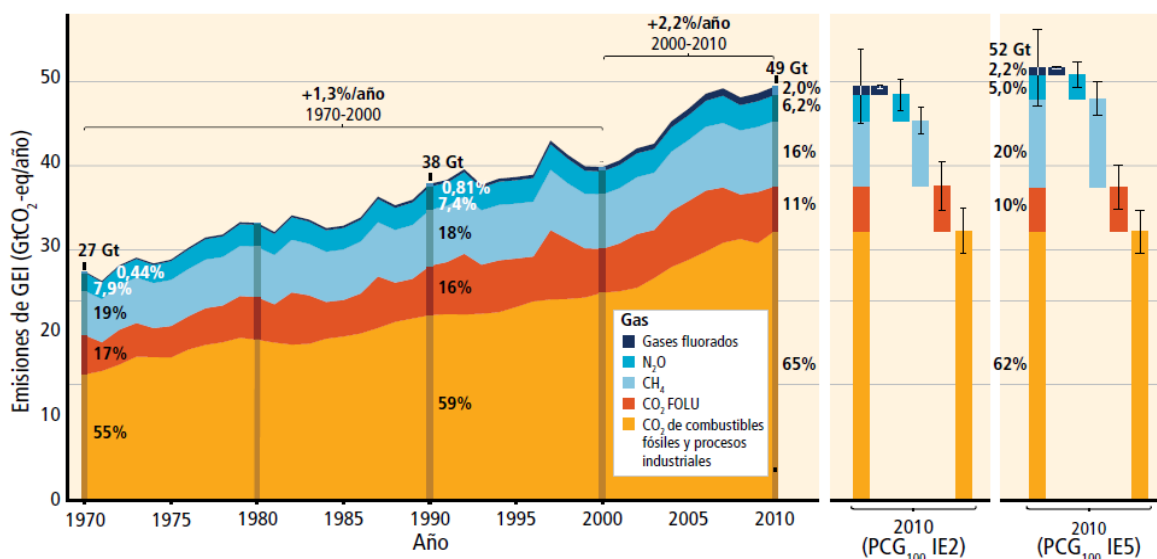
Naturalmente, a atmosfera é uma composição homogênea de gases sendo formada por 99% de nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2). Outros gases também a compõe, porém em menor quantidade, constituindo o que se denomina gases efeito estufa (GEE), tais como: o dióxido de carbono (CO_2), ozônio (O_3), metano (CH_4) e óxido nítrico (NH_3); além do vapor d'água. Juntos, apresentam a capacidade de reter o calor (GEROMINI, 2004).

O efeito estufa é um fenômeno importante que possibilita a manutenção da temperatura global em um ponto de equilíbrio, garantindo a vida na terra. No entanto, com o aumento das emissões de GEE de forma descontrolada por ações antrópicas, especialmente pela queima de combustíveis fósseis, há formação de uma camada de poluentes que atua como isolante térmico, retendo a temperatura, intensificando o efeito estufa (OLIVEIRA e VECCHIA, 2009).

Estudos demonstram que as emissões antrópicas de GEE tem aumentado desde a era pré-industrial, como resultado do crescimento demográfico e econômico nas últimas décadas. As concentrações de dióxido de carbono, metano e óxido nítrico são consideradas as mais altas nos últimos 800.000 anos (IPCC, 2014).

Dentre todos os GEE, a atenção primordial tem sido dada ao dióxido de carbono, uma vez que o volume de suas emissões representa cerca de 60% do total das emissões globais, além do tempo de sua permanência na atmosfera ser em média de 100 anos (BILLER e GOLDEMBERG, 1999). Na Figura 1 é possível observar a evolução das emissões de carbono em um período de 40 anos:

FIGURA 1 - EMISSÕES ANTRÓPICAS TOTAIS ANUAIS DE GEE, NO PERÍODO DE 1970 A 2010



FONTE: IPCC (2014), edição em espanhol. Legenda: GEE = gases efeito estufa em GtCO₂-eq/ano (gigatonelada de CO₂ equivalente por ano); FOLU= dados referentes ao uso de solo (silvicultura, agricultura, etc.); CH₄= metano; N₂O= óxido nítrico; PCG₁₀₀ = cálculo das emissões de CO₂eq sobre a base de valores do potencial de aquecimento global com um horizonte de tempo de 100 anos; IE2= dados referentes ao Segundo Informe de Evolução das Mudanças Climáticas do IPCC; IE5= dados referentes ao Quinto informe de Evolução das Mudanças Climáticas do IPCC.

Apesar do crescente número de políticas de mitigação das mudanças climáticas, as emissões de GEE aumentaram entre 1970 e 2010, com maiores incrementos absolutos entre 2000 e 2010, atingindo o patamar de $49 \pm 4,5$ GtCO₂-eq/ano. As principais fontes dessas emissões são oriundas de combustíveis fósseis e de processos industriais, contribuindo com 78% do aumento total de emissões no período (IPCC, 2014).

O nível de emissões mundiais de dióxido de carbono em 1990 foi de 7,4 bilhões de toneladas/ano, das quais 6 bilhões de toneladas foram provenientes do setor de energia; 1,2 bilhão resultantes da queima e derrubada de florestas; e 0,2 bilhão da produção de cimento (IPCC, 2007). Considerando as emissões antrópicas de CO₂, decorrentes principalmente da queima de combustíveis fósseis (em indústrias, veículos e sistemas de aquecimento) foi analisado no Brasil as seguintes proporções de emissões para o mesmo período (Tabela 1):

TABELA 1 - FONTES DE EMISSÕES DE CO₂ E SETORES RESPONSÁVEIS PELAS PRINCIPAIS EMISSÕES NO BRASIL.

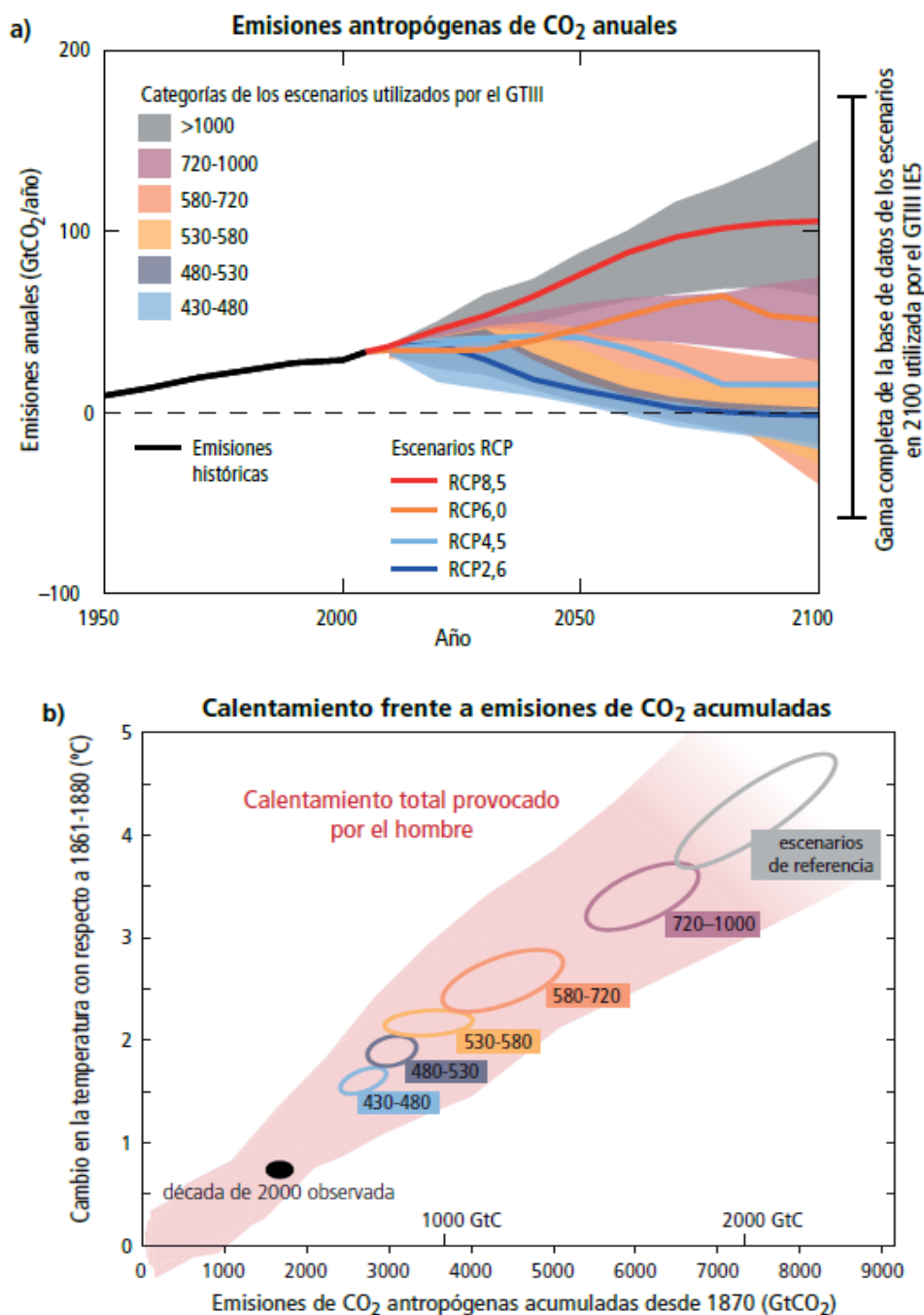
Fontes de Emissões de CO ₂ (%)		Setor responsável pela Emissão (%)	
Petróleo	58	Indústria	38
Queima de madeira	16	Transporte	33
Coque metalúrgico	12	Residencial	10
Carvão	10	Agricultura e agropecuária	7
Gás natural	4	Outros	12
Total	100	Total	100

FONTE: BILLER E GOLDEMBERG (1999).

Em 2010, ao nível mundial, as emissões antrópicas anuais de GEE aumentaram 10 GtCO₂-eq, tendo o ano 2000 como base. Se considerarmos somente as emissões diretas, esse aumento foi proveniente principalmente dos setores de energia (47%), indústria (30%), transporte (11%) e edificações (3%). Os crescimentos econômico e demográfico continuam sendo os impulsionadores mais importantes do aumento nas emissões de CO₂ derivadas dos combustíveis fósseis (IPCC, 2014).

No último Relatório sobre Mudanças Climáticas do IPCC (2014), foram realizadas projeções referentes a evolução das emissões de gás carbônico até 2100 (Figura 2a). Foram descritas quatro trajetórias representativas de concentração (RCP), considerando que as emissões antrópicas de GEE dependem principalmente dos seguintes fatores: tamanho da população; atividade econômica e estilo de vida; forma de uso da energia; padrões adotados para o uso do solo; tecnologia e políticas climáticas. Devido ao desenvolvimento socioeconômico, nota-se que as projeções apresentam ampla margem de variação.

FIGURA 2 – PERSPECTIVAS REFERENTES AS EMISSÕES DE CO₂ ANUAIS E AQUECIMENTO DA ATMOSFERA ATÉ O ANO DE 2100.



FONTE: IPCC (2014). Legenda: RCP = cenários representativos das concentrações de CO₂ e aquecimento global; RCP 2,6= cenário otimista que considera altas taxas mitigatórias; RCP 4,5 e RCP 6,0 = cenários intermediários; RCP 8,5= cenário pessimista que considera altos valores de emissões de GEE; GTIII = grupo de trabalho III que compartilhou os dados com o IPCC; GtCO₂= gigatonelada de CO₂ equivalente; IE5= dados referentes ao Quinto informe de Evolução das Mudanças Climáticas do IPCC.

As trajetórias incluem os cenários: otimista, considerando altas taxas mitigatórias (RCP 2,6); dois cenários intermediários (RCP 4,5 e RCP 6,0); e o último considerando altos valores de emissões de GEE (RCP 8,5). As evidências apontam para uma relação quase linear e contínua entre as emissões de CO₂ acumuladas e a projeção do aquecimento global até 2100. Os resultados dos modelos demonstram que para limitar o aquecimento total em menos de 2°C em relação ao período pré-industrial (1816 a 1880), é necessário limitar as emissões de CO₂ em 2.900 GtCO₂, no entanto até 2011 já foram emitidos 1.900 GtCO₂ (IPCC, 2014).

Em todos os cenários as projeções apontam para o aumento da temperatura média global. Sendo que se esperam variações na temperatura entre 0,3 a 1,7 °C, para o RCP 2,6; 1,1 a 2,6°C para trajetória RCP 4,5; de 1,4 a 3,1 °C para a trajetória RCP6,0; e 2,6 até 4,8°C para RCP 8,5 (Figura 2 b).

3.1.1. Consequência da Emissão do Gás Carbônico

O aumento das concentrações de gases como o CO₂ acima do natural pode ser potencialmente perigoso, com possíveis consequências negativas para a humanidade (BILLER e GOLDEMBERG, 1999). Como consequência desse processo surge as mudanças climáticas, caracterizadas pelos desastres climáticos, como: o derretimento das camadas polares e consequente aumento do nível do mar, secas prolongadas, tempestades e enchentes, variações abruptas de temperatura, entre outros. Essas situações afetam os ecossistemas, podendo causar a extinção de plantas e animais e, ainda, afetar negativamente a produção agropecuária (OLIVEIRA, 2009).

Os impactos das mudanças climáticas não se restringem apenas aos recursos naturais, uma vez que a economia e a sociedade também são afetados, direta ou indiretamente. O crescimento econômico poderá ser prejudicado, ao passo que a demanda por investimentos em adaptação e aumento de resiliência climática tendem a se expandir. Países em desenvolvimento, que possuem sua base econômica fundamentada na agricultura, poderão ficar mais vulneráveis as variações climáticas. Visto que, a agricultura é uma atividade altamente dependente de fatores ambientais, cujas alterações, podem afetar a produtividade e o manejo da cultura, influenciando aspectos sociais e políticos (LIMA *et al.*, 2001).

3.2. Contexto histórico das Mudanças climáticas

Durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizado em 1992 no Rio de Janeiro (Rio 92), representantes de 179 países consolidaram uma agenda global para minimizar os problemas relacionados com as mudanças climáticas. Nesse cenário, foi instituído o acordo internacional da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (CQNUMC), elaborado pela ONU - Organização das Nações Unidas (MMA, 2017).

A convenção tem como principal objetivo a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, em um nível que impeça a interferência antrópica perigosa no sistema climático. Esse nível deverá ser alcançado de tal forma que os ecossistemas consigam adaptar-se naturalmente a mudança climática, assegurando, portanto, que a produção de alimento mundial não seja prejudicada e permitindo o desenvolvimento econômico dos países, porém de maneira sustentável (MMA, 2017).

Como a concentração de GEE na atmosfera é resultado de atividades econômicas passadas, adotou-se na convenção o princípio das “responsabilidades comuns, porém diferentes”. Reconhecendo que, em virtude da contribuição das suas emissões passadas na variação da temperatura global, os países possuem responsabilidades diferentes. Dessa forma, estabeleceu-se que os países desenvolvidos liderariam os esforços nas mitigações das mudanças climáticas, assumindo o compromisso de limitar suas emissões e assistir os países mais vulneráveis nas suas ações de adaptação. Assim, em 1997 foi assinado o Protocolo de Kyoto, no qual 37 países desenvolvidos se comprometeram a reduzir, em conjunto, 5,6% das emissões em relação a 1990 (IPEA, 2011).

Para que as metas fossem cumpridas e, ao mesmo tempo, fosse estimulado o desenvolvimento sustentável de países em desenvolvimento, foram criados instrumentos de mercado. Esses, permitiam inclusive que países sem metas pudessem reduzir as emissões a partir de mercados de créditos de emissões conhecidos como: Mercado de Carbono para os países Anexo I e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para transações com países fora do Anexo I (IPEA, 2011).

Embora o Protocolo de Kyoto tenha sido o início de uma colaboração global para resolver os problemas climáticos, não foram cumpridas as metas de redução estabelecidas anteriormente. Por esse motivo, novas negociações foram surgindo nas chamadas Conferência das Partes (COP). A COP é o órgão supremo da CQNUC, que reúne anualmente os Países Parte em conferências mundiais. As decisões somente podem ser implementadas quando houver aceitação unânime de todas as partes, sendo soberano e válido para todos os países signatários (MMA, 2017).

Em 2007, na COP 13 em Bali, foram estabelecidos objetivos que só foram implementados em 2009, na COP 15. Em resumo, o plano de ação estabelecia:

- Compromissos e metas mais ambiciosos por parte dos países desenvolvidos, com a redução das emissões em até 40% em 2020 e 80% em 2050;
- Contribuições voluntárias, na forma de ações, visando a redução das emissões dos países em desenvolvimento, que fossem monitoráveis.

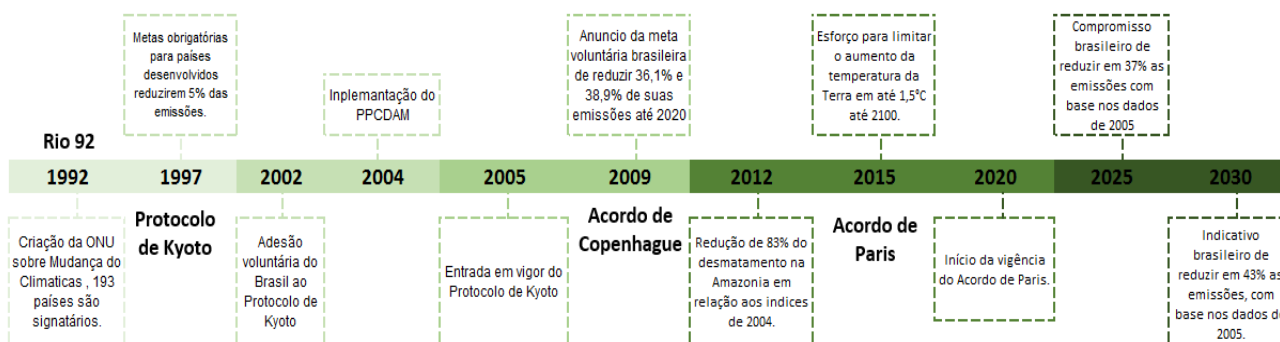
O Brasil confirmou no Acordo de Copenhague (COP, 16) seu compromisso com ações nacionais voluntárias de redução de emissões de GEE, conforme Figura 3, com redução de 36,1% e 38,9% das emissões projetadas até 2020. Esse compromisso foi ratificado pela Lei nº 12.187, de dezembro de 2009, relacionado a Política Nacional sobre Mudança do Clima (MMA, 2017).

A partir das COP, foram estabelecidos diretrizes sobre Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD), tendo como foco principal a conversão de estoque de carbono. Permitindo assim, criar valores econômicos para a floresta em pé, ou para o desmatamento evitado (PADUA, 2008).

Diferente do MDL, o REDD propõe compensações financeiras aos proprietários de matas naturais que se prontificarem a proteger suas florestas. O REDD é, portanto, um mecanismo criado para evitar a emissão de carbono na atmosfera. Em contrapartida, os projetos de MDL são baseados em fontes renováveis e alternativas de energia, na implementação de tecnologias mais limpas e na implantação de reflorestamentos como sumidouros de carbono (PADUA, 2008).

Na COP 21, realizada em Paris em 2015, foi aprovado o Acordo de Paris pelos 195 países que compõe o CQNUMC. O compromisso ocorre no sentido de limitar o aumento da temperatura média global em menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais. O Brasil comprometeu-se a reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005 até 2025, com uma contribuição subsequente de reduzir as emissões em 43% até 2030. Para isso, o país se comprometeu a aumentar a participação da bioenergia sustentável em sua matriz energética para aproximadamente 18% até 2030, além de restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas, bem como alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030 (MMA, 2017).

FIGURA 3 - CRONOLOGIA DOS ACORDOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.



FONTE: ADAPTADO DE MMA (2017).

Em virtude disso, muito embora, ainda não aja total consenso por parte dos países, novos mercados e oportunidades estão surgindo a partir de projetos que envolvam o MDL e REDD. Sendo que, no Brasil os setores com maior potencial de desenvolvimento são o energético e florestal (LIMA *et al.*, 2001; GEROMINI, 2004).

3.3. Importância do Setor Florestal na Mitigação das Mudanças Climáticas

Se o padrão de crescimento populacional mundial mantiver nas proporções atuais, estima-se que a população mundial deve atingir 9,1 bilhões de pessoas até 2050. Considerando o cenário que fomenta o desenvolvimento através do baixo carbono, energias renováveis e desmatamento líquido zero, tal crescimento, implicaria no aumento do uso total de energia proveniente da biomassa, podendo triplicar até 2050. Para atender essa demanda, estudos indicam que serão necessários 250 milhões de hectares adicionais de florestas plantadas no mundo (IBÁ, 2016).

Segundo o relatório anual do Instituto Brasileiro de Árvores (IBÁ, 2016), estima-se que, o Brasil tem 7,8 milhões de hectares de plantios florestais, dos quais são responsáveis pelo estoque aproximado de 1,7 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$). Além das remoções e estoques de carbono dos plantios, o setor gera e mantém reservas de carbono da ordem de 2,48 bilhões de toneladas de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ e 5,6 milhões de hectares na forma de reserva legal (RL), áreas de preservação permanente (APP) e reservas particulares do patrimônio nacional (RPPN).

Com o passar do tempo, a silvicultura nacional começou a adotar práticas que levam a um aumento da capacidade de armazenamento do carbono, como eliminação da queima para limpeza da área de plantio e a adoção do preparo reduzido de área ou cultivo mínimo. Atualmente, abre-se um novo espaço, a partir dos incentivos para implantação de plantios comerciais em áreas degradadas por mau uso agrícola ou áreas antropizadas e inaptas para a agricultura, podem ser considerados uma medida de mitigação das mudanças climáticas (EMBRAPA, 2016).

O setor pode contribuir de muitas formas para a diminuição das emissões de GEE, como exemplo na substituição de aço ou concreto por madeira na construção civil. Essa simples ação pode estocar até 0,5 toneladas de CO_2 por metro quadrado de construção. Casas e móveis de madeira podem manter o carbono fora da atmosfera por até um século ou mais e o uso de resíduos para substituir combustíveis fósseis pode economizar 1,1 toneladas de CO_2 por tonelada de madeira utilizada (EMBRAPA, 2016).

Visto que no Brasil, políticas estão sendo adotadas para a redução das emissões de GEE, o setor florestal pode ter um expressivo papel para a implantação de ações mitigadoras. Sendo assim, em resumo, existem dois tipos de benefícios climáticos que caracterizam o potencial do setor (IBA, 2016):

- I. Remoções de gases efeito estufa, estocando carbono nas áreas de plantio e conservação; e
- II. Evitar emissões por meio do uso de produtos florestais bem manejados ao invés de produtos de base fóssil ou não renovável em diferentes etapas da cadeia produtiva.

É notório que a indústria de base florestal do Brasil possui grande potencial para o combate das mudanças climáticas, considerando a iminente expansão das florestas plantadas e do uso de produtos florestais em diversas cadeias produtivas. Porém, tanto o desenvolvimento quanto a ajuda que o setor florestal pode oferecer, em relação a minimização das mudanças climáticas, dependem da valorização dos produtos florestais renováveis, da construção de políticas públicas e mecanismos de mercado de carbono capazes de internalizar e valorizar economicamente os benefícios climáticos. Inserindo o setor em uma nova economia global de baixo carbono (IBA, 2016).

3.4. Metodologia para Inventário de GEE

O inventário de gases de efeito estufa é a contabilização das emissões de todas as fontes definidas em grupos de atividades associadas a uma empresa. A definição dos limites das atividades é de suma importância para a realização de um bom inventário. Sendo assim, é necessário investir tempo em planejamento para que os resultados obtidos sejam os mais precisos possíveis (BRASIL *et al.*, 2008)

As linhas metodológicas utilizadas para contabilização de emissões de gases causadores de efeito estufa são: *GHG Protocol Corporate Standard (GHG Protocol, 2011)*, as diretrizes de Normatização da ISO 14.064, ambas baseadas na metodologia do IPCC - *The Intergovernmental Panel on Climate Change (SANQUETTA et al., 2013)*.

A metodologia internacional de inventário do IPCC está dividida em seis módulos: energia, processos industriais, uso de solventes e outros produtos, agricultura, uso da terra e florestas e tratamento de resíduos (IPCC, 2006). As principais fontes de emissão que são identificadas no módulo de floresta, energia, processos industriais e tratamento de resíduos são:

- I. Emissão de CO₂ por combustão na produção industrial e uso de energia;
- II. Emissões de CO₂ por variação no estoque de florestas e pela combustão na extração; e
- III. Emissões ou reduções de CO₂ estimadas pelo incremento anual de biomassa das plantações florestais.

As metodologias do IPCC foram aceitas em 1994, sendo que a COP 3 da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (1997) reafirmou que as diretrizes revisadas do IPCC para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa deveriam ser utilizadas como metodologia para a estimativa de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de GEE na avaliação de metas, e obrigatoriedade legal, durante o período de compromisso das partes (GEROMINE, 2004).

Como o CO₂ é responsável por mais de 97% das emissões totais de GEE de fontes móveis, o IPCC considera válido a elaboração de inventários de GEE com a estimativa das emissões baseadas somente em dados relativos ao CO₂. Dessa forma, o cálculo do inventário de GEE pode ser realizado baseando-se em dados de quilometragem anual (consumo global anual) e pelo consumo teórico de combustíveis, em litros por quilômetro, ou a partir de fatores de emissão (menos precisos). Entretanto, o IPCC recomenda o desenvolvimento de fatores de emissões locais para serem utilizados como alternativa adicional no cálculo do inventário de GEE, garantindo maior qualidade na informação.

A primeira etapa para a realização do inventário é a determinação dos limites organizacionais que o irá abranger. Segundo o *GHG Protocol (2017)*, há duas abordagens para a consolidação dos limites organizacionais: controle operacional e participação societária. Sendo assim, empresas que publicam seu inventário com base na participação societária devem incluir as fontes que essas possuem integralmente ou parcialmente, de acordo com a participação em cada fonte. Ao passo que no controle operacional, os participantes devem incluir no inventário 100% das emissões de fontes que estejam sob seu controle, e nenhuma das fontes que não estejam sob seu controle.

Logo, após a determinação dos limites organizacionais, a empresa deve estabelecer os limites operacionais, o que envolve a identificação das emissões associadas com suas operações classificando-as em:

- I. Emissões diretas: provenientes de fontes que pertencem ou são controladas pela organização, como: emissões em caldeiras, veículos da empresa, entre outros; e
- II. Emissões indiretas: provenientes de aquisição de energia elétrica e fontes que não são controladas pela empresa, tais como: transporte terceirizado de

funcionários, transporte de insumos adquirido, transporte de resíduos, entre outros.

2.4.1. Cálculo de Emissão

De acordo com as recomendações do IPCC (1997), todas as emissões de gases de efeito estufa devem ser calculadas como um produto entre um determinado dado de uma atividade por um fator de emissão. Considera-se, portanto, a quantidade de combustível utilizado e a forma como ele é utilizado para a determinação do fator.

Segundo Brasil *et al.* (2008), o dado de atividade é uma medida que expressa a intensidade de uma dada fonte de emissão. Como exemplo têm-se: o consumo de combustível em uma frota de ônibus de transporte de funcionários, a distância percorrida por caminhões trazendo insumos, e assim por diante.

Os fatores de emissão são referentes a quantidade de CO₂ equivalente que é emitida por unidade de uma determinada atividade. Trata-se de uma medida da taxa de emissão, que expressa a intensidade de emissões de GEE para uma atividade, como por exemplo, um fator de emissão médio da combustão da gasolina (2,135 kgCO₂/ m³ de gasolina), podendo variar dependendo da composição do combustível e das condições do motor. No entanto, quando não se dispõe de informações detalhadas do produto, existe a opção de se utilizar fatores disponíveis na literatura. Nessa situação, é importante que se tenha cuidado para empregar fatores o mais próximo da realidade de forma conservadora, ou seja, aqueles que superestimam alguma emissão em razão do desconhecimento de alguma informação (BRASIL *et al.*, 2008).

Para que os resultados dos cálculos sejam confiáveis e permita a comparação entre outros inventários, é necessário a aplicação de princípios (ou premissas) que sustentam a uniformidade do método aplicado, como é previsto pela Norma ISO 14.064 (2007):

- I. Abrangência: todas as emissões e as remoções de GEE de uma empresa devem ser incluídas no inventário;
- II. Consistência: é importante manter o mesmo método de cálculo entre diferentes versões do inventário, permitindo comparações entre inventários de diferentes períodos;

- III. Precisão: as incertezas do inventário devem ser minimizadas até onde for praticável. O “nível praticável” é definido por quem realiza o inventário, considerando normalmente o custo da realização do inventário (BRASIL *et al.*, 2008);
- IV. Transparência: todas as informações devem permitir a tomada de decisão com razoável confiança;
- V. Relevância: trata da justificativa da utilização de um determinado critério, podendo influenciar as conclusões dos tomadores de decisão. É importante no contexto de seleção de fontes, sumidouros de GEE do projeto e cenário de referência do GEE.; e
- VI. Conservação: utilização de parâmetros ou fatores conservacionistas são utilizados para assegurar que as emissões não sejam subestimadas e os sequestros sejam superestimados. Quando métodos menos precisos forem escolhidos, convém que sejam utilizadas as metodologias mais conservadoras.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi desenvolvido na Novo Prisma Agro-Florestal do Grupo Eucatex, com unidades inseridas em 19 municípios do estado de São Paulo, contemplando principalmente as regiões de Salto e Botucatu. As características de clima, solo e a localização de cada área estão especificadas na Tabela 2 a seguir:

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DE CLIMA, SOLO E LOCALIZAÇÃO DA EMPRESA NOVO PRISMA AGRO-FLORESTAL REFERENTES AS MICRORREGIÕES DE BOTUCATU, SALTO E CAPÃO BONITO.

Características	Regiões	
	Botucatu	Salto
Latitude (S)	22°48'	23°22'
Longitude (W)	48°26'	47°18'
Altitude (m)	750	650
Temperatura (°C)		
Média anual	19 °C	20°C
Mínima mensal (média/mês)	15,2°C / julho	15,9°C / julho
Máxima mensal (média/mês)	21,9°C / fevereiro	23 °C / fevereiro
Clima Kppen	Cfa	Cwa
Solos predominantes	LV, LE, RQ	LV, PV, Cb

FONTES: SUMÁRIO PÚBLICO DA EUCATEX FLORESTAL (2017).

Em que:

Clima:

Cwa = Tropical Mesotérmico brando úmido, com 1 a 2 meses de seca;

Cfa = Subtropical Mesotérmico brando úmido, com 1 a 2 meses de seca;

Cfb = Temperado Mesotérmico brando semiúmido, sem seca.

Solo:

LV = Latossolo vermelho amarelo;

LE = Latossolo vermelho escuro;

PV = Podzólico vermelho amarelo;

RQ = Neossolo Quartzarênico; e

Cb = Cambissolo.

4.1. Quantificação das Emissões de GEE:

A coleta de dados das emissões de GEE e os cálculos foram feitos de acordo com o *2006 IPCC Guidelines for National Gas Inventories* (revisado em 2010). As informações referentes a quantidade de combustível gasto no período de um ano foram disponibilizadas pelas empresas prestadoras de serviço das áreas de silvicultura e transporte. Nas atividades próprias (colheita e produção de mudas), as informações levantadas referem-se ao consumo de combustíveis, energia elétrica e resíduos gerados. O estudo foi desenvolvido considerando os dados de emissões de GEE para o período de janeiro a dezembro de 2016, tendo o ano de 2015 como base do inventário.

Para a obtenção dos resultados do balanço de carbono entre as emissões e captura do carbono foram consideradas as informações referentes somente as atividades florestais, desde a obtenção das mudas de *Eucalyptus* spp. até a entrega dos toretes na fábrica de painéis e pisos de madeira.

Neste estudo, foram consideradas as várias idades do plantio de *Eucalyptus* spp. e as principais operações responsáveis pela emissão de CO₂, incorporando as emissões por recursos não renováveis, contemplando as seguintes operações:

- I. Uso de veículos próprios para transporte de pessoal;
- II. Veículos alugados para transporte de pessoal;
- III. Máquinas florestais para a silvicultura;
- IV. Máquinas florestais para colheita e arraste;
- V. Uso de motosserras; e
- VI. Composição veicular para transporte de toras/toretos.

Outras emissões de dióxido de carbono também foram consideradas, advindas de: energia elétrica, resíduos orgânicos (alimentos) e resíduos da colheita. Na Tabela 3 a seguir, estão descritas as informações coletadas por atividade.

TABELA 3 - DADOS COLETADOS EM UMA EMPRESA FLORESTAL PARA O CÁLCULO DE EMISSÕES DE CO₂ POR ATIVIDADE NO PERÍODO DE UM ANO.

Atividade	Consumo
Viveiro de Produção de mudas	Energia Elétrica (Kwh/ mês); Resíduos orgânicos (t/ano); combustível gasto no transporte de funcionários (L/mês ou L/ano); combustíveis de máquinas e tratores (L/mês ou L/ano).
Silvicultura	Combustível gasto pelos tratores nas atividades de preparo de solo, plantio e manutenção (L/ mês ou L/ano); combustível gasto no transporte de funcionários (L/ano).
Colheita	Combustível gasto pelas máquinas florestais: Feller Buncher, Desgalhador Florestal, Forwarder, Garra Traçadora, Skidder e Motosserras (L/ mês); resíduo da colheita (t/ano)
Transporte de toretes	Combustível gasto pela composição veicular (L / mês)
Administrativo	Combustível gasto no transporte se funcionários (L/mês); energia elétrica (Kwh/mês).
Almoxarifado	Combustível gasto no transporte de Insumos (L/ mês);

Para a obtenção dos valores de CO₂ emitidos pelos processos florestais, foi considerado o tipo e a quantidade anual de combustível utilizado em cada fonte, multiplicando-se por um fator, variando conforme o tipo de dado coletado (combustível ou energia elétrica gastos). Esses fatores foram adaptados de uma listagem fornecida pelo IPCC (2010), que permite obter o valor direto de CO₂ eq.. Sendo assim, para o cálculo, utilizou-se a equação:

$$E_{eq.} = V * f \quad (1)$$

Em que:

$E_{eq.}$ = toneladas equivalentes de CO₂;

V = quantidade de combustível (L) ou energia (Kwh); e

f = fator de conversão, sendo: 0,003 para combustível; 0,04 para energia;

Para o cálculo de emissões de CO₂eq. proveniente dos resíduos orgânicos e da colheita, foi necessário primeiramente determinar a quantidade de metano (CH₄) produzida, utilizando um fator de conversão para metano (equação 2).

Posteriormente, efetuou-se o cálculo da emissão de CO_{2eq.} multiplicando o volume de metano pelo fator de conversão do CO_{2eq.}

$$E_{CH_4} = V * f_{CH_4} \quad (2)$$

$$E_{eq.} = V_{CH_4} * f \quad (3)$$

Em que:

E_{CH₄} = toneladas equivalentes em metano;

V = quantidade de resíduo (t);

V_{CH₄} = Volume de metano;

f_{CH₄} = fator de conversão para metano, sendo: 0,5 para resíduo florestal e 0,15 para resíduo alimentar; e

f = fator de conversão correspondente a 0,318 para resíduos.

4.2. Balanço de carbono:

Em 2014, o setor de pesquisa e desenvolvimento da empresa realizou o inventário da biomassa. Na estimativa da biomassa total das árvores, foi considerada a relação entre as partes dos componentes das árvores e a biomassa do tronco, obtida pelo método destrutivo, por apresentar bom grau de confiabilidade dos valores gerados em relação à biomassa real (NEVES, 2000; GATTO *et al.*, 2011). Assim, foram geradas equações de regressão para a estimativa da biomassa de todos os componentes das árvores. Para escolha do melhor modelo de regressão, foi observado a classificação ordenada dos modelos gerados, por meio do coeficiente de determinação (R²) e da significância do modelo.

A biomassa dos componentes das árvores foi convertida em estoque de carbono (C), multiplicando a biomassa encontrada pelo teor de C igual a 0,5 (considerando que 50% da biomassa é carbono), por meio da seguinte expressão (IPCC, 2006):

$$tCO_{2eq.} = W \times C \times \frac{44}{12} \quad (4)$$

Em que:

tCO_{2eq.} = dióxido de carbono equivalente, em toneladas;

W = Volume de biomassa (t) dos componentes das árvores; e

C= teor de carbono constante, igual a 0,5.

A partir do resultado do inventário de biomassa e carbono realizado na empresa, foi efetuada a comparação entre a quantidade de GEE emitido e o incremento médio anual de carbono dos plantios. Obteve-se o balanço geral de emissões a partir da diferença entre a taxa anual de fixação de carbono pelo sumidouro (plantio) e as emissões totais de CO_{2eq}. produzidas no período.

O saldo de balanço de carbono foi obtido pela diferença entre a remoção de CO_{2eq}. pelos plantios e a emissão. A equação a seguir apresenta o cálculo para o saldo:

$$\text{Saldo do Balanço de Carbono} = (\text{Remoção}_{2015} - \text{Remoção}_{2016}) + (\text{Emissão}_{2016}) \quad (5)$$

O esquema a seguir (Figura 4) resume como cada atividade florestal contribui para emissão ou remoção do CO₂ na atmosfera.

FIGURA 4 - ETAPAS DA CADEIA PRODUTIVA DE MADEIRA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA EMISSÃO E REMOÇÃO DE CO₂ EM EMPRESA DE BASE FLORESTAL

							
Produção de Mudas		Silvicultura		Colheita		Transporte	
Mini Jardim Clonal	Casa de Vegetação	Preparo de Solo	Plantio	Corte	Arraste	Carregamento	Transporte
	→ Pátio → Expedição		→ Manutenção		→ Traçamento		
Emissão de CO ₂		Emissão e Remoção de CO ₂		Emissão de CO ₂		Emissão de CO ₂	

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Fixação do carbono pelos plantios

A análise comparativa da quantidade de carbono removidos pelos plantios de eucalipto nos anos de 2015 e 2016 revelou que o total de CO_{2eq} removido em 2016 superou em 9,6% (255.394,22 t CO_{2eq}) as remoções do ano base (2015). Nas Tabelas 4 e 5, estão descritos os valores obtidos de biomassa por classes de idade, bem como a quantidade de CO_{2eq} removido no período de estudo.

TABELA 4 - QUANTIDADE DE CO_{2eq}. REMOVIDOS DA ATMOSFERA NO ANO DE 2015 E VOLUME DE BIOMASSA INVENTÁRIADOS POR CLASSES DE IDADE EM UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL.

Idade	Área total (ha)	Biomassa (t)							CO _{2eq} Removidos 2015 (t)
		Casca	Folhas	Galhos	Lenho	Raízes	Total	t/ha	t/ha
2 a 2,9	4.929,44	16.211,26	17.162,01	17.664,69	146.273,89	30.693,61	228.005,47	46,25	418.010,02
3 a 3,9	3.980,22	18.963,70	9.296,47	13.876,48	187.289,38	28.435,76	257.861,80	64,79	472.746,64
4 a 4,9	5.392,91	32.113,11	15.121,92	18.472,81	339.382,82	42.694,29	447.784,96	83,03	820.939,09
5 a 5,9	3.011,27	21.561,77	8.394,29	10.898,46	261.818,43	27.878,12	330.551,07	109,77	606.010,29
6 a 6,9	783,21	6.273,67	2.328,42	3.178,37	95.298,67	8.837,88	115.917,00	148,00	212.514,50
7 a 7,5	376,31	2.884,31	1.187,30	1.680,81	59.369,47	4.965,91	70.087,79	186,25	128.494,28
Total	18.473,36							Total	2.658.714,83

TABELA 5 - QUANTIDADE DE CO_{2eq}. REMOVIDOS DA ATMOSFERA NO ANO DE 2016 E VOLUME DE BIOMASSA INVENTÁRIADOS POR CLASSES DE IDADE EM UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL.

Idade	Área total (ha)	Biomassa (t)							CO _{2eq} Removidos 2016 (t)
		Casca	Folhas	Galhos	Lenho	Raízes	Total	t/ha	t/ha
2 a 2,9	3.746,32	13.062,32	12.846,42	13.411,00	119.168,66	23.857,89	182.346,29	48,67	334.301,54
3 a 3,9	4.872,76	23.295,16	11.169,80	16.982,14	230.441,77	34.858,44	316.747,31	65,00	580.703,39
4 a 4,9	3.914,80	23.437,41	10.963,02	13.415,85	248.395,66	31.097,41	327.309,34	83,61	600.067,12
5 a 5,9	5.228,85	37.207,39	14.548,58	18.852,20	449.058,99	48.068,67	567.735,83	108,58	1.040.849,02
6 a 6,9	1.131,35	9.047,81	3.354,73	4.572,39	136.174,40	12.682,12	165.831,45	146,58	304.024,33
7 a 7,5	169,75	1.351,96	527,96	738,92	24.783,01	2.141,97	29.543,81	174,04	54.163,65
Total	19.063,83							Total	2.914.109,05

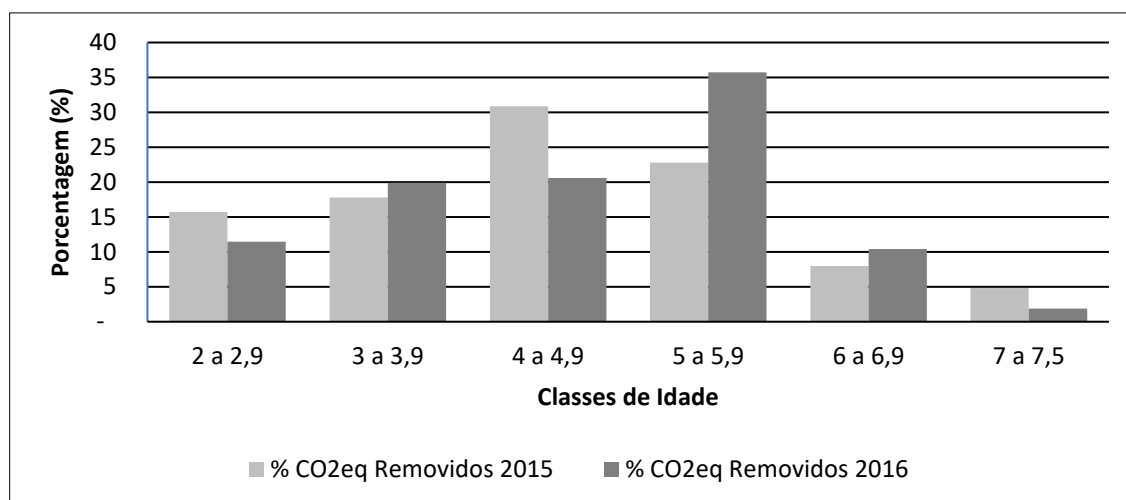
Observando a porcentagem de dióxido de carbono que os plantios removeram nas diferentes classes de idades (Figura 5), a maior remoção no ano de 2015 foi nos plantios entre 4 e 5 anos (31%), superando o ano de 2016 (21%). A maior porcentagem de CO_{2eq} removida foi nos plantios entre 5 e 6 anos em 2016.

Na literatura, muitos trabalhos com diferentes espécies florestais apontam para um maior aumento na quantidade de carbono estocado na biomassa com o aumento da idade da floresta, até um certo limite (SANQUETTA, 2002; GEROMINI, 2004; WATZLAWICK, 2005). Florestas mais antigas dentem ao equilíbrio, reduzindo a fixação do carbono com o passar dos anos.

Muito embora, os resultados observados na fixação do carbono em diferentes classes de idade sejam relevantes é necessária cautela na comparação dos dados nos diferentes anos, visto que a área do plantio mudou de um ano para outro, ocorrendo o acréscimo de 590,47 ha em 2016. Outros fatores que afetam a produção de biomassa, e conseqüentemente influenciam nos resultados das

remoções de CO_{2eq.}, são: a capacidade genética da espécie, a idade, o sítio e a densidade do povoamento. Todos esses fatores, quando possível, devem ser analisados separadamente para um melhor controle dos resultados.

FIGURA 5 - PORCENTAGEM DE CO_{2eq} REMOVIDOS POR CLASSE DE IDADE DE *Eucalyptus* spp. EM EMPRESA DE BASE FLORESTAL, NOS ANOS DE 2015 E 2016.



5.2. Emissões

O estudo aponta que as emissões foram reduzidas em 21,8% no ano de 2016, se comparado ao ano base de 2015 (Tabela 6). O valor total das emissões em 2015 foi de 25.624,65 t de CO_{2eq.}, ao passo que houve redução para 20.036,08 t de CO_{2eq.} em 2016. Em ambos os períodos, o setor de transporte de toretes foi o responsável pelos maiores níveis de emissões, seguido da colheita e silvicultura.

Esse resultado está de acordo com a média nacional de emissões, que aponta como o setor de transportes o maior responsável pelas emissões, seguido pelo setor industrial (BILLER e GOLDEMBERG, 1999). Geromini (2014) também relata em seu trabalho que, analisando as atividades florestais na cadeia produtiva de molduras, o setor de transporte é responsável pelos maiores valores de emissões de CO_{2eq.}

Foi observado um leve aumento das emissões no viveiro de produção de mudas do ano de 2015 para 2016. Esse resultado pode ser explicado, dentre outros fatores, em virtude do acréscimo da área plantada no período. O que resulta em uma maior demanda por mudas e, conseqüentemente, influencia o aumento das emissões. Outro setor que intensificou suas emissões devido a alteração da área

plantada foi a Silvicultura, em razão do maior gasto com combustível das máquinas florestais para as atividades de preparo de solo e plantio.

TABELA 6 - EMISSÕES DE CO₂eq POR SETOR PRODUTIVO DE UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL, CORESPONDENTE AOS ANOS DE 2015 E 2016.

Setor	CO ₂ eq. Emitidos		% CO ₂ eq.	
	2015	2016	2015	2016
Viveiro de Produção de mudas	18,51	35,55	0,1	0,18
Silvicultura	772,92	1.225,55	3,0	6,12
Colheita	6.311,87	5.630,76	24,6	28,10
Transporte de toretes	18.053,38	12.790,34	70,5	63,84
Administrativo	391,00	252,51	1,5	1,26
Almoxarifado	76,99	101,37	0,3	0,51
Total	25.624,65	20.036,08	100	100

Nas Figuras 6 e 7 estão indicadas as porcentagens de emissões de CO₂eq. para os anos de 2015 e 2016, respectivamente:

FIGURA 6 - PORCENTAGEM DE EMISSÕES DE CO₂eq. CALCULADOS PARA O ANO 2015 REFERENTE AS ATIVIDADES DE UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL.

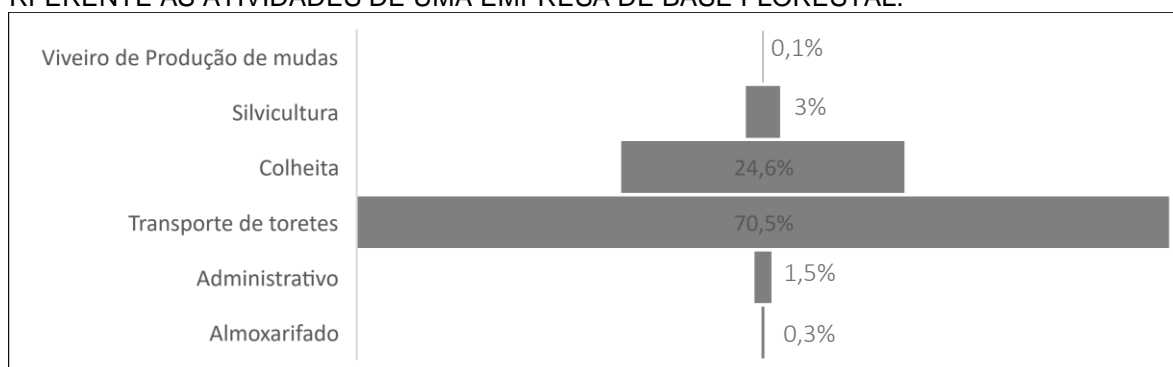
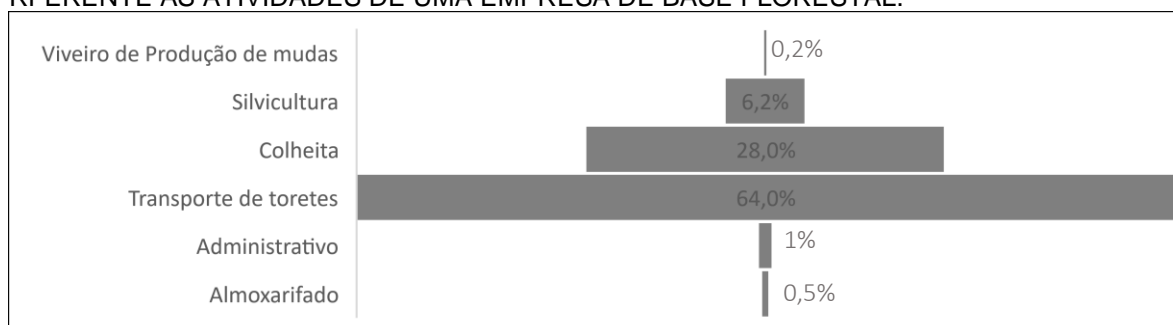


FIGURA 7 - PORCENTAGEM DE EMISSÕES DE CO₂eq. CALCULADOS PARA O ANO 2016, REFERENTE AS ATIVIDADES DE UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL.



Em função da crise econômica, a empresa tomou medidas de redução de custos, assim reduzindo os gastos com combustíveis, impactando diretamente na redução das emissões. Além dessa medida mitigadora, outro fator que justifica a

redução das emissões em 2016 foi a menor demanda de madeira pela indústria, diminuindo a quantidade de material colhido e conseqüentemente transportado para as unidades fabris (Tabela 7).

TABELA 7 - EMISSÕES DE CO₂eq. POR SETOR PRODUTIVO DE UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL, CORESPONDENTE AO ANO 2016.

Dados	Setor	Consumo	Und./ano	CO₂eq. Emitidos (t)
	Silvicultura	375.372,12	L	1.126,12
	Transporte de toretes	4.263.445,00	L	12.790,34
	Transporte de funcionários	84.171,27	L	252,51
	Colheita	1.555.959,39	L	4.667,88
Combustível	Viveiro	8.732,42	L	26,20
	Transporte de Insumo almoxarifado	5.433,00	L	16,30
	Transporte de Insumo fazendas	28.357,32	L	85,07
	Transporte de Insumo Interno	33.145,45	L	99,44
Energia	Consumo em fazendas	232.558,00	Kwh	9,30
Resíduo	Resíduo Colheita	6.055,89	t	962,89
	Resíduo Orgânico (alimentos)	1,01	t	0,05
Total:				20.036,08

5.3. Balanço de Carbono

A análise do balanço final entre as remoções e as emissões da empresa em 2016 revelou que as remoções superaram as emissões em 275.430,5 t de CO₂eq. O saldo final foi positivo, uma vez que a remoção efetiva no ano de 2016, ou seja, o volume removido de 2015 reduzido da quantidade removida em 2016, foi de 255.394,4 t de CO₂eq. No ano base, o saldo apresenta-se negativo, pois o volume de CO₂eq. removido não foi suficiente para anular as emissões de 2015 (Tabela 8).

TABELA 8 - BALANÇO DE CARBONO CALCULADO PARA OS ANOS DE 2015 E 2016, REFERENTE AS ATIVIDADES DE UMA EMPRESA DE BASE FLORESTAL.

	Unidade	2015	2016
Biomassa	t	1.450.208,00	1.589.514,03
Remoção	t CO ₂ eq.	2.658.714,67	2.914.109,05
Remoção efetiva no ano	t CO ₂ eq.	-190.075,54	255.394,38
Emissão	t CO ₂ eq.	25.624,65	20.036,08
Saldo	t CO ₂ eq.	-164.450,89	275.430,47

A Norma ISO 14.064 (2017) estabelece algumas premissas que sustentam a uniformidade do método aplicado no inventário de GEE, como exposto na revisão bibliográfica deste trabalho. Para título de conhecimento, os tópicos a

seguir contemplam as justificativas para os princípios estabelecidos na execução do inventário de emissões da empresa Novo Prisma Agro-Florestal:

- I. Abrangência: o inventário contemplou todas as atividades do setor florestal, desde a produção das mudas de *Eucalyptus spp.* até o transporte dos toretes as unidades fabris, conforme Figura 4.
- II. Consistência: a mesma metodologia foi utilizada para o inventário do ano base (2015) e para o ano de 2016, o que permitiu a comparação entre os dados dos diferentes períodos. Caso a metodologia seja alterado nos próximos inventários, que são realizados anualmente, considera-se o recalcule do ano base, conforme já previsto pela norma ISO e pelas diretrizes do IPCC.
- III. Transparência: as metodologias, bem como os resultados obtidos no inventário, estão disponíveis ao público através da publicação desse trabalho. O plano de manejo da empresa também contempla informações sobre o balanço de carbono.
- IV. Relevância: além de permitir a adequação da empresa a norma ISO 14.001, o inventário torna-se o primeiro passo para contribuição da empresa na mitigação das mudanças climáticas.
- V. Conservação: para a escolha dos fatores utilizados nos cálculos objetivou-se assegurar que as emissões não subestimadas e as remoções não superestimassem o sequestro de CO_{2eq} da atmosfera.

6. CONCLUSÕES

Considerando o balanço entre a captura e as emissões no sistema estudado, conclui-se que 8,8% do CO_{2eq}. removido é efetivamente armazenado pelos plantios (255.394,38 t), contribuindo positivamente para a redução do efeito estufa. Além disso, as emissões de CO_{2eq}. reduziram em 2016 (20.036,08 t CO_{2eq}.), quando comparado ao ano base de 2015 (25.624,65 t CO_{2eq}).

7. RECOMENDAÇÕES

O inventário de gases efeito estufa elaborado na empresa Novo Prisma Agro-Florestal baseou-se no método simplificado do IPCC, com o objetivo de atender as exigências da NBR ISO 14.001. No entanto, caso a empresa almeje participar do mercado de carbono ou deseje que o inventário reflita com exatidão as suas emissões, recomenda-se ações de complementação, tais como:

- Incluir todos os gases internacionalmente reconhecidos como GEE regulados pelo Protocolo de Kyoto, além do dióxido de carbono;
- Incluir outras fontes de emissões dentro do limite de inventário escolhido, tais como: emissões fugitivas (resultado do uso de ar condicionado e refrigeração) e emissões de viagens a negócios;
- Relatar as medidas tomadas para garantir a exatidão da contabilização de emissões, o que pode ajudar a aprimorar o nível de credibilidade e transparência;
- Ajustar modelos alométricos adequados para estimativa da biomassa total e por componentes à cada ocasião do inventário; e
- Coletar amostras de biomassa para determinação do teor de carbono em laboratório, visando estimativas mais acuradas do estoque de carbono, ao invés de utilizar um teor médio de 50%.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14.064: Gases Efeito Estufa**. Rio de Janeiro, 2007.

BILLER, D.; GOLDEMBERG, J. **Efeito estufa e a convenção sobre mudança no clima**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDS), 1999. 25 p. Disponível em: <http://mct.gov.br/upd_blob/0000/346.pdf> Acesso em: 17 de abr. de 2017.

BRASIL, G.H.; SOUZA JUNIOR, P.A.; CARVALHO JUNIOR, J.A. Inventário Corporativos de Gases de Efeito Estufa: métodos e usos. **Revista Eletrônica Sistemas e Gestão**, v.3, n.1, p.15-26, 2008.

EMBRAPA. **Plantações Florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. 100p., 2016. Disponível em:<http://iba.org/images/shared/Biblioteca/Estudo_embrapa.pdf> Acesso em: 01 de abril de 2017.

EUCATEX. **Sumário Público da Eucatex Florestal. Plano de Manejo Florestal 9º Edição**. Disponível em: <http://static.eucatex.mediagroup.com.br/Uploads/Arquivos/Catalogo_Sumario_Publico.pdf>. Acesso em: 22 de abr. 2017.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; LEITE, H.G.; VILLANI, E.M.A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região Centro-Leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.35, n.4, p.895-905, 2011.

GEROMINI, M.P. **Análise Qualitativa do Balanço de Carbono em Empresa do Setor Florestal Destinada à Produção de Molduras**. 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004.

GHG Protocol (2017). **Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. 2ºEd. Disponível em: <<http://ghgprotocolbrasil.com.br/especificacoes-e-notas-tecnicas-do-programa-brasileiro-ghg-protocol/?locale=pt-br>>. Acesso em: 02 de mar. 2017.

GORGENS, E.R.; DE OLIVEIRA, M.L.R.; LEITE, H.G.; BRUM NETO, M.S. Metodologia para Monitoramento do Estoque de Carbono: Revisão e Estudo de Caso. **Biomassa & Energia**, v.2, n.2, p.169-175, 2005. Disponível em: <<http://www.renabio.org.br/08-B&E-010-GorgensEB-2005-p169-175.pdf>>. Acesso em: 14 de ma. 2017.

HIGA, R.C.V.; ZANATTA, J.A.; RACHWALL, M.F. Dinâmica da emissão de gases de efeito estufa e dos estoques de carbono em florestas naturais e plantadas. In: Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, V.17, Misiones, 2016. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/148754/1/2016-RosanaH-JOTEFA-Dinamica.pdf>>. Acesso em: 01 de abr. 2017.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual Ibá 2016**. 100 p. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 20 de abr. 2017.

IPEA – Instituto de Pesquisa Aplicada. **Mudança do Clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios**. Brasília, 2011. 440 p. Disponível em: <http://desafios2.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/livros/livros/livro_mudancadoclima_port.pdf> Acesso em: 20 de abr. 2017.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Scientific Basis Report**, 1997. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_technical_papers.shtml> Acesso em: 02 de mar. 2017.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Mudança do Clima 2007: a Base das Ciências Físicas. Sumário para os Formuladores de Políticas**. 10^o sessão do Grupo de Trabalho I do IPCC, Paris, 2007.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático**. Ginebra: IPCC, 157 p., 2014.

LIMA, MA.; COBRAL, O.M.R.; MIGUEZ, J.D.G. **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. 397 p.

Disponível em: <http://livraria.sct.embrapa.br/liv_resumos/pdf/00071250.pdf>
Acesso em: 01 de abr. 2017.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC)**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas>>. Acesso em: 21 de abr. 2017.

NAE – Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Mudanças Climáticas: Negociações internacionais sobre a mudança do clima**. Brasília, v.1, 2005. 252 p. Disponível em: <http://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/574/2/caderno_mudancasclimatisimpactos.pdf>. Acesso em: 22 de abr. 2017.

NEVES, J.C.L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. 2000. 191 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2000. Disponível em: <<http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/neves,jcl.pdf>>. Acesso em: 18 de mar. 2017.

OLIVEIRA, G.S.; VECCHIA, F. A pecuária em sistemas integrados e as mudanças climáticas. **Revista Opiniões**, p.30-31, 2009. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/gado-de-corte/busca-de-publicacoes/publicacao/1023167/a-pecuaria-em-sistemas-integrados-e-as-mudancas-climaticas>>. Acesso em: 17 de abr. 2017.

PADUA, S.M. O que é REDD e o que pode representar para a conservação das florestas. **Revista Eco online**, 5 p., 2008. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/colunas/suzana-padua/18264-oeco26975/>>. Acesso em: 22 de abr. 2017.

PAINEL FLORESTAL. **Indústria global de base florestal é parte da solução para mudanças climáticas**. 2016. Disponível em: <<http://www.painelflorestal.com.br/noticias>>. Acesso em: 16 de mar. 2017.

SANQUETTA, C.R.; WATZALAWICH, L.F.; BALBINOT, R.M.; ZILIOOTTO, M.A.B.; GOMES, F. dos S. **As Florestas e o Carbono**. Curitiba, 2002. p.141-152.

SANQUETTA, R.C.; FLIZIKOWSKI, L.C.; DALLA CORTE, A.P.; MOGNON, F.; BENEDET MAAS, G.C. Estimativa das emissões de gases de efeito estufa em uma obra de construção civil com a metodologia GHG Protocol. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.16, p.1088, 2013.

SOARES, C.P.B.; LEITE, H.G.; GÖRGENS, E.B. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.711-718, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n5/a06v29n5.pdf>>. Acesso em: 14 de mar. 2017.

TORRES, C.M.M.E.; JACONINE, L.A.G.; SOARES, C.P.; OLIVEIRA NETO, S.N.; SANTOS, R.D.; CASTRO NETO, F. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma floresta estacional semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v.37, n.4, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622013000400008>>. Acesso em: 14 de ma. 2017.

WATZLAWICK, L.F.; SANQUETTA, C.R.; CALDEIRA, M.V.W. Estoque de carbono orgânico e biomassa em *Pinus taeda* L. **Renabio**, v.2, n.1, p.7-17, 2005. Disponível em: <<http://www.renabio.org.br/02-B&E-v2-n1-2005-p7-17.pdf>>. Acesso em: 20 de mar. 2017.