



**GABRIEL DE SOUSA SILVÉRIO NEVES**

**BALANÇO DE CARBONO BASEADO NA APLICAÇÃO DO  
PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL E INVENTÁRIO  
FLORESTAL EM EMPRESA DE CELULOSE**

**LAVRAS-MG  
2023**

**GABRIEL DE SOUSA SILVÉRIO NEVES**

**BALANÇO DE CARBONO BASEADO NA APLICAÇÃO DO PROGRAMA  
BRASILEIRO GHG PROTOCOL E INVENTÁRIO FLORESTAL EM EMPRESA DE  
CELULOSE**

Relatório de estágio supervisionado apresentado ao  
Colegiado do Curso de Engenharia Florestal, como  
parte das exigências para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Florestal.

Prof. Dr. Otavio Camargo Campoe  
Orientador

Dr. Anatoly Queiroz Abreu Torres  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2023**

**GABRIEL DE SOUSA SILVÉRIO NEVES**

**BALANÇO DE CARBONO BASEADO NA APLICAÇÃO DO PROGRAMA  
BRASILEIRO GHG PROTOCOL E INVENTÁRIO FLORESTAL EM EMPRESA DE  
CELULOSE  
CARBON BALANCE BASED ON APPLICATION OF THE BRAZILIAN GHG  
PROTOCOL PROGRAM AND FOREST INVENTORY IN A PULP COMPANY**

Relatório de estágio supervisionado apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Florestal, como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovado em: 13 de agosto de 2023

Prof. Dr. Otavio Camargo Campoe UFLA

Dr. Anatoly Queiroz Abreu Torres UFLA

Me. Lucas Rafael de Souza UFLA

Prof. Dr. Otavio Camargo Campoe  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2023**

## RESUMO

As mudanças climáticas é um assunto recorrente em discussões de organizações, sendo fruto do aumento dos impactos do efeito estufa acontecendo cada vez em maior escala. Uma das formas de minimizar os impactos é reduzir as emissões de carbono e adotar práticas sustentáveis. Diante desta realidade, o inventário de gases de efeito estufa (GEE) desempenha um papel crucial, ao estabelecer metas de redução, fazer escolhas com caráter sustentável. A finalidade de monitorar as emissões é proteger o planeta para as gerações futuras e promover benefício climático. O objetivo deste trabalho, foi realizar a o balanço de carbono de uma empresa de celulose do setor florestal, usando a metodologia do Programa Brasileiro GHG Protocol, para as emissões de carbono, tanto do processo fabril como das atividades florestais. Em conjunto o uso de uma metodologia de inventario florestal para o calcular das remoções de carbono da atmosfera causados pelas florestas. Foram coletados dados de gastos de combustível de todo o processo fabril e do processo florestal, juntamente foi realizado uma quantificação de biomassa dos plantios florestais, posteriormente transformados em tCO<sub>2</sub>e para fazer o balanço. A partir dos dados coletados, foi possível obter os resultados consolidados das emissões dos processos industriais e atividades florestais e dados da dinâmica de florestas nativas e plantadas. Uma vez definido a divisão dos tipos de emissões, antropogênicas e biogênicas, o escopo 1 apresentou 340.941 tCO<sub>2</sub>e. Escopo 2 por ser diretamente ligado a compra de energia apresentou o menor índice de emissões com 2.534 tCO<sub>2</sub>e. Para o escopo 3 o resultado das emissões foi de 126.187 tCO<sub>2</sub>e. As emissões biogênicas apresentaram somente escopo 1 (2.212.117,968 tCO<sub>2</sub>e) e escopo 3 (3.506,073 tCO<sub>2</sub>e). Com relação a dinâmica de florestas, houve uma emissão por retirada de florestas plantadas de 409.510 tCO<sub>2</sub>e e uma remoção relacionada com as florestas nativas de -363.169 tCO<sub>2</sub>e. Os escopos apresentam um alto valor de emissões, sendo necessário otimização e melhorias com a finalidade de descarbonização de processos e aumento do uso de biocombustíveis. Outro destaque é a aplicação de manejo correto das áreas de plantio e preservação das áreas de preservação com intuito de aumentar as remoções de carbono da atmosfera.

**Palavras-chave:** Emissões; engenharia florestal; sustentabilidade; mudanças climáticas, Brasil

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	6
	2.1. Mudanças climáticas .....	6
	2.2. Efeito estufa .....	7
	2.3. Emissões de biogênicas e antropogênicas.....	8
	2.4. Medidas Mitigatorias .....	9
	2.5. GHG Protocol Brasil.....	9
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
	3.1. Descrição do local de estágio .....	11
	3.2. Ferramenta Programa Brasileiro GHG Protocol .....	11
	3.3. Inventario de Remoções de carbono.....	14
	3.3.1. Nativas .....	14
	3.3.2. Plantadas .....	19
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO .....	21
5	CONCLUSÃO.....	25
	REFERÊNCIAS.....	30

## 1 INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas atualmente é uma das principais preocupações mundiais, decorrentes de fatores como emissão de gases de efeito estufa (GEE), retirada de matas nativas, métodos não renováveis de obtenção de energia, uso impróprio e mudança de uso do solo, assim como outros fatores (IPCC, 2018).

Com base em um recente relatório divulgado pelo IPCC (2021), algumas consequências do aquecimento global, como o degelo da Groenlândia e da Antártica, o aquecimento da água dos oceanos e suas conseqüentes alterações na vida marinha, bem como o aumento do nível do mar, já se tornaram irreversíveis devido às emissões passadas.

Desta forma houve a necessidade de uma criação de medidas para quantificação de gases de efeito estufa visando mitigar a mudança climática e mitigar os efeitos causados ao planeta (IPCC, 2014). Durante a COP-27, foram observados avanços significativos no reconhecimento das sinergias entre biodiversidade e clima, destacando a importância dos ecossistemas, incluindo as florestas, para o equilíbrio climático. Esses avanços abrangem tanto a redução das emissões de gases de efeito estufa e a absorção de carbono, que ajudam a mitigar as tendências das mudanças climáticas, quanto a adaptação às conseqüências dessas mudanças (BEDONI, 2022).

Ademais as delimitações impostas durante a COP-27 foi desenvolvido pela ONU, dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que são metas previstas que visam, de forma geral, combater a pobreza, proteger o meio ambiente, o clima e promover a paz e a prosperidade para todas as pessoas, em todos os lugares (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA, 2018). O desenvolvimento desses objetivos causou a adoção de práticas ESG (Ambientais, Sociais e de Governança) por uma empresa consiste em tomar medidas que contribuam para o alcance desses objetivos estabelecidos na Agenda 2030 no Brasil (MARQUES, 2019)

O tema da mitigação dos efeitos estufa, tem ganhado cada vez mais destaque nas pesquisas florestais nos últimos anos. Segundo Higa, Zanatta e Rachwall. (2016), o Brasil possui um grande potencial para implementar ações nesse sentido. No entanto, é fundamental que sejam realizados novos estudos para embasar uma abordagem de gestão florestal mais adequada às mudanças climáticas.

Em contrapartida, o inventário de cálculo de GEE são relatórios em que os países

registram as emissões e remoções de gases de efeito estufa em seus territórios, seguindo apenas diretrizes (ROCHA, 2003). Diversos fatores motivam as empresas do setor florestal a conduzirem estudos sobre o balanço de carbono de suas atividades. Esses fatores incluem considerações políticas, econômicas e estratégicas, bem como a necessidade de cumprir exigências legais e normas estabelecidas pela Ferramenta GHG Protocol (MONZONI, 2008).

Em 2008, após a criação do GHG Protocol e da norma ISO 14064, que se refere à quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa (GEE), surgiu a proposta de adaptar os métodos internacionais de quantificação de emissões de GEE à realidade brasileira por meio do Programa Brasileiro GHG Protocol (MONZONI, 2017). A FGV foi responsável por adaptar a metodologia do GHG Protocol, estabelecendo parâmetros específicos para o monitoramento das emissões de carbono no Brasil, levando em consideração fatores particulares do país. Essa iniciativa, visou fornecer diretrizes mais precisas e coerentes para a mensuração das emissões de GEE no contexto brasileiro (IPCC, 2014).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho, foi realizar um balanço de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitidos e removidos por uma empresa de produção de papel e celulose, com a metodologia do Programa Brasileiro Greenhouse Gas Protocolo, para a quantificação de emissões e o uso de uma metodologia de inventário florestal para a quantificação de remoções de dióxido de carbono da atmosfera.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Mudanças climáticas**

As mudanças climáticas são descritas pelo (ROCHA, 2003), como uma alteração da constituição da atmosfera, causada pelas atividades humanas seja ela de forma direta ou indireta, isto pode ser observado com o monitoramento histórico de períodos distintos.

Os climas são modificados pela variação da temperatura, o que gera uma mudança nos parâmetros meteorológicos, e como resultado o índice e intensidade dos eventos climáticos extremos aumentam (TAMIOTTI et al., 2009). As atividades antrópicas causaram um elevado impacto cujas emissões subiram a um nível de 60%, de 1997 a 2017 (CEBDS, 2018). O IPCC (2018), apontava que estas atividades aumentaram a temperatura global em cerca de 1 °C grau Celsius, com uma previsão de aumento durante os próximos anos de até 1,5 °C.

Em um ambiente empresarial, o tema mudanças climáticas está englobado em uma problemática atual, por apresentar alta complexidade, o que dificulta até mesmo a atribuição de ações a serem realizadas para a mitigação e solução desta problemática.

## **2.2. Efeito estufa**

Segundo Pileggi e Lamia (2020), os estudos sobre o efeito estufa teve início em 1824, quando Joseph Fourier calculou a temperatura efetiva da Terra e demonstrou que ela seria muito mais fria caso não houvesse a atmosfera. De acordo com Manabe e Watherald (1967), o dobro da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera resultaria em um aumento de 2°C nas temperaturas globais. Um ano depois, Mercer (1968) indicou que esse aumento da temperatura atmosférica poderia levar ao derretimento das camadas de gelo da Antártida, resultando no aumento do nível do mar.

A atmosfera possui gases como o CO<sub>2</sub> e o CH<sub>4</sub>, que desempenham um papel fundamental no fenômeno conhecido como efeito estufa. Esses gases têm a capacidade de reter uma parte do calor proveniente do Sol que chega à Terra. Em outras palavras, eles atuam como uma camada impermeabilizante ao redor do planeta, impedindo que o calor escape rapidamente de volta para o espaço. Além disso, é importante destacar que parte dos raios solares que chegam à atmosfera terrestre é absorvida por ela, enquanto cerca de 30% são refletida de volta ao espaço (PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - PBMC, 2012). Segundo Helene et al. (2007), radiação solar absorvida pelos gases atmosféricos, resulta em um aquecimento na superfície da Terra. Esse aquecimento faz com que a superfície libere energia na forma de calor, o que contribui para o aumento da temperatura global do planeta.

De acordo com Braga e Hespanhol (2005), a emissão dos gases de efeito estufa (GEE) como o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e os clorofluorcarbonos (CFCs), tem o mesmo efeito de aumentar a quantidade de energia retida na atmosfera, esses gases absorvem o calor refletido ou emitido pela superfície da Terra, o que resulta consequentemente o aquecimento da atmosfera.



### 2.3. Emissões de biogênicas e antropogênicas

As fontes de poluição atmosférica podem ser divididas em duas categorias: antropogênicas e biogênicas. As fontes biogênicas estão relacionadas à vegetação e são responsáveis pela emissão de diversos tipos de poluentes, sendo os Compostos Orgânicos Voláteis de origem Biogênica (COVB) um destaque nesse aspecto (RICHTER; LARA; ANDREAZZA, 2021). No âmbito de atividades agrícolas, as principais fontes de emissão os microrganismos são emissões de NO<sub>x</sub>, que é um dos gases de efeito estufa listado no protocolo de Kyoto. O gás CH<sub>4</sub> pode ocorrer também em função de atividade microbiana por degradação da madeira, e de forma mais agressiva ao ambiente ocorrem com a queima de madeira em incêndios e por degradação dessa própria madeira (SOUZA; FIGUEIREDO; VENIAL, 2023).

É importante entender e monitorar tanto as fontes antropogênicas quanto as fontes biogênicas de poluição atmosférica, a fim de desenvolver estratégias eficazes de controle e redução dos impactos ambientais. Ao considerar os biocombustíveis, é importante levar em consideração não apenas as emissões biogênicas resultantes da queima do combustível em si, mas também as emissões não biogênicas associadas ao ciclo de vida completo do biocombustível. Isso inclui as emissões provenientes das etapas de cultivo, colheita e transporte da matéria-prima utilizada, bem como as emissões geradas durante o processo de conversão dessa matéria-prima em biocombustível (ALBUQUERQUE; VASCONCELLOS, 2022). A análise abrangente dessas emissões ao longo de todo o ciclo de vida dos biocombustíveis é fundamental para avaliar seu impacto ambiental global e sua eficiência como uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis (O'CONNELL et al., 2019).

Com relação as emissões biogênicas elas são consideradas “zero-emission” com base na ideia que antes de serem usadas como combustível, eram anteriormente removedores de CO<sub>2</sub>e e o relato deve ser feito de forma separada, das emissões antropogênicas em todos os escopos (O'CONNELL et al., 2019).

No que se refere as emissões antropogênicas, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é liberado para a atmosfera de várias fontes, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis, como carvão, gás natural e petróleo. Esses combustíveis são amplamente utilizados na geração de energia,

transporte e processos industriais. Além disso, o CO<sub>2</sub> pode ser liberado durante a decomposição de resíduos sólidos e de materiais biológicos (ALBUQUERQUE et al, 2020).

Existem também processos químicos que contribuem para as emissões de CO<sub>2</sub>, como a uso de agroquímicos, em que o carbono é liberado durante a reação de calcinação do carbonato de cálcio. Essas atividades industriais são fontes importantes de emissões antropogênicas de CO<sub>2</sub>. Por outro lado, o CO<sub>2</sub> é removido da atmosfera por meio de processos naturais, principalmente durante o ciclo biológico do carbono. (UNFCCC, 2001)

#### **2.4. Medidas Mitigatórias**

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) foi um passo importante dado pela comunidade internacional durante a Conferência Rio-92, visando alcançar a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa (GEEs) na atmosfera, a fim de evitar interferências perigosas no sistema climático (BIATO, 2004).

Embora não defina os meios para atingir esse objetivo, a CQNUMC estabelece mecanismos que possibilitam negociações em torno dos instrumentos necessários. A Eco-92, um evento de grande relevância na temática ambiental, resultou em documentos significativos, incluindo a Declaração do Rio de Janeiro sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Declaração de Princípios para Florestas, a Convenção sobre Biodiversidade Biológica, a Convenção do Clima e a Agenda 21 (MOREIRA; GIOMETTI, 2008).

Segundo Da Motta (2011), as críticas surgiram devido à ausência de resoluções vinculativas com prazos e metas específicas para os Estados-membros. Apesar dos avanços limitados na implementação das ações propostas, a Rio-92 não apresentou uma solução política abrangente para os desafios apontados, enquanto os movimentos ambientais e os cientistas envolvidos não possuíam força política suficiente para confrontar os interesses econômicos dos países mais desenvolvidos, baseados no uso intensivo de combustíveis fósseis.

#### **2.5. GHG Protocol Brasil**

O Protocolo de Gases de Efeito Estufa (GHG Protocol) é uma iniciativa colaborativa que envolve empresas, organizações não governamentais (ONGs), governos e outros parceiros, sob a

liderança do World Resources Institute (WRI) e do World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Desde o seu lançamento em 1998, o objetivo principal do GHG Protocol tem sido desenvolver padrões e ferramentas reconhecidos internacionalmente para contabilização e relato de emissões de gases de efeito estufa (GEE), além de promover sua adoção global, visando a construção de uma economia com baixa emissão de carbono em todo o mundo (WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI, 2010).

Em 2008 visando a necessidade de aplicação de uma metodologia com especificações regional para o Brasil o Programa Brasileiro GHG Protocol (PBGHGP) foi desenvolvido através de uma parceria entre o FGVces (Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas) e o WRI (World Resources Institute), em apoio com o Ministério do Meio Ambiente, o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), o World Business Council for Sustainable Development (WBSCD) e 27 Empresas Fundadoras. (MONZONI, 2008).

Os princípios estabelecidos por Monzoni (2008) para a realização de um inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) são claramente definidos como fundamentais. Eles são definidos como relevância, integralidade, consistência, transparência, exatidão.

O objetivo principal do programa é criar uma metodologia onde as empresas, organizações públicas, universidades e organizações não governamentais operantes no Brasil, pudessem elaborar seus inventários, com uma base de identificação de cálculos, relatos empresariais padronizados. Juntamente esses fatores acarretam um meio de engajamento e capacitação técnica e institucional, tornando assim possível uma divulgação pública das informações dessas entidades, com maior nível de confiabilidade e padronizada, de forma acessível ao público (CETESB, 2009).

A ferramenta de cálculo é uma planilha no Microsoft Excel que é atualizada anualmente para refletir a realidade brasileira. Ela contém todos os fatores de emissão, fatores variáveis (como percentual de etanol na gasolina, percentual de biodiesel no diesel e fator de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN) e equações de emissões. A atualização anual da ferramenta considera as legislações relevantes e os valores dos fatores de conversão (YABUSHITA, 2013).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Descrição do local de estágio**

A Celulose Nipo-Brasleira S.A. (CENIBRA) é uma empresa que foi fundada em 13 de setembro de 1973. Fica localizada no leste de Minas Gerais no Vale do Rio Doce, no município de Belo Oriente. A empresa tem como produto final a celulose branqueada de fibra curta, apesar de estar instalada no Brasil, é uma empresa de capital fechado controlada pela Japan Brasil Paper and Pulp Resources Development Co., tendo como sua principal acionista Oji Holdings Corporation.

A CENIBRA. está presente em 54 municípios, com extensão territorial de 254.070,53 ha, possui em seu domínio territorial três regionais de manejo florestal. Guanhães Nova Era e Rio Doce, sendo seu plantio de eucalipto, com sua produção final de celulose de 1.200.000 t/ano.

. Para distribuição do produto apresenta uma parceria em posse de um terminal portuário especializado na expedição de celulose sendo sua porcentagem de 49%, instalações fabris em Belo Oriente e um escritório em Belo Horizonte de caráter corporativo e comercial.

#### **3.2. Ferramenta Programa Brasileiro GHG Protocol**

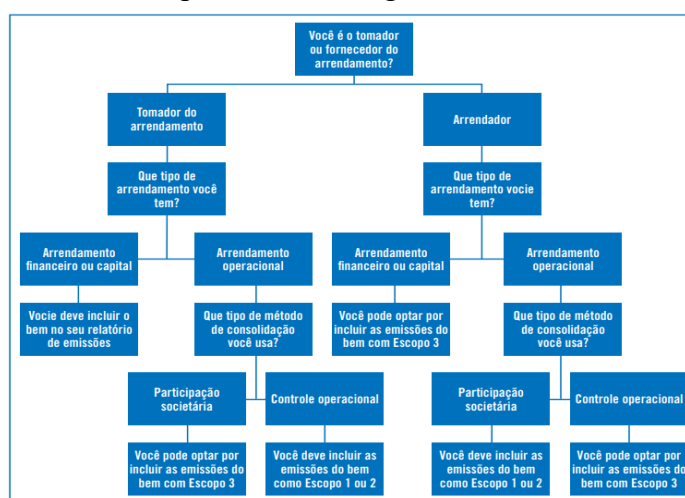
A ferramenta dispõe de etapas antes do processo do cálculo de emissões para que seja feito corretamente o relato das emissões:

- Para estabelecer metas de redução de emissões ou para se ter um parâmetro de como está a relação anual de emissões de GEE, é necessário estabelecer um ano base. No entanto isso pode ser um fator de complicação, é necessário estabelecer outros parâmetro de comparação entre os anos. Isso ocorre de fatores como estruturas organizacionais e limite organizacionais variam fazendo assim uma comparação injusta entre os anos.
- Delimitação de limites operacionais representado na figura 1 é um dos principais fatores para a ferramenta apresentar uma consistência de performance. Nesta etapa é necessário definir os processos, impacto local, atividades e serviços
- Ao estabelecer os limites do contexto organizacional do Programa Brasileiro GHG Protocol, é necessário levar em consideração a natureza das atividades realizadas, a localização geográfica, os setores industriais envolvidos, o propósito da informação e os

usuários da informação. Esses elementos são essenciais para a compreensão completa do programa e sua aplicação efetiva.

- Estruturas organizacionais, como, gerenciamento de atividades operacionais, propriedades entre outros elementos.
- Quando se fala de limites geográficos, é necessário estabelecer a amplitude de ação do negócio.

Figura 1. Determinação dos requisitos para elaboração de inventário para bens em regime de arrendamento



Fonte: Monzoni (2008)

Com essa base de informações bem definidas a divisão de escopos são facilitadas por estarem envolvidas nos critérios acima citados, mais especificamente estão inseridos nos limites organizacionais, e para definição de cada tipo de emissão dentro dos escopos é necessário ter informação de todo o seu processo. A divisão de cada escopo está representada na figura 2 e dividido na tabela 1.

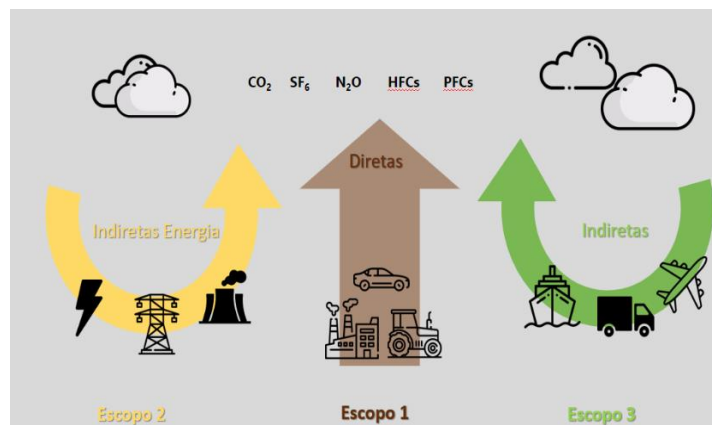
A metodologia apresentada no Programa Brasileiro GHG Protocol divide as emissões em três grandes escopos (WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI, 2010):

Escopo 1: é contemplado neste escopo as emissões onde a empresa tem o domínio sobre a emissão, como por exemplo combustão de veículos e combustão de processos fabris onde há emissão de gases. As emissões deste domínio são caracterizadas como emissões diretas por serem provenientes de domínio da empresa. Neste escopo deve ser relatado separadamente a emissão proveniente de fontes biogênicas e gases que não estão presentes no protocolo de Kyoto.

Escopo 2: Neste escopo as emissões são classificadas como indiretas. São emissões provenientes de fora do domínio da empresa, ou seja, é emitida no local de produção e são classificadas pela compra de energia independente da forma de produção. A contabilização das emissões de Escopo 2 possibilita a avaliação das oportunidades e riscos relacionados à variação nos custos de energia e emissões de gases de efeito estufa (GEE). Isso permite uma análise mais precisa dos impactos financeiros e ambientais decorrentes dessas mudanças.

Escopo 3: Este classifica apresenta relato opcional em relatórios, por se tratar de emissões onde a empresa não apresenta domínio sobre as emissões. Essas emissões são consequências das atividades da empresa, mas ocorrem em fontes que estão fora do controle ou não pertencem à empresa. Isso inclui, por exemplo, as emissões provenientes da cadeia de suprimentos, transporte de produtos, uso e disposição final de produtos, entre outros. Ao considerar o Escopo 3, a empresa tem uma visão mais abrangente de seu impacto ambiental, mesmo em atividades que ocorrem fora de suas operações diretas.

Figura 2. Divisão dos escopos baseado nos tipos de emissões.



Fonte: Autor (2023)

Tabela 1. Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários.

Escopos	Categoria escopos
E1	Combustão estacionário, combustão móvel, emissões fugitivas, resíduo sólido, efluentes
E2	Energia elétrica (Escolha de Compra),
E3	Transporte & distribuição (Upstream), resíduos sólidos da operação, efluentes gerados na operação, viagens a negócios, deslocamento casa-trabalho, transporte & distribuição (Downstream)

Fonte: Autor (2023)

A consolidação dos dados foi feita a partir da coleta dos dados de domínio da empresa por meio de um software de gestão de dados (SAP). Onde cada setor faz o cadastro do combustível utilizado em cada operação e processos que ainda não são automatizados a coleta foi realizada por meio de planilhas padronizadas.

### 3.3. Inventário de Remoções de carbono

#### 3.3.1. Nativas

##### 3.3.1.1. Caracterização das áreas

O monitoramento de parcelas permanentes é realizado nas três regiões diferentes do Vale do Aço: região das cidades de Antônio dias Floresta Estacional Semidecidual Montana, Ipaba Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Bioma Mata Atlântica., Sabinópolis Floresta Estacional Semidecidual Montana (VELOSO; RANGEL FILHO; SILVA, 1991; IBGE, 1993).

As unidades amostrais (parcelas) foram instaladas em 2002 e são monitoradas a cada 5 anos, com avaliações em 2007, 2012 e 2017. Segue nas figuras 3, 4 e 5 a representação da distribuição das parcelas nos locais de avaliação:

Figura 3. Localização e identificação das parcelas permanentes, Projeto Lagoa do Piauí, município de Caratinga – MG.



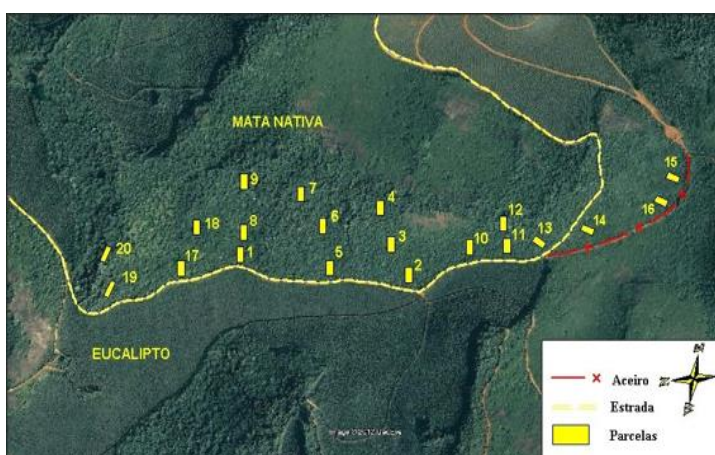
Fonte: Cenibra (2022)

Figura 4. Localização e identificação das parcelas permanentes, Projeto São José, município de Coronel Fabriciano - MG.



Fonte: Cenibra (2022)

Figura 5. Localização e identificação das parcelas permanentes, Projeto Cachoeira das Pombas, município de Guanhães - MG.



Fonte: Cenibra (2022)

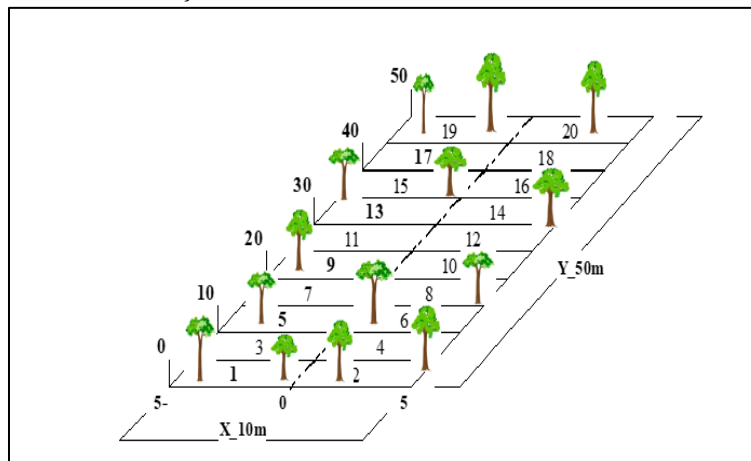


### 3.3.1.2. Amostragem e coleta de dados

No campo, foi realizada a coleta de dados utilizando parcelas retangulares de área fixa de 10 x 50 metros (0,05 hectares). O registro das coordenadas geográficas foi feito no ponto central de cada parcela. Para demarcar as extremidades da parcela e a linha central, foi utilizado canos de PVC de 1 metro, cravando piquetes a cada 10 metros ao longo da linha central. Com o objetivo de facilitar a localização das árvores em futuros monitoramentos e campanhas de coleta de material botânico, dividimos cada parcela em 20 setores de inventário de 5 x 5 metros, demonstrados nas figuras 6 e 7. Em todas as árvores com  $DAP \geq 5$  cm foram realizadas as seguintes avaliações sucessivas:

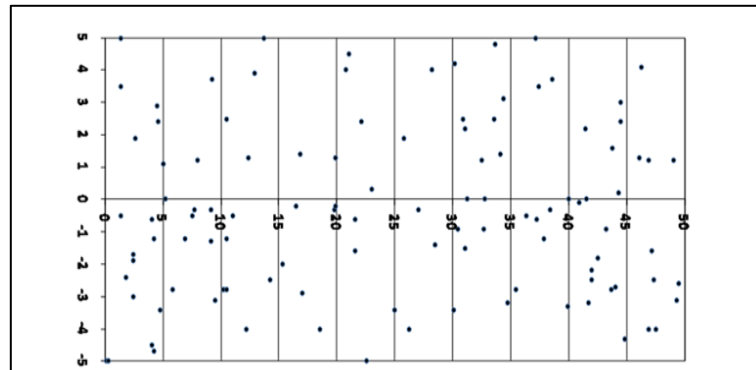
- Nome científico das espécies.
- Circunferência a altura do peito (1,30 m)
- Altura total comercial

Figura 6. Croqui da parcela de inventário utilizado para alocação das árvores mensuradas.



Fonte: Cenibra (2022)

Figura 7. Croqui da parcela de inventário utilizado para alocação das árvores mensuradas.



Fonte: Cenibra (2022)

### 3.3.1.3. Taxa de ingrowth, mortalidade, crescimento

As estimativas de ingrowth, mortalidade e crescimento foram obtidos seguindo a metodologia descrita por Ferreira (1997) e Gaspar (2008). A partir dos dados coletados em nível de árvore individual nos inventários realizados em 2002, 2007, 2012 e 2017, foram obtidas, por espécie, as estimativas de ingrowth, mortalidade, crescimento periódico médio anual em diâmetro (IPA), crescimentos periódico bruto e líquido em área basal e volume (HUSCH; MILLER; BEERS, 1993) e taxa de mudança (JARDIM, 1986).

### 3.3.1.4. Estrutura diamétrica

A distribuição diamétrica é utilizada para caracterizar tipologias vegetais, estágios serais ou sucessionais, estados de conservação, regimes de manejo, processos de dinâmicas de crescimento e produção, grupos ecológicos de espécies, grupos de usos e, sobretudo, como verificador de sustentabilidade da comunidade. As análises da estrutura diamétrica contemplaram ainda as distribuições da área basal ( $m^2$  e  $m^2 \cdot ha^{-1}$ ) e do volume ( $m^3$  e  $m^3 \cdot ha^{-1}$ ), respectivamente, por espécie e por classe de diâmetro.

O volume total com casca da árvore individual foi obtido pelo emprego da seguinte equação ajustada para mata secundária em MG (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC, 1995):

$$V_{tcc} = 0,000074230 * DAP^{1,707348} * Ht^{1,16873}$$

$$R^2 = 93,30\%$$

em que:

$V_{tcc}$  = volume total com casca, em m<sup>3</sup>;

DAP= diâmetro de tronco medido a 1,30 m do solo;

Ht = altura total do tronco, em m; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação.

### 3.3.1.5. Análise dos dados

A partir dos volumes (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>) obtidos nos inventários florestais contínuos (IFC1, IFC2, IFC3 e IFC4) foram calculados os crescimentos e os incrementos periódicos bruto e líquido, considerando-se, em ambos, a inclusão e a exclusão do ingrowth, utilizando as seguintes expressões adaptadas de Husch, Beers e Kershaw jr. (2003).

$$C_b = C_2 - C_1 + M - I;$$

$$C_{bi} = C_2 - C_1 + M; C_l = C_2 - C_1 - I;$$

$$C_{li} = C_2 - C_1$$

em que

M = mortalidade;

I = ingrowth;

C<sub>2</sub> = estoque de carbono no final do período de medição;

C<sub>1</sub> = estoque de carbono no início do período de medição;

C<sub>b</sub> = crescimento periódico bruto, excluindo o ingrowth;

C<sub>bi</sub> = crescimento periódico bruto, incluindo o ingrowth;

C<sub>l</sub> = crescimento periódico líquido, excluindo o ingrowth; e

C<sub>li</sub> = crescimento periódico líquido, incluindo o ingrowth.

Para atingir o objetivo de determinar o estoque e os crescimento em carbono foram realizados os passos descritos a seguir, adaptados de Souza et al. (2012):

Para cada projeto foram estimados, em cada ocasião de medição, o volume total com casca; Após o passo 1 foram estimados os seguintes parâmetros: V2 = volume total ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) no final do período; V1 = volume total ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) no início do período; I = ingrowth ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) no período; M = mortalidade ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) no período; Cbi = crescimento bruto, incluindo o ingrowth; Cb = crescimento bruto, excluindo o ingrowth; Cli = crescimento líquido, incluindo o ingrowth; e CI = crescimento líquido, excluindo o ingrowth, por espécie e para os grupos ecológicos.

A partir dos crescimentos em volume obtidos nos passos anteriores procedeu-se a estimativa de biomassa total, multiplicando os parâmetros de volume e crescimento pela densidade básica da madeira (DBm).

$$BT = VT * DBm$$

$$CT = BT 0,5$$

Em que

BT= biomassa total;

VT = volume total

DBm = densidade básica da madeira;

CT = carbono total

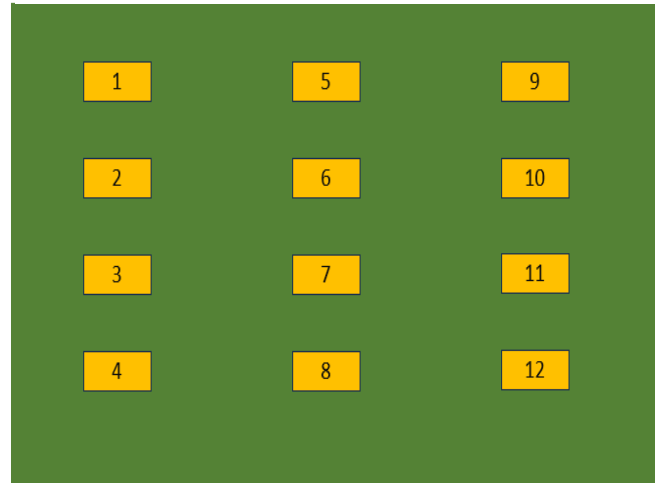
### 3.4. Plantadas

Para a melhor estimativas de volume de biomassa e conseqüentemente de carbono estocado nas florestas plantadas, é feito um inventário pré-corte e um inventário contínuo, juntamente com uma cubagem rigorosa.

As parcelas são lançadas de forma sistêmica, representado esquematicamente na figura 8, sendo a distribuição geralmente uma a cada 3 ha ou até menos dependendo da precisão desejada no inventário. O padrão usado é 5 % de erro máximo em áreas próprias.

Visando o melhor aproveitamento dos processos de medição, o inventário que é levado em conta é o inventário florestal pré-corte, por ser o último a ser feito com um prazo de até 3 meses antes do corte.

Figura 8. Representação do lançamento de parcelas sistemáticas.

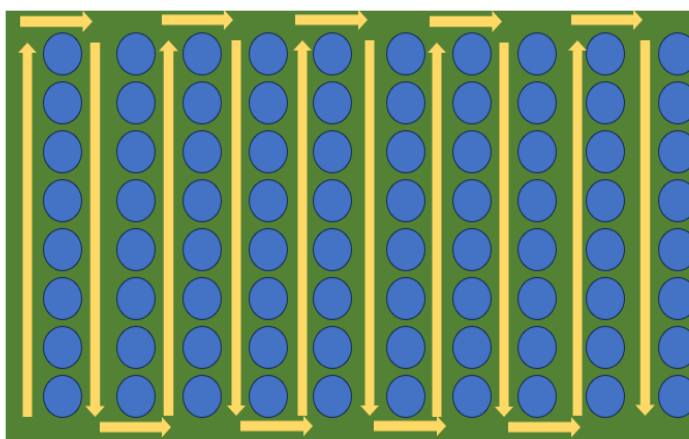


Fonte: Autor (2023)

Na amostragem sistemática, é amplamente aceito e consensual que cada unidade amostral é distribuída de forma mais equitativa, garantindo a isenção de tendências pessoais em sua escolha e sendo menos onerosa na sua alocação. Essa abordagem é respaldada por Husch (1971) e é considerada uma estratégia eficiente para obtenção de dados representativos em pesquisas e estudos. A amostragem sistemática permite uma seleção regular e sistemática das unidades de interesse, contribuindo para uma maior confiabilidade dos resultados obtidos. Além disso, essa técnica oferece a vantagem de ser de fácil implementação e compreensão, sendo amplamente utilizada em diversos campos da pesquisa científica.

Dentro das parcelas, o percurso deve seguir o sentido das linhas de plantio, começando pela primeira árvore da linha e percorrendo até a última árvore. Em seguida, deve-se voltar pela próxima árvore à direita, criando um padrão de movimentação em zigue-zague oposto ao anterior. Essa abordagem de caminhar em zigue-zague é recomendada para garantir uma cobertura completa e sistemática das parcelas durante a coleta de dados, como é mostrado na figura 9 (CURITIBA, 2016).

Figura 9. Caminhamento de medição na parcela do inventário.



Fonte: Autor (2023)

#### 4 ANÁLISE E DISCUSSÃO

As emissões biogênicas representam a maior parte das emissões, mas por serem emissões de fonte renovável, deve ser descrita de forma separada, e isso não é diferente para os processos fabris que utilizam biocombustíveis como por exemplo biodiesel, álcool e biomassa. No caso do processo fabris isso representa a maior parte das emissões, como mostrado na tabela 2, por haver uma reutilização de resíduos gerados na empresa serem reaproveitados na forma de energia, isso pode ocorrer por meio da combustão dos biocombustíveis, reações químicas exotérmicas, entre outros processos. Da mesma forma, representado na tabela 3 fica evidente que isso ocorre nas atividades florestais.

Tabela 2. Resultado de emissão biogênicas industrial por escopo.

Escopo	Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente
E1	2.157.160,82
E3	1.925,48

Fonte: Autor (2023)

Tabela 3. Resultado das emissões biogênicas nas atividades florestais

Escopo	Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente
E1	464.467
E3	1.581

Fonte: Autor (2023)

Os resultados da tabela 4, diz respeito sobre as emissões biogênicas provenientes da queima da fonte florestal. Podemos observar que o escopo 2 não foi inserido por não apresentar emissões nesta parte analisada referente as emissões biogênicas. Referente ao escopo 1, as emissões são baixas comparadas com o total de emissões biogênicas da empresa. Os combustíveis renováveis representam 11,68% das emissões do escopo, já os incêndios representam a maior parte representando 88,32%. O escopo 3 representa 2,83% das emissões biogênicas de queima da parte florestal, representando uma parte pequena das emissões.

Tabela 4. Resultado de emissão biogênicas florestal baseada na queima por escopo.

Escopo	Tipo de Combustível	Toneladas de CO <sub>2</sub>
		equivalente
E1	Combustíveis renováveis	6.421
	Incêndios	48.535
E3		1.581

Fonte: Autor (2023)

A tabela 5 representa a dinâmica das florestas plantadas. As emissões biogênicas são quando são quantificadas pelo corte das árvores no ano de amostragem. É caracterizado como emissão pelo fato de quando a indivíduo ainda estar vivo é um organismo fotossintetizante gerando remoções de carbono do ambiente, após o corte ele se torna apenas matéria orgânica dispersa no ambiente, sendo assim então contabilizado como emissões. Já no caso das remoções é a quantificação das plantações durante sendo um ano inventariado no caso o de 2022 subtraído do ano anterior 2021, isso gera um benefício climático contabilizado como remoções por ainda estar realizando remoções do ambiente.

Tabela 5. Dinâmica de carbono por uso do solo, mudança de uso do solo e Florestas (LULUCF).

Emissões florestais	Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente
Emissões biogênicas LULUCF	409.510
Remoções biogênicas LULUCF	-363.169

Fonte: Autor (2023)

O resultados das emissões antropogênicas totais de fonte florestal estão relatadas na tabela 6. Podemos observar que o escopo E1 é responsável pela maior quantidade de emissões, com um valor de 90.364,96 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente representando 85,33% das emissões antropogênicas. Em contrapartida as emissões do escopo 2 estão muito abaixo e não são expressivas ficando abaixo de 1% e representatividade.

Tabela 6. Resultado de emissões antropogênicas florestal por escopo

Escopo	Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente
E1	90.365
E2	27
E3	15.503

Fonte: Autor (2023)

A mesma dinâmica de emissões por escopo ocorre no resultado industrial de emissões antropogênicas retratado na tabela 7. O escopo 1 apresenta o maior peso com 68,9% das emissões sendo mais que o dobro do escopo 1 e 2 somados. O escopo 2 apesar de ser um pouco mais representativo ainda continua abaixo de 1%. O escopo 3 neste caso foi maior em porcentagem que na parte florestal sendo 30,4% das emissões antropogênicas industrial.

Tabela 7. Resultado de emissões antropogênicas industrial por escopo.

Escopo	Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente
E1	250.576
E2	2.506
E3	110.684

Fonte: Autor (2023)



O compilado de informações por escopo da fonte industrial e florestal é representado na tabela 8. Como representado o escopo 1 em todas as ocasiões apresentaram um valor maior que o escopo 2 e 3, isso se dá pôr a empresa apresentar mais processo dentro do seu limite organizacional do que fora, no entanto, outro fator muito importante é o controle de informações bem estabelecido pela empresa. Quando é referente ao escopo 2 por apresentar uma forma de aproveitar seus resíduos para gerar energia boa parte dos processos não necessitam da compra de energia, e como estabelecido por Monzoni (2008), a contabilização das emissões de energia gerada a maior parte é relacionada ao produtor da energia, que no caso é externa.

Tabela 8. Resultado consolidado florestal e industrial de emissões antropogênicas por escopo.

Escopo	Toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente
E1	340.941
E2	2.534
E3	126.187

Fonte: Autor (2023)

Visto uma vez estes altos valores, há uma necessidade de mitigação relacionadas aos escopos. Aos de domínio da empresa, há uma necessidade de implantação de equipamentos com uso de biocombustíveis e otimização de processos para futuramente apresentar uma menor dimensão das emissões.

Referente ao escopo 2, o uso de resíduos para geração de energia é um caminho que se mostra eficiente, sendo necessário mais estudo em processos que possam utilizar desta metodologia e diminuir a compra de energia externa.

Para o escopo 3, a dinâmica de mitigação destas emissões é dada de forma diferente com a conscientização de parceiros, com a ideia de uso de biocombustíveis ou uso de equipamentos elétricos, diminuindo processos desnecessários para diminuir a taxa de emissão de gases de efeito estufa.

No ano inventariado as emissões foram superiores as remoções causadas pela dinâmica das florestas, onde se colheu mais do que foi plantado. As emissões biogênicas dos processos não são contabilizadas por serem de fontes renováveis, já as emissões biogênicas de uso do solo, mudança

de uso do solo e florestas são contabilizadas por se tratar de uma vertente florestal entrar no balanço de carbono. O balanço de emissões e remoções gerais da empresa está representado na tabela 9.

Tabela 9. Emissões e remoções totais da empresa consolidado.

		tCO <sub>2</sub> e
Escopo 1	Emissões antropogênicas	340.941
	Emissões biogênicas LULUCF	409.510
	Remoções biogênicas LULUCF	- 363.169
	Total E1	387.282
	Escopo 2	2.534
Sub-total E1+E2 (Balanço entre emissões e remoções)		389.815
Escopo 3		126.187
Balanço total - E1 + E2 + E3		516.003

Fonte: Autor (2023)

## 5 CONCLUSÃO

Estudo de apontamentos é fundamental para observar problemas e promover a melhoria contínua das atividades. Observa-se que a escala das emissões proporciona uma necessidade de uma redução de emissão de GEE em todos os processos. Para isso medidas como o uso de biocombustíveis, alteração de equipamentos com menores emissões, uso de fontes renováveis para obter energia e criação de parceria com empresas terceirizadas, devem ser implantadas

Além disso, é preciso destacar que 409.509,61 tCO<sub>2</sub>e são decorrentes de emissões biológicas do setor de Uso do Solo, Mudança do Uso do Solo e Florestas (LULUCF). São denominadas emissões, no entanto é somente o corte a retiradas das arvores de sua função ao realizar fotossíntese, não ocorre a emissão ao ambiente e sim uma estocagem deste em forma de biomassa na madeira, ainda sim mantendo este CO<sub>2</sub>e fora da atmosfera. As matas nativas complementam o benefício da retirada de CO<sub>2</sub>e permanente mente, isso é quantificado pelas remoções que foram de -363.169,41 tCO<sub>2</sub>e. Isso demonstra a importância de implementar estratégias sustentáveis de manejo e conservação florestal para reduzir as emissões desse setor.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE FILHO, A. J. C.; VASCONCELLOS, V.R.H. **Previsão de biocombustíveis no aeroporto do Recife**. 2023. 47 f. TCC (GRADUAÇÃO) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2022.

ALBUQUERQUE et al. **Greenhouse gas emissions associated with road transport projects: current status, benchmarking, and assessment tools**. Transportation Research Procedia, v. 48, 2020.

BIATO, M.F. Convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima. **Revista de Informação Legislativa, Brasília, a**, v. 42, p. 233-252, 2004.

BRAGA, B; HESPANHOL, I. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

**CENIBRA**, Celulose Nipo-Brasileira S/A. disponível em < [Quem Somos - CENIBRA](#) >

CETESB. Cartilha Online: **Programa Brasileiro GHG Protocol Guia para a elaboração de inventários corporativos de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE)**. 2ª ed - São Paulo: SP. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2009.

CURITIBA. Edital de concessão florestal ifpr/concessão/013/2016 **Manual de inventário florestal**. Curitiba: Instituto de florestas do Paraná, ano 1, p. 15, 2016.

DA MOTTA, R.S. A política nacional sobre mudança do clima: aspectos regulatórios e de governança. **Mudança do clima no Brasil**, p. 31, 2011.

FERREIRA, R. L. C. **Estrutura e dinâmica de uma floresta secundária de transição, Rio Vermelho e Serra Azul de Minas, MG**. Viçosa, 1997. 208 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC. **Determinação de equações de volumétricas aplicáveis ao manejo sustentável de florestas nativas no estado de Minas Gerais e outras regiões do país.** Belo Horizonte: FAPEMIG/CETEC, 1995. 295 p.

GASPAR, R. O. **Dinâmica e crescimento do estrato arbóreo em áreas de mata atlântica, na região do Vale do Rio Doce, MG.** 2008. 177f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

HELENE, M. E. M.; BUENO, M. A. F.; GUIMARÃES, M. R. F. ; PACHECO, Maria R. ; NUNES, E. **Poluentes atmosféricos.** 1. ed. São Paulo, SP: Scipione, 2007. 63 p

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, 17., Misiones, Anais..., Misiones, 2016. p. 17-19.

HUSCH, B. **Planning a Forest Inventory.** FAO Forest Products. Roma.1971.

HUSCH, B.; BEERS, T. W.; KERSHAW JR., J. A. **Forest mensuration.** 4.ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 443p.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. **Forest mensuration.** 3. ed. Malabar: Krieger Publishing Company, 1993.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA. (2018). **Agenda 2030: ODS – Metas Nacionais dos objetivos de desenvolvimento sustentável.** Brasília: IPEA, 2018

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: synthesis report.** Geneva: IPCC, 2014. 151p.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Strengthening and implementing the global Response.** Global warming of 1.5°C. Cambridge: Cambridge University Press., 2018.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). **Climate change 2021: the physical science basis**. Cambridge: Cambridge University Press.

JARDIM, F. C. S. **Taxa de regeneração natural na floresta tropical úmida**. Acta Amazônica, v.16/17, n. único, p. 401- 410, 1986.

MANABE, S.; WETHERALD, R.T. **‘Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity** J. Atmos. Sci., vol. 24, no. 3, pp. 241–259, May 1967.

MARQUES, M. F. C. **Agenda 2030 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU – Desafios ao Desenvolvimento Tecnológico e à Inovação Empresária**”. 2019. Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia da Qualidade e Ambiente. Lisboa.

MERCER, J. H. **Antarctic ice and Sangamon sea level**, In: International Association of Scientific Hydrology Symposia, 1968, p. 218-223.

MONZONI, M. Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol: **Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. 2. Ed. 2008.

MOREIRA, H. M.; GIOMETTI, A. B.. **Protocolo de Quioto e as possibilidades de inserção do Brasil no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo por meio de projetos em energia limpa**. Contexto internacional, v. 30, p. 9-47, 2008.

O’CONNELL *et al.* (2019). **Considerations on GHG emissions and energy balances of promising aviation biofuel pathways**. Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 101, 2019. Pages 504-515.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). Base Científica das Mudanças Climáticas. **Sumário executivo do volume 1**. Rio de Janeiro, 2012. 34 p.

PILEGGI, S. F.; LAMIA, S. A. **Climate change timeline: an ontology to tell the story so far.** IEEE, 2020

RICHTER, M. F.; DE LARA, D. M.; ANDREAZZA, R.C. L.. **Educação Ambiental e Gases do Efeito Estufa (GEE): uma abordagem do papel do metano para Educação Básica.** Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA), v. 16, n. 5, 2021.

ROCHA, M. T. **Aquecimento Global e o mercado de carbono: uma aplicação do modelo CERT.** 2003. 214 f. Tese (Doutorado) - Curso de Economia Aplicada., Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SENRA, A.L.P. **Proposta de um inventário de emissões de gases de efeito estufa no campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto.** 2023.

SOUZA, M.C.R.; FREITAS, B.R.; FIGUEIREDO, A.P.S.; VENIAL, H.J., CORRADINI, P.G., Souza, M.O. **A Influência dos Compostos Orgânicos Voláteis nas Mudanças Climáticas: Uma breve revisão.** Rev. Virtual Quim., 2023, no prelo, 1-14.

SOUZA, R. A.; TELLES, T. S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M.; TAVARES-FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F. **Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil.** Agriculture Ecosystems and Environment, Amsterdam, v. 155. 2012.

TAMIOTTI *et al.* **El comercio y el cambio climático. Informe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y de la Organización Mundial del Comercio,** 2009

UNFCCC. **Climate Change Information Kit.** United Nations Framework Convention on Climate Change, 2001.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; SILVA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991. 123 p

WRI - WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol**. Monzoni, M.; Bhatia, P.; Biderman, R.; Fransen, T; Oliveira, B.; Strumpf, R.; Robinson, K. (Ed.). 2010, 77 p. Disponível em: [fgv.br/ces/ghg](http://fgv.br/ces/ghg)

YABUSHITA, E. E. R. **Inventário e proposta de gerenciamento de gases de efeito estufa (GEE) na UTFPR: estudo de caso do Câmpus Campo Mourão**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.