

**THAÍS DE ALMEIDA ROCHA**

**DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE INVENTÁRIOS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E REMOÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO EM PROPRIEDADES RURAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Laércio Antônio Gonçalves  
Jacovine

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

R672d  
2023  
Rocha, Thaís de Almeida, 1997-  
Diretrizes para elaboração de inventários de emissões de gases de efeito estufa e remoção de dióxido de carbono em propriedades rurais / Thaís de Almeida Rocha. – Viçosa, MG, 2023.

1 dissertação eletrônica (116 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexo.

Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, 2023.

Referências bibliográficas: f. 87-101.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.539>

Modo de acesso: World WideWeb.

1. Mudanças climáticas. 2. Redução dos gases do efeito estufa. 3. Agropecuária. 4. Dióxido de carbono atmosférico. I. Jacovine, Laércio Antônio Gonçalves, 1963-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. III. Título.

CDD 22. ed. 632.1

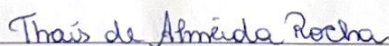
**THAÍS DE ALMEIDA ROCHA**

**DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE INVENTÁRIOS DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA E REMOÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO EM PROPRIEDADES RURAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de junho de 2023.

Assentimento:



Thaís de Almeida Rocha  
Autora



Laércio Antônio Gonçalves Jacovine  
Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e por sempre se fazer presente em minha trajetória.

Aos meus pais Ivan e Renilda, por embarcarem no meu sonho, por me incentivar, apoiar e suportar toda a distância e saudade.

As minhas avós, Ana e Maria pelo carinho, apoio e torcida.

Ao meu esposo, William, por todo amor, carinho, companheirismo e apoio. Te amo!

Aos meus sogros, Elizângela e Wantuil, e aos meus cunhados, Eliza e Henrique, pelo acolhimento e ajuda em todos os momentos.

Ao professor Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, pela orientação, ajuda e incentivo desde a graduação. Seus ensinamentos foram muito importantes na minha formação acadêmica e pessoal. Os levarei sempre comigo.

A todos meus amigos e familiares que direta ou indiretamente fizeram parte desta trajetória.

Agradeço também ao GEEA e ao Carbono Zero pela oportunidade e contribuição no meu conhecimento científico.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## RESUMO

ROCHA, Thaís de Almeida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2023. **Diretrizes para elaboração de inventários de emissões de gases de efeito estufa e remoção de Dióxido de Carbono em propriedades rurais.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

A preocupação crescente com as mudanças climáticas tem levado a uma busca por soluções que permitam mitigar os impactos ambientais e promover um desenvolvimento sustentável em diversos setores econômicos. Um dos setores que demanda atenção especial é a agropecuária, pois desempenha uma função vital tanto ao contribuir significativamente para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), quanto na implementação de medidas para sua diminuição. A elaboração de inventários de emissões de GEE e remoção de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) em propriedades rurais é uma ferramenta fundamental para compreender e quantificar as contribuições específicas da agropecuária para as mudanças climáticas. No entanto, essa tarefa enfrenta diversos desafios técnicos e metodológicos. A variabilidade das práticas agrícolas e pecuárias, as características regionais, a falta de dados precisos e de uma metodologia específica para as propriedades rurais muitas vezes tornam difícil a coleta e o processamento de informações para calcular as emissões e remoções. Nesse sentido, objetivou-se com o estudo agrupar processos metodológicos por meio de diretrizes para auxiliar a elaboração dos inventários de emissões de GEE e de remoção de CO<sub>2</sub> em propriedades rurais. Para a elaboração das diretrizes utilizou-se documentos de organizações especializadas, tais como IPCC, GHG PROTOCOL, ABNT NBR ISO 14.064, WRI, MCTI, entre outros. Como resultado obteve-se diretrizes para elaboração de inventários para a propriedade rural como um todo ou para os inventários realizados apenas para certas culturas/atividades da propriedade. Em cada fonte abordada no estudo, foi detalhado qual(is) o(s) Escopo(s) as emissões e remoções devem ser classificadas, considerando diferentes situações que podem ocorrer nas propriedades rurais. Nas diretrizes foram elencadas quais os dados de atividade devem ser coletados para cada fonte, visando estimar a emissão e/ou remoção por meio das principais metodologias de cálculos existentes. Além disso, identificou-se alternativas que vêm sendo pesquisadas a fim de reduzir as emissões de GEE nas atividades agropecuárias. Por fim, as emissões e remoções de CO<sub>2</sub> geradas pelas florestas

nativas, florestas plantadas, culturas perenes, solo e necromassa foram classificadas como efetivas ou biogênicas de acordo com os cenários que podem ocorrer nessas fontes. Conclui-se que as diretrizes desenvolvidas possuem potencial de solução para a complexidade inerente à realização dos inventários de emissões de GEE e de remoção de CO<sub>2</sub> em propriedades rurais. As diretrizes oferecem aos elaboradores dos inventários um roteiro a ser percorrido. Essa abordagem não só simplifica o processo, como também pode conferir maior precisão e confiabilidade aos resultados obtidos. Além disso, as diretrizes abordam estratégias concretas que os gestores das propriedades rurais podem adotar para reduzir as emissões de GEE e aumentar a remoção de CO<sub>2</sub>. Essas práticas beneficiam o meio ambiente e alinham-se com uma produção mais limpa e sustentável, o que confere uma vantagem competitiva, especialmente em mercados externos que valorizam produtos agrícolas produzidos de maneira responsável.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Gerenciamento de emissões de GEE. Produção agropecuária. Agropecuária de baixa emissão de carbono.

## ABSTRACT

ROCHA, Thaís de Almeida, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2023. **Guidelines for preparing greenhouse gas inventories and Carbon Dioxide removal in rural properties.** Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine

The growing concern with climate change has led to a search for solutions that allow mitigating environmental impacts and promoting sustainable development in various economic sectors. One of the sectors that requires special attention is agriculture, as it plays a vital role both by contributing significantly to greenhouse gas (GHG) emissions and by implementing measures to reduce it. The preparation of inventories of GHG emissions and Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) removal in rural properties is a fundamental tool to understand and quantify the specific contributions of agriculture to climate change. However, this task faces several technical and methodological challenges. The variability of agricultural and livestock practices, regional characteristics, lack of accurate data and a specific methodology for rural properties often make it difficult to collect and process information to calculate emissions and removals. In this sense, the objective of the study was to group methodological processes through guidelines to assist in the preparation of inventories of GHG emissions and CO<sub>2</sub> removal in rural properties. For the elaboration of the guidelines, documents from specialized organizations were used, such as IPCC, GHG PROTOCOL, ABNT NBR ISO 14064, WRI, MCTI, among others. As a result, guidelines were obtained for preparing inventories for the rural property as a whole or for inventories carried out only for certain crops/activities on the property. In each source addressed in the study, it was detailed which Scope(s) emissions and removals should be classified, considering different situations that may occur on rural properties. The guidelines listed which activity data should be collected for each source, aiming to estimate the emission and/or removal through the main existing calculation methodologies. In addition, alternatives that have been researched were identified in order to reduce GHG emissions in agricultural activities. Finally, CO<sub>2</sub> emissions and removals generated by native forests, planted forests, perennial crops, soil and necromass were classified as effective or biogenic according to the scenarios that may occur in these sources. It is concluded that the guidelines developed have the potential to solve the complexity inherent in carrying out inventories of GHG emissions and CO<sub>2</sub> removal in rural properties. The guidelines offer inventory developers a route to follow.

This approach not only simplifies the process, but can also provide greater accuracy and reliability to the results obtained. Furthermore, the guidelines address concrete strategies that farm managers can adopt to reduce GHG emissions and increase CO<sub>2</sub> removal. These practices benefit the environment and align with cleaner and more sustainable production, which gives a competitive advantage, especially in foreign markets that value agricultural products produced in a responsible way.

Keywords: Climate changes. Management of GHG emissions. Agricultural production. Low-carbon farming.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Organização de um inventário de GEE.....	26
Figura 2 – Padrão utilizado para a elaboração dos diagramas.....	27
Figura 3 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente à combustão móvel.....	28
Figura 4 – Diretrizes a respeito da coleta de dados da combustão móvel para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura.....	30
Figura 5 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente à combustão estacionária.....	31
Figura 6 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente aos efluentes domésticos.....	34
Figura 7 – Diretrizes a respeito da coleta de dados dos efluentes domésticos para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura.....	35
Figura 8 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente aos efluentes gerados pelas atividades agrícolas.....	36
Figura 9 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente a geração e disposição dos resíduos sólidos.....	38
Figura 10 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente a geração e disposição dos resíduos agrícolas.....	41
Figura 11 – Diretrizes a respeito da coleta de dados dos resíduos agrícolas para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura.....	43
Figura 12 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente a correção e fertilização do solo.....	44
Figura 13 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente a pecuária.....	49

Figura 14 – Diretrizes para a realização da coleta de dados e cálculo do fator de emissão da fermentação entérica do gado de leite e de corte.....	51
Figura 15 – Diretrizes a respeito da coleta de dados da pecuária para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura.....	56
Figura 16 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente ao cultivo de arroz.....	57
Figura 17 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente a energia elétrica.....	59
Figura 18 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente as viagens aéreas.....	60
Figura 19 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão e remoção de CO <sub>2</sub> referente às florestas nativas.....	62
Figura 20 – Diretrizes a respeito da coleta de dados das florestas nativas para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura.....	66
Figura 21 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão e remoção de CO <sub>2</sub> referente às florestas plantadas.....	68
Figura 22 – Diretrizes a respeito da coleta de dados das florestas plantadas para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura.....	70
Figura 23 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão e remoção de CO <sub>2</sub> referente ao cafezal.....	73
Figura 24 – Diretrizes a respeito da coleta de dados do cafezal para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura.....	76
Figura 25 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo do estoque de carbono nos solos.....	78
Figura 26 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo do estoque de carbono na necromassa.....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Potencial de Aquecimento Global dos principais GEE.....	16
Tabela 2 – Descrição das categorias das emissões upstream do Escopo 3.....	19
Tabela 3 – Descrição das categorias das emissões downstream do Escopo 3.....	20

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Balanço de GEE, em $\text{MgCO}_2\text{e.ano}^{-1}$ .....	24
Equação 2 - Incremento de $\text{CO}_2$ pelas florestas nativas, em $\text{MgCO}_2\text{e.ano}^{-1}$ .....	65
Equação 3 - Emissão de $\text{CO}_2$ pelo corte de floresta nativa, em $\text{MgCO}_2\text{e.ano}^{-1}$ .....	65
Equação 4 - Área de floresta nativa relacionada ao uso X, em ha.....	66
Equação 5 - Área de floresta nativa cortada relacionada ao uso X, em ha.....	67
Equação 6 - Estoque de $\text{CO}_2$ , em $\text{MgCO}_2\text{e.ha}^{-1}$ .....	80
Equação 7 - Mudança anual nos estoques de $\text{CO}_2$ nos solos, em $\text{MgCO}_2\text{e.ano}^{-1}$ .....	81
Equação 8 - Necromassa, em kg.....	84
Equação 9 - Massa de matéria seca total no campo, em kg.....	84

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1. Inventário de GEE, fonte emissora e sumidouro .....	15
2.2. Gases de Efeito Estufa (GEE) e Potencial de Aquecimento Global (PAG).....	15
2.3. Definição do período-base e período de referência .....	16
2.4. Definição dos limites organizacionais e operacionais .....	17
2.5. Emissões e remoções biogênicas .....	21
2.6. Emissões evitadas .....	21
2.7. Dados de atividade .....	22
2.8. Fatores de emissão ou de remoção .....	22
2.9. Classe de rigor ( <i>Tier</i> ) .....	23
2.10. Indicadores de desempenho.....	24
2.11. Balanço de GEE .....	24
2.12. Incertezas do inventário.....	25
2.13. Possíveis fontes englobadas no inventário de GEE .....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	28
4.1. Fontes de emissão de GEE .....	28
4.1.1. Combustão móvel .....	28
4.1.2. Combustão estacionária.....	30
4.1.3. Efluentes .....	33
4.1.4. Resíduos sólidos .....	37
4.1.5. Resíduos agrícolas.....	40
4.1.6. Correção e fertilização do solo .....	44
4.1.7. Pecuária .....	48
4.1.8. Cultivo de arroz .....	56

4.1.9. Energia elétrica .....	58
4.1.10. Viagens aéreas .....	60
4.2. Fontes de emissão de GEE, remoção de CO <sub>2</sub> ou estoque de CO <sub>2</sub> .....	61
4.2.1. Florestas nativas .....	61
4.2.2. Florestas plantadas .....	67
4.2.3. Culturas perenes (agrícolas) .....	71
4.2.4. Solo .....	77
4.2.5. Necromassa .....	82
5. CONCLUSÕES .....	85
REFERÊNCIAS .....	87
ANEXO A – Fatores de emissão e parâmetros para o cálculo das emissões de GEE .....	102

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação crescente com as mudanças climáticas tem levado a uma busca por soluções que permitam mitigar os impactos ambientais e promover um desenvolvimento sustentável em diversos setores econômicos (DE MENEZES et al., 2023). Um dos setores que demanda atenção especial é a agropecuária, desempenhando uma função vital tanto ao contribuir significativamente para as emissões de gases de efeito estufa (GEE), quanto na implementação de medidas para sua mitigação (PIRES et al., 2015).

A agropecuária apresenta uma dualidade de efeitos em relação às mudanças climáticas. Por um lado, desafios como o desmatamento, a produção de fertilizantes e o manejo inadequado de resíduos agrícolas e pecuários contribuem significativamente para as emissões de GEE, principalmente Metano ( $\text{CH}_4$ ) e Óxido Nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (CUADRA et al., 2018; DE SOUSA ALVES et al., 2021; PIRES et al., 2015; TAKASAGO et al., 2017;). Por outro lado, as práticas sustentáveis na agricultura, como o plantio direto e o manejo adequado do solo, podem promover a captura de Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera, podendo atuar como sumidouros de carbono (BERNOUX et al., 2009; PAUSTIAN et al., 2016).

O Brasil se destaca devido à sua vasta extensão de terras agrícolas e à posição como um dos principais exportadores de produtos agropecuários (MUELLER; MUELLER, 2016). Portanto, a busca por estratégias que permitam conciliar o crescimento econômico do setor agropecuário com a redução das emissões de GEE é fundamental para a sustentabilidade ambiental e econômica do país (KLINK et al., 2021).

A elaboração de inventários de emissões de GEE e remoção de  $\text{CO}_2$ , em propriedades rurais, é uma ferramenta fundamental para compreender e quantificar as contribuições específicas da agropecuária para as mudanças climáticas (ABREU et al., 2015; OKEDERE; OYELAMI, 2021; SHAHBAZI et al., 2021). Por meio do inventário, é possível identificar as principais fontes de emissões e remoção, e também orientar na adoção de práticas mais eficientes e na implementação de medidas que reduzam os impactos ambientais negativos da agropecuária (OLIVEIRA, 2017).

Os inventários têm uma importância fundamental na busca pelo equilíbrio entre o crescimento do setor agropecuário e a redução dos impactos das mudanças climáticas. Compreender as contribuições positivas e negativas da agropecuária,

enfrentar os desafios técnicos e metodológicos e promover ações baseadas em dados sólidos são passos cruciais para uma gestão sustentável do setor agropecuário no contexto das mudanças climáticas

No entanto, essa tarefa enfrenta diversos desafios técnicos e metodológicos. A variabilidade das práticas agrícolas e pecuárias, as características regionais e a falta de dados precisos muitas vezes tornam difícil a coleta e o processamento de informações para calcular as emissões e remoções de forma correta. Além disso, a escolha das metodologias apropriadas para cada contexto é essencial para garantir resultados confiáveis.

Atualmente não existe uma metodologia específica para a realização de inventários de GEE em propriedades rurais. O que se tem são metodologias mais genéricas, às quais os responsáveis por esses inventários precisam adaptá-las para atender à diversidade de cenários encontrados nas propriedades rurais. Nesse sentido, objetivou-se com o estudo agrupar esses processos metodológicos por meio de diretrizes para auxiliar a elaboração dos inventários de emissões de GEE e de remoção de carbono CO<sub>2</sub> em propriedades rurais.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Inventário de GEE, fonte emissora e sumidouro**

Um inventário de GEE consiste em contabilizar as emissões e remoções de GEE de uma organização (ABNT, 2022). Ele é composto por um inventário de emissões de GEE e um inventário de remoções de carbono. Uma fonte emissora pode ser definida como uma unidade física ou processo que libera um GEE na atmosfera (ABNT, 2022). Por outro lado, um sumidouro é definido como uma unidade física ou processo que remove um GEE da atmosfera (ABNT, 2022).

### **2.2. Gases de Efeito Estufa (GEE) e Potencial de Aquecimento Global (PAG)**

Os Gases de Efeito Estufa (GEE) são os elementos gasosos da atmosfera que absorvem e emitem radiação eletromagnética nos mesmos comprimentos de onda de parte da radiação emitida pela superfície da Terra, pela própria atmosfera e pelas nuvens. Essa propriedade causa o efeito de estufa (IPCC, 2013).

Os principais GEE são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e o metano (CH<sub>4</sub>) (IPCC, 2019; IPCC, 2021). Os fluxos de CO<sub>2</sub> entre a atmosfera e os



ecossistemas são controlados principalmente pela absorção através da fotossíntese das plantas e liberações via respiração, decomposição e combustão de matéria orgânica (IPCC, 2019).

O  $N_2O$  é amplamente liberado pelos ecossistemas, resultando principalmente dos processos naturais de nitrificação e desnitrificação (IPCC, 2019). A nitrificação, um fenômeno biológico prevalente nos solos, é caracterizada pela transformação de compostos nitrogenados amoniacais ( $NH_4^+$ ) em nitratos ( $NO_3^-$ ) (IPCC, 2019). Paralelamente, a desnitrificação, também um processo biológico, ocorre em ambientes com baixos níveis de oxigênio, frequentemente em solos saturados de água (IPCC, 2019).

Por fim, o  $CH_4$  é emitido por metanogênese em condições anaeróbicas em solos e armazenamento de esterco, por fermentação entérica e durante a combustão incompleta na queima de orgânicos (IPCC, 2019).

O Potencial de Aquecimento Global (PAG) é um fator utilizado para comparar o impacto climático potencial das emissões de diferentes GEE (IPCC, 2007). Na Tabela 1 estão elencados os PAG's dos principais GEE considerando um horizonte de tempo de 100 anos. É crucial enfatizar que esses valores estão sujeitos a flutuações, dependendo do horizonte temporal determinado, e frequentemente são revisados devido às estimativas atualizadas das suas durações de vida e dos efeitos químicos indiretos associados (IPCC, 2021).

Tabela 1 – Potencial de Aquecimento Global dos principais GEE

<b>Gás de Efeito Estufa (GEE)</b>	<b>Potencial de Aquecimento Global (PAG)</b>
<b>Dióxido de carbono (<math>CO_2</math>)</b>	1,0
<b>Metano fóssil (<math>CH_4</math>)</b>	29,8
<b>Metano não fóssil (<math>CH_4</math>)</b>	27,0
<b>Óxido nitroso (<math>N_2O</math>)</b>	273,0

Fonte: IPCC, 2021

### **2.3. Definição do período-base e período de referência**

O período-base de um inventário de GEE é o intervalo de tempo selecionado no qual as emissões de GEE são quantificadas e comparadas com períodos subsequentes. Ele geralmente serve como um ponto de partida para avaliar o progresso na redução das emissões ao longo do tempo. O período-base é escolhido com base em considerações relevantes para a análise, como dados disponíveis,

contexto histórico, políticas em vigor e metas estabelecidas. É um ponto de referência importante para determinar o quanto as emissões de GEE mudaram em relação a um ponto inicial.

O período de referência se relaciona com a extensão temporal abrangida pelos inventários de GEE, sendo independente do período-base escolhido. Tal como acontece com o período-base, é comum que os inventários de GEE englobem um intervalo de 12 meses (GHG PROTOCOL BRASIL, 2017).

#### **2.4. Definição dos limites organizacionais e operacionais**

Os limites organizacionais estabelecem quais unidades ou instalações serão contempladas pelo inventário, já que uma propriedade rural pode ter uma ou mais instalações (ABNT, 2022).

Ao estabelecer os limites organizacionais, deve-se escolher a abordagem para a consolidação das emissões de GEE, podendo ser: i) abordagem de controle, onde contabiliza-se 100% das emissões e remoções de GEE relacionadas às operações sobre as quais o proprietário tem controle operacional ou financeiro; ou ii) abordagem de participação acionária, onde o proprietário responde, apenas, pela quantidade de emissões e remoções de GEE proporcional à sua participação acionária na propriedade rural (ABNT, 2022; GHG PROTOCOL 2010).

Após definir os limites organizacionais usando qualquer uma das abordagens de consolidação, deve-se definir os limites operacionais. O limite operacional consiste na identificação das fontes de emissões e remoções associadas às operações, classificando-as como diretas ou indiretas e selecionando o Escopo para contabilização e elaboração do inventário de GEE (ABNT, 2022; GHG PROTOCOL, 2010).

No Escopo 1 são alocadas as emissões e remoções diretas de GEE. Elas ocorrem de fontes que são de responsabilidade ou controladas pelo proprietário (WRI, 2004). Nele também são alocados os sumidouros de carbono presentes na propriedade rural.

O Escopo 2 engloba as emissões indiretas de GEE, abrangendo as emissões resultantes da geração de eletricidade adquirida ou utilizada pela propriedade rural. Embora essas emissões do Escopo 2 ocorram fisicamente nas instalações onde a eletricidade é produzida (WRI, 2004), sua responsabilidade recai indiretamente sobre

a propriedade rural. Isso se deve ao fato de que tais emissões não ocorreriam se a energia não fosse gerada para ser consumida pela propriedade.

O Escopo 3 está relacionado com as outras emissões indiretas de GEE. O relato desse Escopo é de caráter opcional e nele são alocadas todas as outras emissões geradas indiretamente. As emissões de Escopo 3 são consequência das atividades da propriedade rural, mas que ocorrem de fontes não pertencentes ou controladas por ela (WRI, 2004).

O WRI divide as emissões do escopo 3 em emissões *upstream* e *downstream*, sendo que as emissões *upstream* são emissões indiretas de GEE relacionadas a bens e serviços comprados ou adquiridos, enquanto as emissões *downstream* são emissões indiretas de GEE relacionadas a bens e serviços vendidos (WRI; WBCSD, 2011). Na Tabela 2 estão descritas as categorias das emissões *upstream* e na Tabela 3 as categorias das emissões *downstream* a serem consideradas no Escopo 3.

Tabela 2 – Descrição das categorias das emissões *upstream* do Escopo 3

Categorias	Descrição das categorias
Bens e serviços adquiridos	Extração, produção e transporte de bens e serviços adquiridos pela propriedade rural no ano de referência
Bens de capital	Extração, produção e transporte de bens de capital adquiridos pela propriedade rural no ano de referência
Atividades relacionadas a combustíveis e energia	Extração, produção e transporte de combustíveis e energia adquiridos pela propriedade rural no ano de referência
Transporte e distribuição <i>upstream</i>	Transporte e distribuição de produtos adquiridos pela propriedade rural no ano de referência
Resíduos gerados nas operações	Eliminação e tratamento de resíduos gerados nas operações da propriedade rural no ano de referência
Viagens de negócios	Transporte de funcionários para atividades relacionadas aos negócios da propriedade rural durante o ano de referência (em veículos não pertencentes pela propriedade rural)
Deslocamento de funcionários	Transporte de funcionários entre suas casas e seus locais de trabalho durante o ano de referência
Ativos arrendados <i>upstream</i>	Operação de ativos arrendados pela propriedade rural (arrendatário) no ano de referência

Fonte: Adaptada de WRI; WBCSD, 2011

Tabela 3 – Descrição das categorias das emissões *downstream* do Escopo 3

Categorias	Descrição das categorias
Transporte e distribuição <i>downstream</i>	Transporte e distribuição de produtos vendidos pela propriedade rural no ano de referência entre as operações da propriedade rural e o consumidor final (se não pago pela propriedade rural).
Processamento de produtos vendidos	Processamento de produtos intermediários vendidos no ano de referência por empresas <i>downstream</i> (fabricantes)
Uso de produtos vendidos	Uso final de bens e serviços vendidos pela propriedade rural no ano de referência
Tratamento de fim de vida de produtos vendidos	Descarte e tratamento de resíduos de produtos vendidos pela propriedade rural no ano de referência
Ativos arrendados <i>downstream</i>	Operação de ativos de posse da propriedade rural (arrendador) e arrendados a outras entidades no ano de referência
Franquias	Operação de franquias no ano de referência
Investimentos	Operação de investimentos no ano de referência

Fonte: Adaptada de WRI; WBCSD, 2011

Apesar do relato de emissões de Escopo 3 ser opcional, o GHG Protocol recomenda fortemente o relato dessas emissões, uma vez que contribuem significativamente para o total de emissões da propriedade rural (GHG PROTOCOL, 2010).

## **2.5. Emissões e remoções biogênicas**

As emissões biogênicas são aquelas originárias do ciclo natural do carbono, inerentes da utilização da biomassa e seus subprodutos (ABNT, 2022; WRI BRASIL, 2015).

Uma proporção significativa das emissões de CO<sub>2</sub> é oriunda da queima biomassa, principalmente nas atividades produtivas relacionadas ao setor agropecuário, emissão essa denominada biogênica (WRI BRASIL, 2015). A queima de biomassa gera emissões consideradas neutras em termos de impacto climático, pois este CO<sub>2</sub> é gerado através de um ciclo biológico (e não um ciclo geológico, como no caso do CO<sub>2</sub> de origem fóssil) (ASSAD et al., 2020).

Nas propriedades rurais as emissões biogênicas podem ser geradas por meio da combustão da lenha e de biocombustíveis, tais como o biodiesel e o etanol, bem como a partir do corte de vegetação arbórea conforme será caracterizado mais adiante nas diretrizes desse estudo. O uso de biomassa e de seus subprodutos como combustíveis alternativos é considerado uma importante contribuição para a redução nas emissões de GEE.

As emissões biogênicas de CO<sub>2</sub> devem ser segregadas dos Escopos 1, 2 e 3, e comunicadas de forma distinta. Conseqüentemente, essas emissões não entram no cálculo do balanço de carbono de uma propriedade rural. (GHG PROTOCOL, 2010). Por outro lado, as emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) não podem ser consideradas neutras, já que esses gases não são removidos da atmosfera durante o crescimento da biomassa, e, portanto, devem ser incluídas nos Escopos (GHG PROTOCOL, 2010).

A queima ou o corte da biomassa proveniente da vegetação nativa, resultantes de alterações no uso da terra (ou seja, desmatamento), não podem ser considerados neutros em relação ao impacto climático (WRI BRASIL, 2015). Essas atividades devem ser devidamente relatadas nos Escopos, já que o carbono armazenado na vegetação primária é irreversivelmente liberado na atmosfera com a modificação da utilização do solo (GHG PROTOCOL, 2023).

## **2.6. Emissões evitadas**

Uma ação que pode ser utilizada pelas propriedades rurais é a adoção e o relato de práticas que evitam as emissões de GEE. As emissões evitadas são definidas como reduções de emissões que ocorrem fora do ciclo de vida de um

produto ou cadeia de valor, mas que é resultado da utilização desse produto (GHG PROTOCOL, 2014). No âmbito das propriedades rurais, pode-se dizer que o consumo de energia solar fotovoltaica evita as emissões pela geração de energia por meio da queima de carvão mineral. A reciclagem e reutilização de resíduos sólidos que evita a emissão pela decomposição desses resíduos também é considerada emissão evitada.

Uma vantagem em se quantificar as emissões evitadas é o fornecimento de uma visão mais positiva dos produtos gerados na propriedade rural, demonstrando e comunicando aos clientes uma preocupação ambiental em suas atividades.

## **2.7. Dados de atividade**

Os dados de atividade são medidas quantitativas de atividades que resultam em uma emissão ou remoção de GEE (ABNT, 2022). São exemplos de dados de atividades: consumo de combustível, de energia elétrica, de fertilizantes nitrogenados, entre outros.

A etapa de coleta de dados de atividade demanda tempo e esforço dos responsáveis pela elaboração do inventário de GEE, e é também uma etapa fundamental para garantir a qualidade dos resultados finais (GHG PROTOCOL, 2010). Os dados de atividade podem ser coletados a partir de registros mantidos pelos produtores, tais como: faturas, medidores de eletricidade, registros de operações de cultivo, registros de produção, planos de manejo de nutrientes e registros de movimentação de gado.

## **2.8. Fatores de emissão ou de remoção**

São fatores que permitem o estabelecimento de uma ligação entre os dados de atividade, tornando possível estimar a emissão e/ou a remoção (ABNT, 2022).

Os fatores de emissão podem ser encontrados em documentos tais como as diretrizes do IPCC para inventários nacionais de gases de efeito estufa (IPCC, 2006) e o refinamento desse arquivo que atualiza algumas metodologias e fatores de emissão (IPCC, 2019). Esses documentos possuem metodologias e fatores de emissões mais gerais denominados *default*.

Em nível nacional, é possível encontrar fatores nos relatórios dos inventários nacionais de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa (MCTI, 2020) e também em ferramentas como a proposta pelo GHG Protocol que além de possuir

diversos fatores de emissão, também permite a realização do cálculo das emissões de GEE de fontes específicas (GHG PROTOCOL, 2023).

Existe uma maior dificuldade quando se trata dos fatores de remoção de CO<sub>2</sub> pela vegetação. É necessário que seja elaborado, principalmente em nível nacional, documentos que compilem tais fatores. Uma alternativa é a realização de pesquisas na literatura buscando estudos que abordem incrementos de carbono em diferentes tipos de vegetação, biomas, ambientes, idades, entre outras características que influenciam na remoção de carbono. É muito importante que os incrementos de carbono utilizados possuam similaridade com o local do referido inventário de remoção para que a estimativa seja a mais próxima possível da realidade.

## 2.9. Classe de rigor (*Tier*)

O IPCC desenvolveu uma série de princípios e procedimentos metodológicos para orientar a elaboração de inventários nacionais de emissões de GEE para que possam ser comparados entre si. Dentro desses princípios e procedimentos estão um conjunto de *Tiers* (níveis ou camadas) (WRI BRASIL, 2020). O *Tier* refere-se à complexidade metodológica do cálculo para cada fonte considerada no inventário de GEE, sendo classificado em três níveis, *Tier 1*, *Tier 2* e *Tier 3*, que variam não só pela complexidade analítica, mas também pela quantidade de informação necessária (IPCC, 2006; WRI BRASIL, 2020). Os *Tiers 2* e *3* são chamados de métodos de nível superior e geralmente são considerados mais precisos (IPCC, 2006).

O *Tier 1* refere-se ao método básico, onde o cálculo da emissão ou remoção é feito com base nos fatores genéricos adotados no mundo (*default*) (IPCC, 2006). O *Tier 2* é utilizado quando se possui fatores de emissão e remoção específicos do país em que o inventário está sendo realizado (IPCC, 2006). Nesse método pode ser necessário dados de atividade mais estratificados. Os fatores e parâmetros de emissão e remoção específicos de cada país são aqueles mais adequados às florestas, regiões climáticas e sistemas de uso da terra do país, portanto a utilização do *Tier 2* é fortemente recomendada (WRI BRASIL, 2020).

No *Tier 3* são incluídos dados fornecidos por modelos matemáticos, inventários florestais, entre outras formas. Esses métodos, devidamente implementados, podem fornecer estimativas com maior certeza do que os níveis inferiores (WRI BRASIL, 2020). A dificuldade na utilização desse *Tier* está relacionada à maior complexidade para a obtenção dos dados, além da necessidade de recursos financeiros e humanos.



## 2.10. Indicadores de desempenho

A obtenção dos resultados do inventário de GEE possibilita o cálculo de indicadores de desempenho, que expressam a emissão ou remoção relacionada a uma unidade de interesse da administração da propriedade rural ou de seus *stakeholders* (WRI, 2004).

As propriedades rurais podem optar por reportar seus indicadores de GEE com o objetivo de: i) avaliar o desempenho ao longo do tempo (por exemplo, relacionar números de anos diferentes, identificar tendências nos dados e mostrar o desempenho em relação às metas e ao período-base; ii) melhorar a comparabilidade entre diferentes propriedades, produtos e operações; e iii) auxiliar na tomada de decisões (por exemplo, na escolha de ações que impactem as emissões ou remoções da produção ou da propriedade como um todo, tais como insumos a serem utilizados, técnicas de manejo, produção e disposição de resíduos, entre outros).

Exemplo de indicadores que podem ser calculados são de emissão/remoção por área (podendo ser de toda a propriedade ou apenas da área de produção), de intensidade carbônica que consiste na emissão/remoção por unidade produzida (por exemplo, quilograma, tonelada ou sacas), entre outros. Vale ressaltar que o relato dos indicadores de desempenho é de caráter opcional. Cabe aos tomadores de decisão da propriedade rural analisar se o relato é de seu interesse e se sim, quais indicadores se encaixam melhor para os seus objetivos.

## 2.11. Balanço de GEE

O balanço de GEE de uma propriedade rural consiste na diferença entre as emissões de GEE efetivas e as remoções de CO<sub>2</sub> efetivas. O balanço de GEE pode ser calculado por meio da Equação 1.

$$BC = EC - RC \quad 1$$

Em que:

BC= Balanço de GEE, em MgCO<sub>2</sub>e.ano<sup>-1</sup>

EC= Emissões de GEE, em MgCO<sub>2</sub>e.ano<sup>-1</sup>

RC= Remoções de CO<sub>2</sub>, em MgCO<sub>2</sub>e.ano<sup>-1</sup>

O resultado do balanço pode ser negativo, quando as remoções são maiores que as emissões (sendo este o resultado desejado) ou positivo, quando ocorre o

inverso. É importante ressaltar que alguns inventários de GEE abordam interpretações diferentes para o resultado do balanço de GEE.

### **2.12. Incertezas do inventário**

A avaliação da incerteza desempenha um papel crucial no processo de elaborar um inventário de GEE e compreender as variações que ocorrem ao longo do tempo (IPCC, 2019h). O objetivo do processo de avaliação de incerteza é entender e documentar qualitativa e quantitativamente as causas da incerteza em estimativas individuais e totais gerais (IPCC, 2019h).

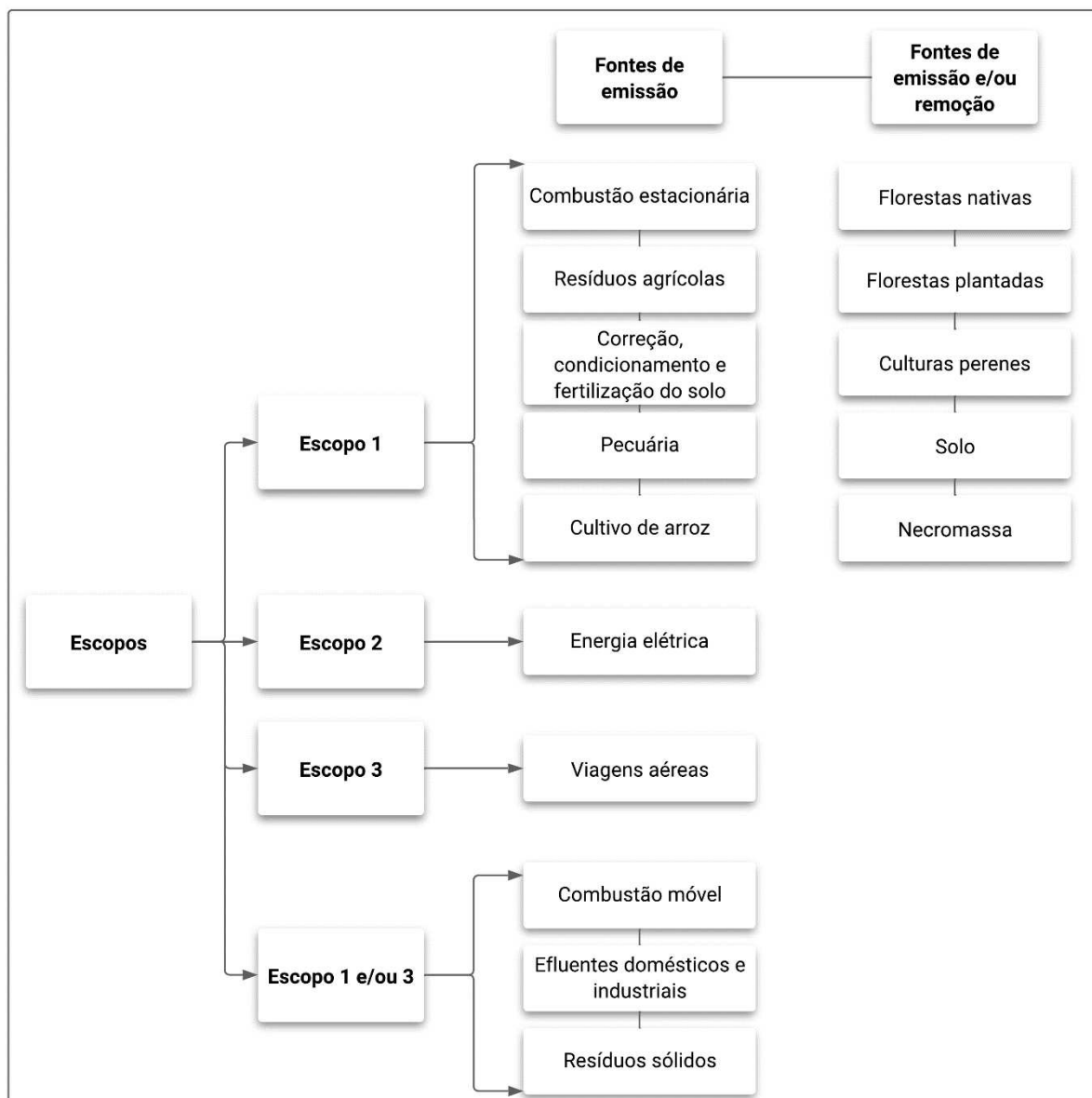
As incertezas inerentes aos inventários de GEE podem ser amplamente categorizadas em duas principais vertentes: incerteza científica e incerteza de estimativa (WRI, 2004). A incerteza científica surge quando ainda não se tem um entendimento completo sobre as emissões reais e/ou os processos de remoção. Por exemplo, diversos fatores diretos e indiretos ligados aos valores do PAG, utilizados para combinar estimativas de diferentes GEE, abarcam uma incerteza científica considerável (WRI, 2004).

Já a incerteza de estimativa surge invariavelmente quando as emissões de GEE são quantificadas. Nesse sentido, todas as emissões ou remoção estão intrinsecamente ligadas à incerteza de estimativa. Essa incerteza pode, por sua vez, ser dividida em dois tipos principais: a incerteza do modelo, que está relacionada com as equações matemáticas empregadas, e a incerteza dos parâmetros, que diz respeito à imprecisão na quantificação dos parâmetros inseridos nos modelos de estimativa (WRI, 2004).

### **2.13. Possíveis fontes englobadas no inventário de GEE**

A seguir, na Figura 1, serão listadas fontes de emissão e remoção, por Escopo, que podem ser encontradas nos inventários de GEE em propriedades rurais.

Figura 1 - Organização de um inventário de GEE



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

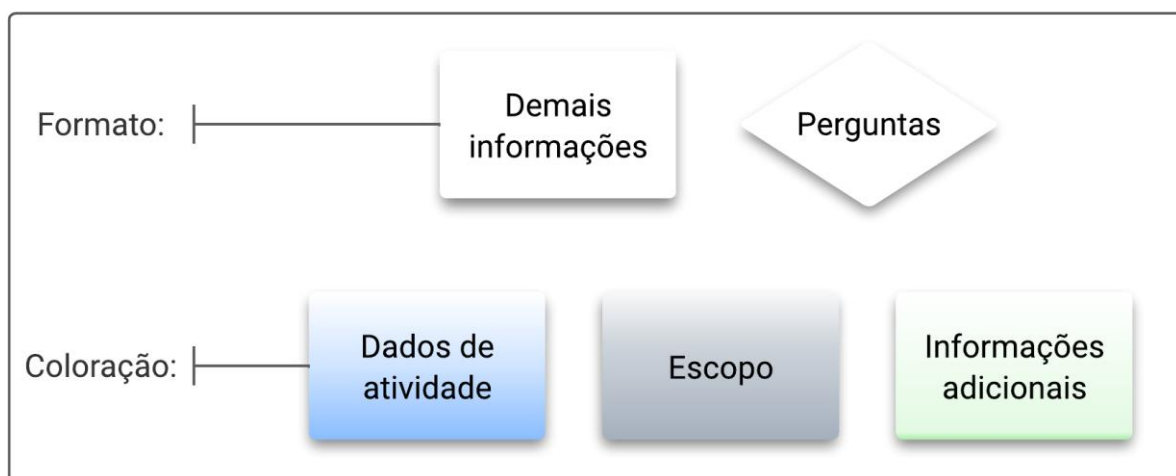
As diretrizes para elaboração do inventário de emissões de GEE e de remoção de carbono foram desenvolvidas a fim de atender às diferentes propriedades rurais com variados sistemas de produção, independentemente da atividade ou cultura produzida. Elas foram elaboradas utilizando documentos de especialistas na área, tais como do *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC, Programa Brasileiro GHG Protocol, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, *World Resources Institute* – WRI, *World Resources Institute Brazil* – WRI Brasil, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, entre outros.

Atualmente, cada uma das metodologias aborda algumas diretrizes, sendo que para atingir o objetivo dessa pesquisa foi preciso desenvolver um compilado englobando o maior nível de informação possível referente às especificidades das atividades exercidas nas propriedades rurais. Algumas informações não são abordadas por metodologias já existentes, nesses casos, foram utilizados estudos publicados, como artigos científicos, resoluções, boletins técnicos e etc.

As figuras com as diretrizes foram elaboradas utilizando um *Software* simplificado de diagramas de bloco online denominado “*Lucidchart*”. Um diagrama de blocos é um fluxograma especializado normalmente usado para providenciar uma visualização de sistemas e suas diversas interações. Eles são ideais para criar uma visão geral de um sistema, entender suas relações e incluir seus principais componentes. Neste estudo utilizou-se de uma variação do diagrama de blocos denominado fluxograma de processos simples, já que nesse método, em algumas fontes, foi preciso adicionar pontos de decisão.

Para facilitar a compreensão os diagramas foram elaborados seguindo um padrão de formato e coloração (Figura 2). Os formatos utilizados foram: i) retângulo, representando informações em geral; e ii) losango, que representa processos de decisão (perguntas). Em relação à coloração, utilizou-se as seguintes cores para diferenciação: i) azul, representa todas as informações relacionadas aos dados de atividades a serem coletados; ii) cinza, informações relacionadas a classificação dos Escopos e, por fim, iii) verde, que representa todas as informações adicionais.

Figura 2 – Padrão utilizado para a elaboração dos diagramas



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

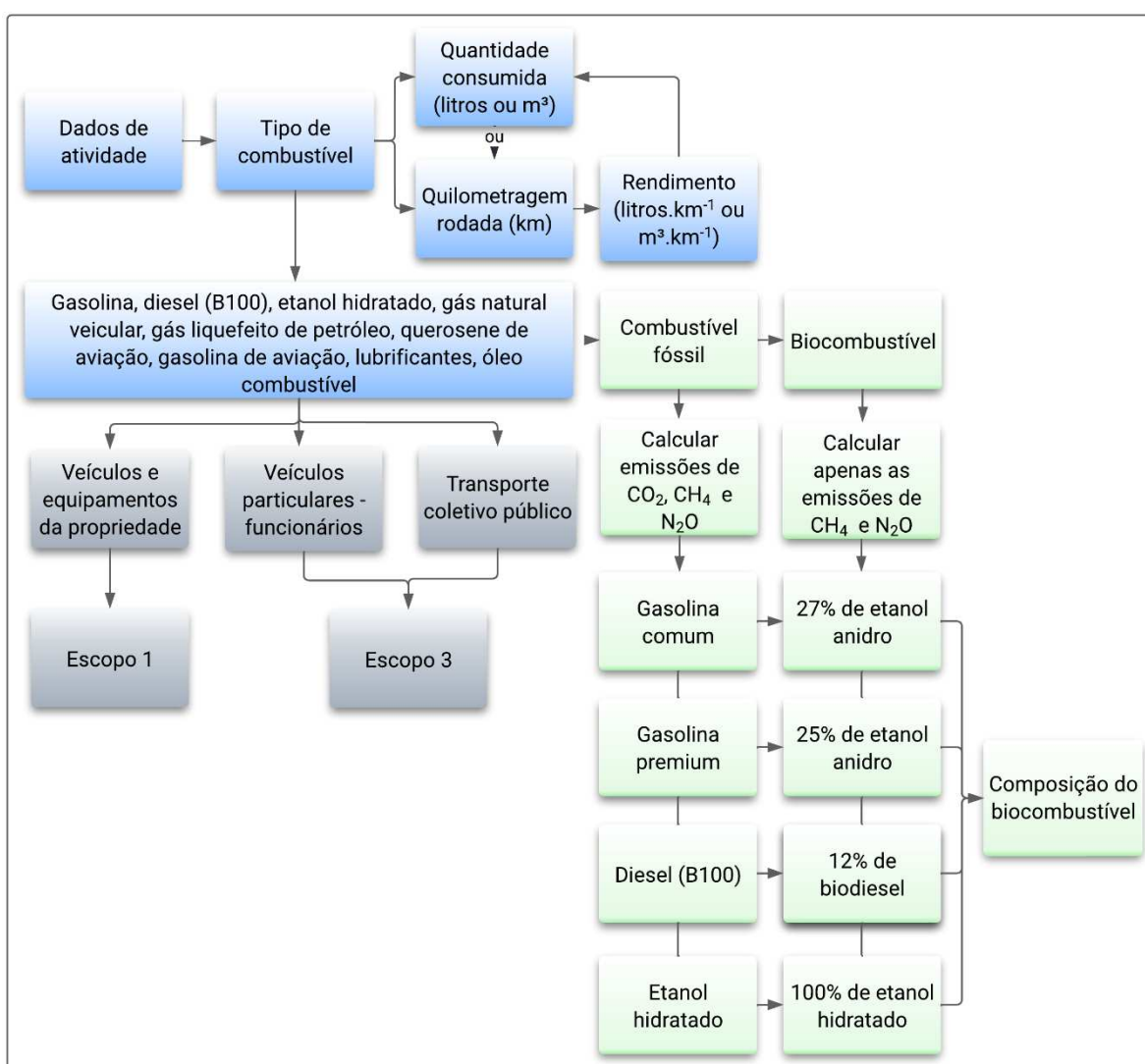
### 4.1. Fontes de emissão de GEE

#### 4.1.1. Combustão móvel

As fontes móveis produzem emissões diretas de GEE provenientes da combustão de diversos tipos de combustíveis, além de diversos outros poluentes (IPCC, 2006a).

Nessa fonte são contabilizadas as emissões referentes a utilização de combustíveis em veículos automotores e em equipamentos. Na Figura 3 é possível observar as diretrizes para a elaboração da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE.

Figura 3 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente à combustão móvel



De acordo com o conceito de limite organizacional e operacional, quando a utilização de combustíveis se der por veículos e equipamentos próprios, a emissão deve ser alocada no Escopo 1. Quando houver a utilização de combustíveis por veículos e equipamentos de terceiros (ex: veículos utilizados pelos funcionários ou transporte coletivo para se locomoverem ao trabalho) essa emissão será reportada no Escopo 3, pois se caracteriza como uma emissão não controlada pelo proprietário.

Outra consideração envolve as emissões biogênicas referentes as emissões de CO<sub>2</sub> da porção dos biocombustíveis que devem ser retiradas do montante final e reportadas de forma separada. É importante ressaltar que as emissões de CH<sub>4</sub> e de N<sub>2</sub>O não devem ser desconsideradas, pois não são caracterizadas como emissões biogênicas.

Os fatores de emissão da gasolina e do óleo diesel relatados na literatura são para o combustível em sua forma pura. No Brasil, por meio da Resolução CNPE Nº16 de 29/10/2018 estabeleceu-se aumentos graduais na porcentagem do biodiesel no óleo diesel para que em 2023 atingisse a marca de 15% (CNPE, 2018). Porém, em 2021, o CNPE fixou a proporção em 10% para todo o ano de 2022 como uma tentativa de conter a alta de preços do combustível (CNPE, 2021). Em 2023, a meta de aumentar a porcentagem do biodiesel no diesel foi restabelecida por meio da Resolução CNPE Nº3 de 20/03/2023 (CNPE, 2023). A partir de 01/04/2023 a mistura de biodiesel no diesel foi ampliada de 10% para 12, e terá um aumento de 1% por ano para que em 2026 chegue aos 15% (CNPE, 2023).

Em relação a gasolina a Portaria do MAPA Nº75 de 05/03/2015 fixou os teores de etanol anidro em 25% para a gasolina premium e em 27% para a gasolina comum (MAPA, 2015). Assim como os fatores de emissão, a porcentagem de biocombustível nos combustíveis é uma informação que deve ser conferida periodicamente já que tem sido constantemente atualizada.

Na Figura 4 é possível observar as diretrizes que devem ser consideradas para realizar a coleta de dados nos casos em que o inventário de GEE é para toda a propriedade e quando ele é feito apenas para culturas específicas. Se o inventário for para toda a propriedade é necessário coletar os dados de atividade da combustão móvel referentes à quantidade total utilizada de combustível, independente da atividade. Agora, se o inventário for por cultura, deve ser coletado apenas os dados de atividade que tiverem relação com a cultura inventariada. Se o produtor não possuir tal informação deve-se buscar meios de estimar os dados de atividade.

Figura 4 – Diretrizes a respeito da coleta de dados da combustão móvel para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura



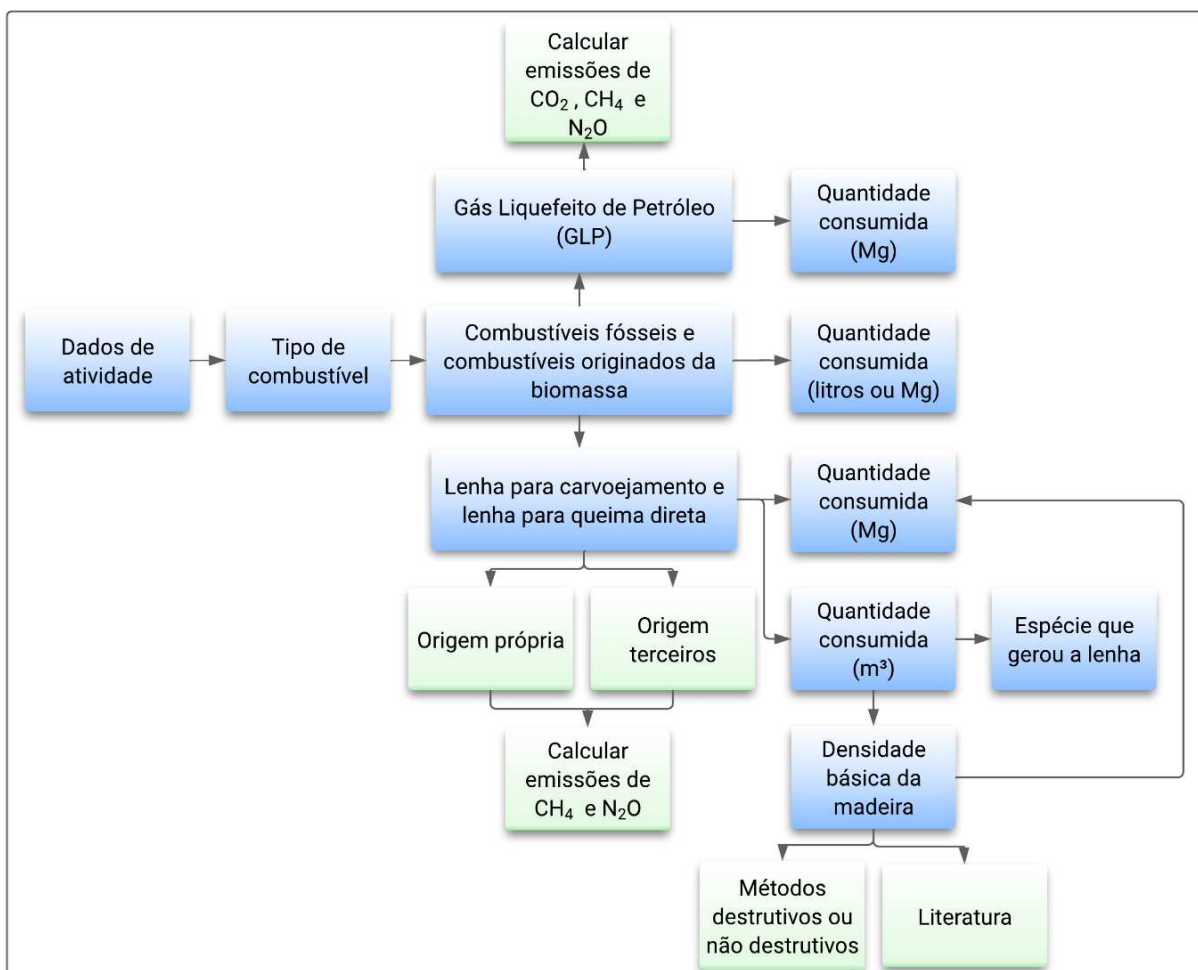
Atualmente, o cálculo das emissões de GEE para a fonte combustão móvel pode ser realizado utilizando a metodologia proposta no volume 2 (Energia) e capítulo 3 (Combustão Móvel) do IPCC (2006a). Os fatores de emissão podem ser encontrados na planilha elaborada pelo Programa Brasileiro GHG Protocol na aba “Fatores de emissão” e “Fatores de emissão para transporte” (GHG PROTOCOL, 2023).

#### 4.1.2. Combustão estacionária

As emissões de GEE provenientes da combustão estacionária são relativas à queima de combustível em que ocorre sua oxidação. A energia gerada pela combustão geralmente é utilizada para produzir vapor de água ou energia elétrica (GHG PROTOCOL BRASIL, 2016). A fonte de emissão é estacionária, ou seja, não se trata de um meio de transporte. São exemplos de atividades existentes nas propriedades rurais que podem gerar tais emissões: caldeiras, fornos, queimadores, turbinas, aquecedores, incineradores, motores, geradores entre outros.

Na Figura 5 encontram-se diretrizes para a realização da coleta de dados e cálculo das emissões de GEE. Pode-se observar que são elencados os dados de atividade a serem coletados, tais como o tipo de combustível e a quantidade consumida por combustível.

Figura 5 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente à combustão estacionária



Todos os combustíveis fósseis, tais como o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), geram emissões efetivas de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ . Os combustíveis não fósseis, que são aqueles oriundos de biomassa, possuem as emissões de  $\text{CO}_2$  consideradas biogênicas, como citado em tópicos anteriores, e devem ser reportadas separadamente. Já as emissões de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  devem ser calculadas e reportadas juntamente com o montante final de emissões.

Existem discussões a respeito da consideração ou não da neutralidade de  $\text{CO}_2$  nos casos em que a lenha, por exemplo, é adquirida de terceiros e não gerada na propriedade por meio de plantios. Porém na literatura pouco se encontra sobre essa questão. Documentos elaborados pelo IPCC, GHG Protocol e WRI, que apresentam certas diretrizes para inventários de GEE, não discutem se a origem da lenha deve ser considerada na definição de carbono neutro.



De acordo com o WRI Brasil (2015) queimar biomassa resulta em emissões consideradas neutras em termos de impacto climático e seu uso e de subprodutos como combustíveis alternativos é considerado uma importante contribuição para a redução nas emissões de GEE.

Analogamente, ao considerar os biocombustíveis, eles não são produzidos nas mesmas propriedades onde são utilizados, sua origem é externa. Apesar disso, as emissões de CO<sub>2</sub> são tratadas como neutras. Assim, mesmo na ausência de documentos explícitos que sustentem esse entendimento, a procedência da lenha não deveria ser um fator determinante na avaliação das emissões biogênicas.

Quando o produtor dispõe apenas da informação sobre o volume de lenha utilizado, expresso em m<sup>3</sup> ao invés da massa, em toneladas, é necessário obter dados torna-se imperativo adquirir dados concernentes à densidade básica da lenha (kg.m<sup>3</sup> ou g.cm<sup>3</sup>). Isso permitirá a conversão precisa do volume (m<sup>3</sup> ou cm<sup>3</sup>) para massa (Kg ou g). A abordagem mais indicada para adquirir essa densidade básica seria por meio de estudos conduzidos diretamente na propriedade.

Na ausência dos dados de densidade, é comum que os produtores busquem informações na literatura sobre densidades básicas médias. Essas informações podem ser específicas para a espécie de madeira produzida e as características da região onde a propriedade está localizada, incluindo fatores como o tipo de bioma, as condições climáticas, o espaçamento de plantio e a idade das árvores, entre outros. Um exemplo de fonte de dados confiável para essas densidades é o estudo realizado por Zanne et al., (2009).

Nos casos em que a biomassa for comprada de terceiros utilizando volume como unidade de medida, é preciso buscar informações a respeito da densidade básica da madeira com o fornecedor. O ideal seria que ele fornecesse a densidade básica média do lote de madeira vendido. Caso não seja possível, deve-se buscar os dados referentes às características dos plantios que originaram o produto, com o maior nível de detalhes possível, para que, por meio da literatura, obtenha-se um valor aproximado de densidade.

Assim como na combustão móvel, existem diferenças na coleta dos dados de atividade em inventários de GEE realizados para toda a propriedade rural ou apenas para certas culturas. Dessa forma deve-se seguir as diretrizes elencadas na Figura 4.

O cálculo das emissões de GEE para a fonte combustão estacionária pode ser realizado utilizando a metodologia proposta no volume 2 (Energia) e capítulo 2

(Combustão Estacionária) do IPCC (2006a). Os fatores de emissão podem ser encontrados na planilha elaborada pelo Programa Brasileiro GHG Protocol na aba “Fatores de emissão” e “Fatores de emissão para combustão estacionária” (GHG PROTOCOL, 2023).

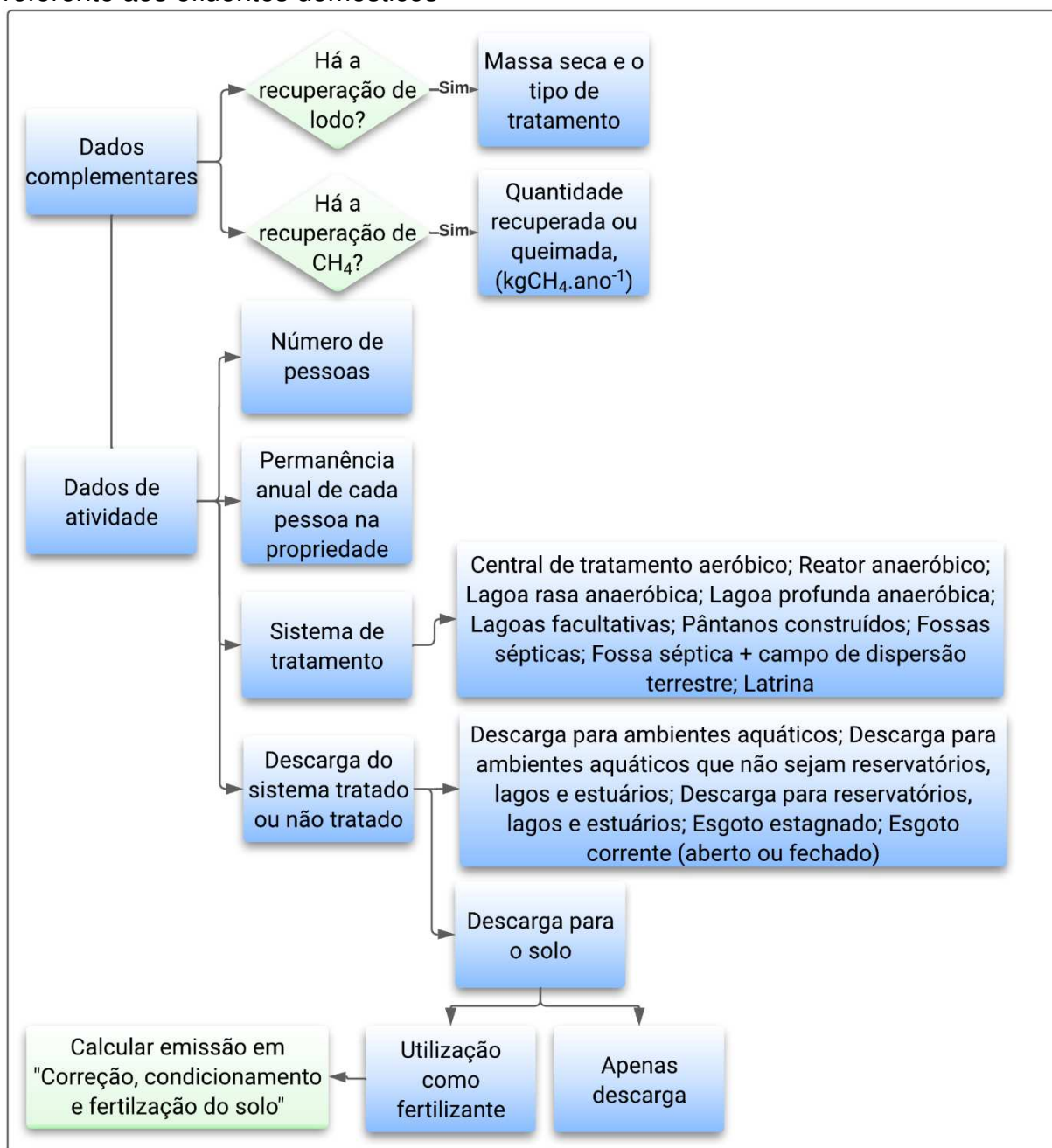
#### 4.1.3. Efluentes

Nessa fonte, são registradas as emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O provenientes dos sistemas de tratamento e despejo de águas residuais de fontes domésticas e industriais. As águas residuais podem ser uma fonte de CH<sub>4</sub> quando tratadas, dispostas anaerobicamente ou quando o CH<sub>4</sub> dissolvido entra em sistemas de tratamento aerado. Também pode ser uma fonte de emissões de N<sub>2</sub>O. As emissões de CO<sub>2</sub> de águas residuais não são consideradas nas Diretrizes do IPCC porque geralmente são de origem biogênica e não devem ser incluídas nas emissões totais (IPCC, 2019a).

As águas residuais são originárias de uma variedade de fontes domésticas e industriais e podem ser tratadas no local (não coletadas), drenadas para uma usina centralizada (coletadas) ou descartadas sem tratamento nas proximidades ou por meio de um emissário (IPCC, 2019a). Na propriedade rural, os efluentes domésticos referem-se às águas residuais provenientes das residências, enquanto os efluentes industriais têm origem nas atividades agrícolas realizadas na propriedade, como a criação de animais e o beneficiamento dos grãos de café.

Na Figura 6 estão elencadas as diretrizes a serem utilizadas na realização da coleta de dados e no cálculo das emissões de GEE referentes a geração, tratamento e disposição dos efluentes domésticos em propriedades rurais.

Figura 6 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente aos efluentes domésticos

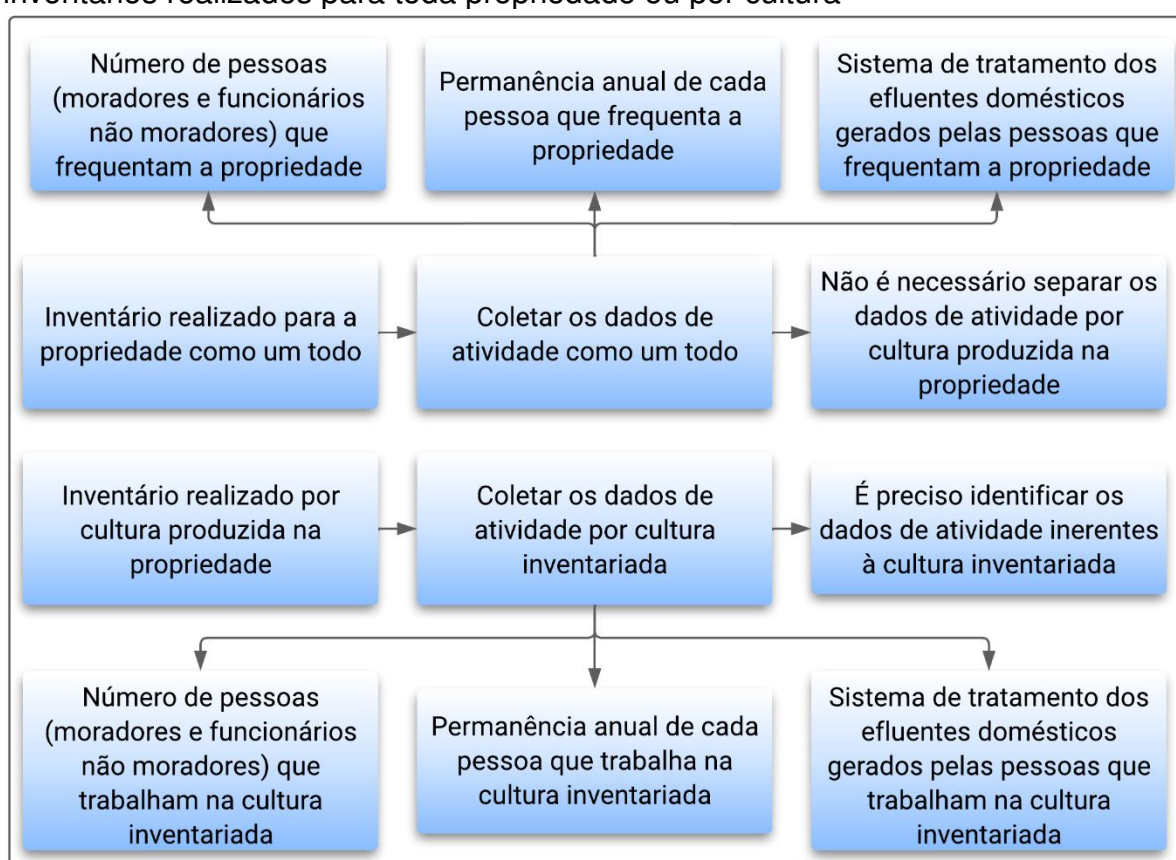


Em relação ao Escopos em que as emissões dessa fonte devem ser alocadas, entende-se que nos casos em que o efluente, seja ele doméstico ou não, é recolhido e tratado em ambientes fora do limite da propriedade essa emissão deve ser inserida no Escopo 3, já que as emissões desse Escopo são consequência de fontes não pertencentes ou não controladas pela propriedade. Nesse caso, entende-se que o controle é transferido para o organismo (público ou privado) responsável pelo recolhimento e tratamento do efluente.

Já em propriedades rurais em que o efluente é tratado e/ou descarregado dentro de seus limites as emissões devem ser alocadas no Escopo 1 por se tratarem de fontes que são de responsabilidade e/ou controladas pela propriedade rural.

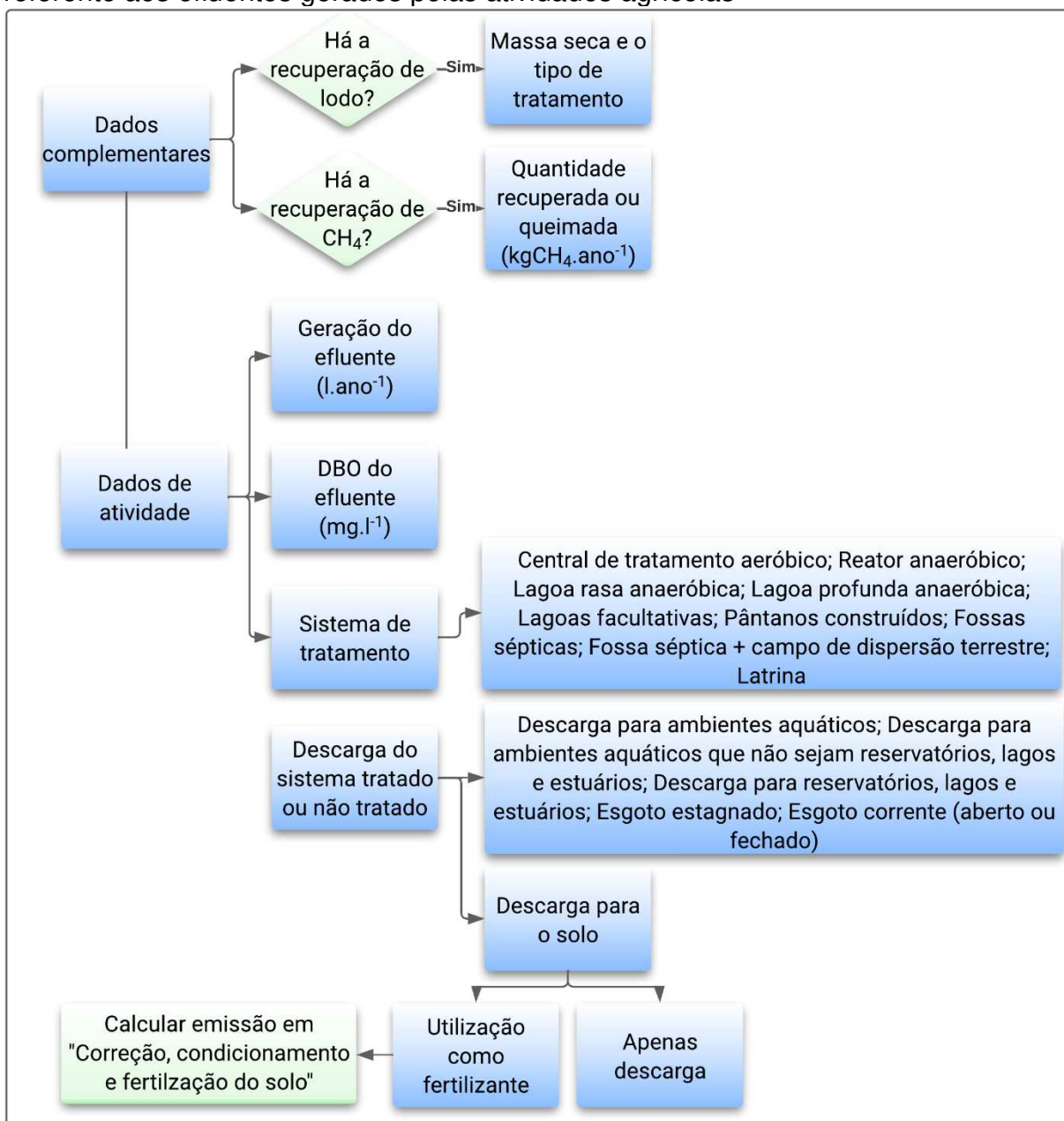
Assim como nas demais fontes, existem diferenças a serem consideradas na coleta dos dados de atividade nos casos em que o inventário é para toda a propriedade e para aqueles realizados apenas para certas culturas. As diretrizes a respeito dessa diferenciação encontram-se listadas na Figura 7.

Figura 7 – Diretrizes a respeito da coleta de dados dos efluentes domésticos para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura



Na Figura 8 pode-se observar as diretrizes a serem utilizadas na coleta dos dados de atividade e na realização dos cálculos das emissões de GEE dos efluentes gerados pelas atividades agrícolas.

Figura 8 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente aos efluentes gerados pelas atividades agrícolas



Em propriedades rurais, atividades como a pecuária confinada consome grande volume de água, gerando resíduos, especialmente nos casos em que a limpeza de baias é efetuada por meio de lavagem. Nas granjas da suinocultura o consumo de água para dessedentação dos animais e lavagem de baias varia de 7 a 45 litros de água para cada animal por dia (BERTONCINI, 2008). Outro exemplo de atividade que gera águas residuais é o beneficiamento dos grãos do café por meio da lavagem e despolpa dos frutos (MAS, 2021).

Em propriedades rurais em que tenham atividades dessa natureza, sugere-se que sejam implantados medidores de consumo de água, tais como os hidrômetros, pois esses instrumentos facilitam a coleta de dados para a elaboração do inventário de GEE e auxiliam o proprietário a fazer o controle da utilização de água e conseqüentemente a elaborar medidas de redução do consumo.

Quanto ao DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), dado necessário para estimar as emissões de GEE por essa fonte, recomenda-se que as propriedades realizem estudos para quantificar tal dado nos efluentes gerados. O aferimento do DBO juntamente com quantificação do consumo de água influenciará em uma melhor estimativa das emissões de GEE por essa fonte. Nos casos em que não for possível quantificar o DBO do efluente, pode-se buscar por esse dado na literatura com base no tipo e nas características dos efluentes gerados na propriedade ou atividade inventariada.

Nos inventários realizados para a propriedade como um todo é necessário fazer um levantamento de todos os efluentes gerados pela produção agrícola na propriedade, para posterior coleta dos dados de atividade elencados na Figura 8. Ainda nesse sentido, se na propriedade inventariada não houver a geração de efluentes por meio das águas residuais nas etapas de produção e processamento dos produtos agrícolas, essa fonte de emissão não deve ser adicionada ao inventário. Nos inventários realizados apenas para certas culturas, só se tem necessidade de coletar os dados de atividade se a(s) culturas(s) inventariada(s) gera(m) efluente(s) em alguma etapa da produção e/ou processamento.

O cálculo das emissões de GEE para a fonte efluentes pode ser realizado utilizando a metodologia e os fatores de emissão propostos no volume 5 (Resíduos) e capítulo 6 (Tratamento e Descarga de Águas Residuais) do IPCC (2019a). No Brasil ainda existem poucos estudos em relação a fatores de emissões nacionais, portanto, recomenda-se a utilização dos fatores *default* propostos pelo IPCC.

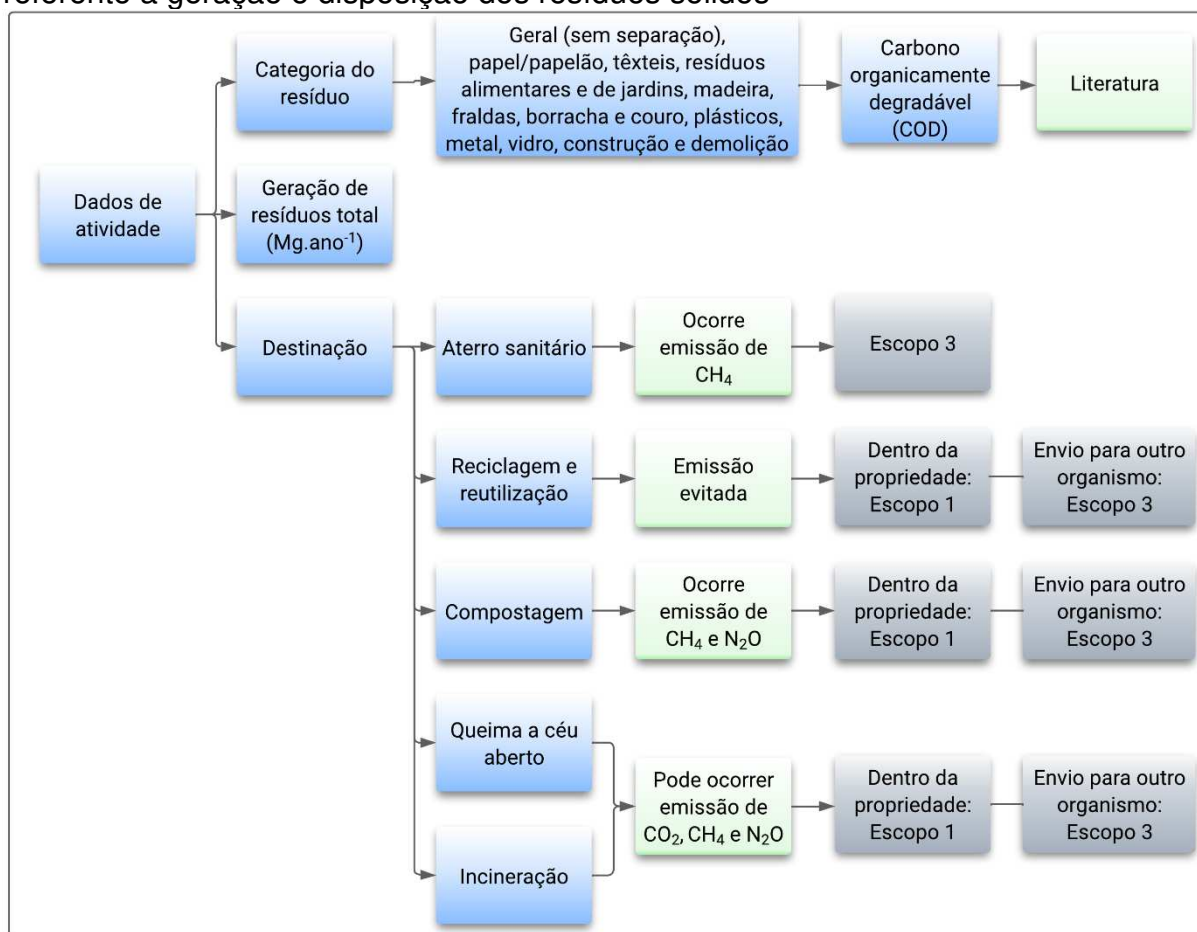
#### 4.1.4. Resíduos sólidos

O tratamento e disposição de resíduos sólidos produzem quantidades significativas de CH<sub>4</sub> (IPCC, 2019b). Além do CH<sub>4</sub>, dependendo do tipo de disposição final dos resíduos sólidos, também podem ser emitidas quantidades significativas de CO<sub>2</sub> biogênico ou não biogênico, bem como quantidades menores de N<sub>2</sub>O, assim como outros gases (IPCC, 2019b).

Existem algumas opções para a disposição dos resíduos sólidos em uma propriedade rural, tais como a reciclagem e reutilização dos resíduos, o envio para aterros sanitários, a realização da compostagem dos resíduos orgânicos, a incineração e até mesmo a queima a céu aberto.

Na Figura 9 estão descritas as diretrizes para a coleta de dados e cálculo das emissões de GEE pela fonte resíduos sólidos. Estão elencados os dados de atividades necessários, assim como algumas implicações, tais como o tipo de GEE gerado de acordo com a disposição final do resíduo.

Figura 9 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente a geração e disposição dos resíduos sólidos



A reciclagem e a reutilização (exceto pela compostagem) não geram emissões de GEE pois não ocorre a decomposição do material, sendo práticas muito positivas no que se diz respeito a diminuição das emissões em uma propriedade rural. Além disso, realizá-las contribui com a problemática inerente à disposição e acúmulo de

resíduos sólidos que têm por consequência impactos devastadores no meio ambiente, como a contaminação da água e do solo, entre outros (ONEL; MUKHERJEE, 2017).

A compostagem é um tipo de tratamento de resíduos orgânicos que permite a sua reutilização (MARCHI; GONÇALVES, 2020). Por meio dela é possível diminuir as emissões de GEE, pois a quantidade emitida nesse processo pode ser inferior à quantidade emitida em outros tipos de tratamento dos resíduos. Além disso, a compostagem representa uma alternativa promissora, porque fornece produtos valiosos que podem ser utilizados como fertilizantes orgânicos, substituindo os químicos, causando uma menor emissão de GEE e promovendo impactos positivos nos solos e plantas (MILINKOVIĆ et al., 2019).

Nos aterros sanitários ocorrem a emissão de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ , porém o  $\text{CO}_2$  é considerado biogênico (IPCC, 2019b). Quando os resíduos sólidos produzidos nas propriedades rurais possuem essa destinação considera-se que tal emissão deve ser alocada no Escopo 3, pois o controle é transferido para o organismo responsável pela disposição final (GHG PROTOCOL, 2010). O mesmo ocorre em outros tratamentos que envolvam a transferência do controle da disposição final dos resíduos para outra instituição, seja ela pública ou privada. As emissões referentes a geração e destinação dos resíduos sólidos que sejam de responsabilidade e controle da propriedade rural devem ser alocadas no Escopo 1.

Um parâmetro muito importante para o cálculo das emissões dessa fonte é a composição dos resíduos, pois ela indica a fração de carbono orgânico degradável (COD) passível de decomposição e de transformação em  $\text{CH}_4$  (MCTI, 2020b). Para o COD pode-se utilizar os valores *default* propostos pelo IPCC (IPCC, 2006b).

É importante ressaltar que nem todas as categorias existentes de resíduos sólidos emitem GEE. Esses resíduos são denominados inertes, pois devido às suas características físico-químicas não sofrem transformações em sua composição e se mantêm inalterados por muito tempo (ABNT, 2004). Plásticos, metais e vidros são exemplos de resíduos considerados inertes, e que, conseqüentemente não emitem GEE.

A incineração de resíduos é definida como a combustão de resíduos sólidos e líquidos em instalações de incineração controlada (IPCC, 2019c). Enquanto a queima a céu aberto de resíduos pode ser definida como a combustão de materiais combustíveis indesejados, ao ar livre ou em lixões a céu aberto, onde são liberadas



fumaças e outras emissões diretamente no ar sem passar por uma chaminé (IPCC, 2019c).

Os GEE relevantes emitidos tanto na incineração quanto na queima a céu aberto incluem o CO<sub>2</sub>, o CH<sub>4</sub> e o N<sub>2</sub>O (IPCC, 2019c). De acordo com as Diretrizes do IPCC de 1996 (IPCC, 1996), as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes da oxidação durante a incineração e queima a céu aberto de resíduos de origem fóssil (por exemplo, plásticos, certos têxteis, borracha) são consideradas emissões líquidas e, portanto, devem ser incluídas no montante final.

As emissões de CO<sub>2</sub> resultantes da incineração e queima a céu aberto dos resíduos alimentares, madeiras e dos resíduos de jardins são consideradas biogênicas e não devem ser incluídas nas emissões totais (IPCC, 2019c). Assim como as emissões de CO<sub>2</sub> dos metais, vidros e dos resíduos de construção e demolição, que apesar de conterem certas quantidades de carbono fóssil, a combustão desses materiais não é comum (IPCC, 2006b).

Assim como nas demais fontes, a coleta dos dados de atividade para o cálculo das emissões de GEE para os resíduos sólidos, também precisa ser realizada de forma diferente nos casos em que o inventário é para toda a propriedade ou apenas para a culturas específicas. Nesse sentido, pode-se utilizar as diretrizes propostas na Figura 4.

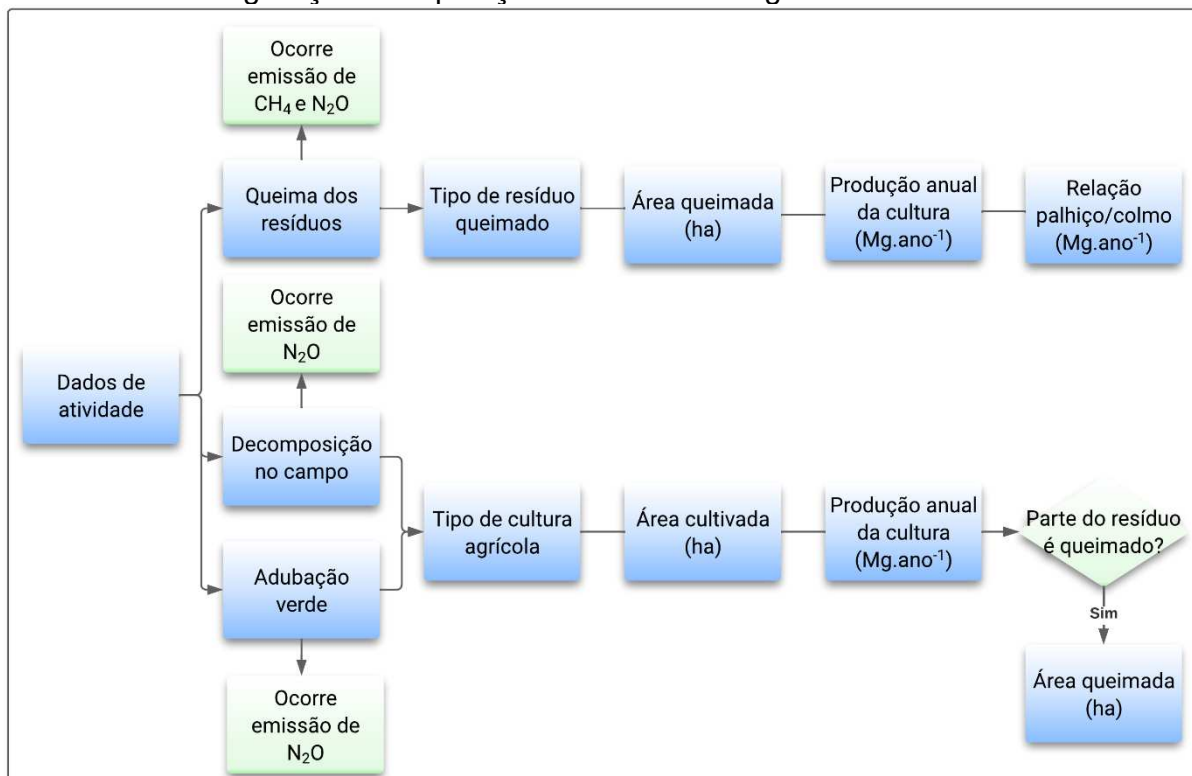
O cálculo das emissões de GEE para a fonte de resíduos sólidos pode ser realizado utilizando a metodologia e os fatores de emissão propostos no volume 5 (Resíduos) e nos capítulos 2 (Dados de Geração, Composição e Gestão de Resíduos), 4 (Tratamento Biológico de Resíduos Sólidos), 5 (Incineração e Queima Aberta de Resíduos) do IPCC (2006b; 2006f; 2006g), 3 (Descarte de Resíduos Sólidos) e 5 (Incineração e Queima Aberta de Resíduos) do IPCC (2019b; 2019c). No Brasil ainda existem poucos estudos em relação a fatores de emissões nacionais, portanto, recomenda-se a utilização dos fatores *default* propostos pelo IPCC.

#### 4.1.5. Resíduos agrícolas

Os resíduos gerados pela agricultura são aqueles produzidos no campo resultantes das atividades de colheita dos produtos agrícolas, tais como, as cascas, palhas, colmos, ramas, raízes, entre outros. As emissões de GEE dessa fonte vão variar de acordo com a destinação final dos resíduos. Na Figura 10 estão elencadas

as diretrizes para a coleta de dados e para o cálculo das emissões de GEE relacionados aos resíduos agrícolas.

Figura 10 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente a geração e disposição dos resíduos agrícolas



Comumente, pode-se ter três destinações para os resíduos agrícolas gerados em uma propriedade rural: a queima, a decomposição no campo ou a retirada do resíduo para posterior utilização como adubo em outras culturas.

O fogo sempre foi utilizado na agricultura para suprimir os resíduos agrícolas, a fim de limpar lavouras e facilitar colheitas, além de combater pragas (MCTI, 2015). A queima de resíduos agrícolas realizada diretamente no local de colheita produz emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$  (MCTI, 2020c). Também ocorre a emissão de  $CO_2$ , porém tais emissões devem ser reportadas como emissões biogênicas.

No Brasil, a queima de resíduos agrícolas ocorre principalmente na cultura da cana-de-açúcar, sendo responsável por cerca de 98% das emissões de GEE dessa fonte (MCTI, 2010).

No âmbito legislativo e governamental, regulamentações e acordos vêm sendo firmados desde meados dos anos 2000, visando regulamentar a processo de queima nos plantios de cana no Brasil. Por meio do Decreto Federal n. 2.6661 de 08/07/1998 foi estabelecido a eliminação gradual das queimadas, porém estados como Mato

Grosso do Sul, Goiás, Paraná e São Paulo estabeleceram normas específicas (DA SILVA et al., 2019).

No estado de São Paulo, por exemplo, o Protocolo Agroambiental visou a antecipação da eliminação da queima da palha da cana-de-açúcar para 2014 nas áreas com declividade inferior a 12% e 2017 para as demais áreas (DA SILVA et al., 2019).

O processo de redução da queima em canaviais foi facilitado a partir da adoção da mecanização, já que com o maquinário é possível efetuar a colheita da cana-de-açúcar crua, bem como aproveitar o palhiço (palhas, folhas verdes, etc.) como proteção natural do solo e adubo, indicando uma modificação no manejo da cultura e adoção de práticas mais conservacionistas (LIMA, 2020; TORQUATO et al., 2015).

O algodão se trata de outra cultura que comumente tinha seus resíduos queimados, porém tal prática era um método alternativo de controle fitossanitário, porém deixou de ser utilizada no início da década de 1990 (MCTI, 2010).

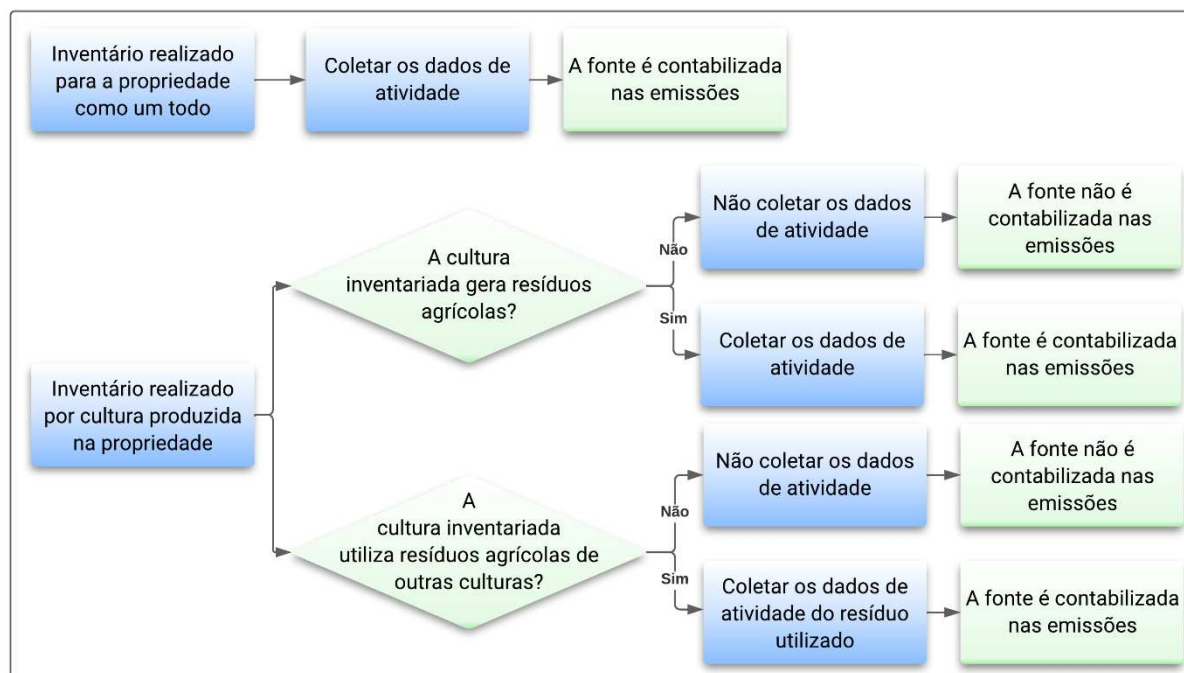
Quando a destinação final do resíduo é a decomposição em campo ou quando ocorre a transferência do resíduo de uma área para outra a fim de ser utilizado como adubo, ocorre a emissão de  $N_2O$ .

A estimativa da quantidade de nitrogênio (N) proveniente dos resíduos de colheita é realizada por meio da utilização de parâmetros como a relação entre matéria seca do produto colhido e a matéria seca dos resíduos deixados no campo, a área plantada, o conteúdo de N nos resíduos, assim como a contribuição dos resíduos aéreos e subterrâneos, já que as raízes também são fontes de  $N_2O$  (MCTI, 2020d).

Grande parte dos parâmetros citados já estão calculados para diversas culturas. Dessa forma, o produtor precisa fornecer dados tais como o tipo de cultura que gerou o resíduo, a área cultivada e a produção anual. Nos casos em que parte do resíduo é queimado e parte é deixado em campo ou utilizado como adubo em outras culturas, além das informações citadas acima, é necessário também obter o tamanho da área que foi queimada.

Na Figura 11 é possível observar as diretrizes que devem ser consideradas para realizar a coleta de dados nos casos em que o inventário de GEE é para toda a propriedade e quando ele é feito apenas para culturas específicas.

Figura 11 – Diretrizes a respeito da coleta de dados dos resíduos agrícolas para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura



Nos casos em que o inventário é apenas para culturas específicas, a diferenciação da coleta dos dados de atividade ocorre quando a cultura a ser inventariada gera esses resíduos e tenha como disposição final algum dos cenários citados anteriormente (queima, decomposição em campo ou adubação verde). Se não houver a geração de resíduos agrícolas na cultura inventariada ou se não for utilizado resíduo agrícola proveniente de outra cultura como adubo, não ocorre a emissão de GEE.

Nos inventários para toda a propriedade é necessário mapear se são gerados algum tipo de resíduo agrícola, e se sim, a sua destinação final. Nesse caso, as emissões de GEE devem ser contabilizadas independentemente da cultura que origina tais resíduos.

O cálculo das emissões de GEE para a queima de resíduos agrícolas pode ser realizado utilizando a metodologia e os fatores de emissão propostos no relatório de referência do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Setor Agropecuária e Subsetor de Queima de Resíduos (MCTI, 2020c).

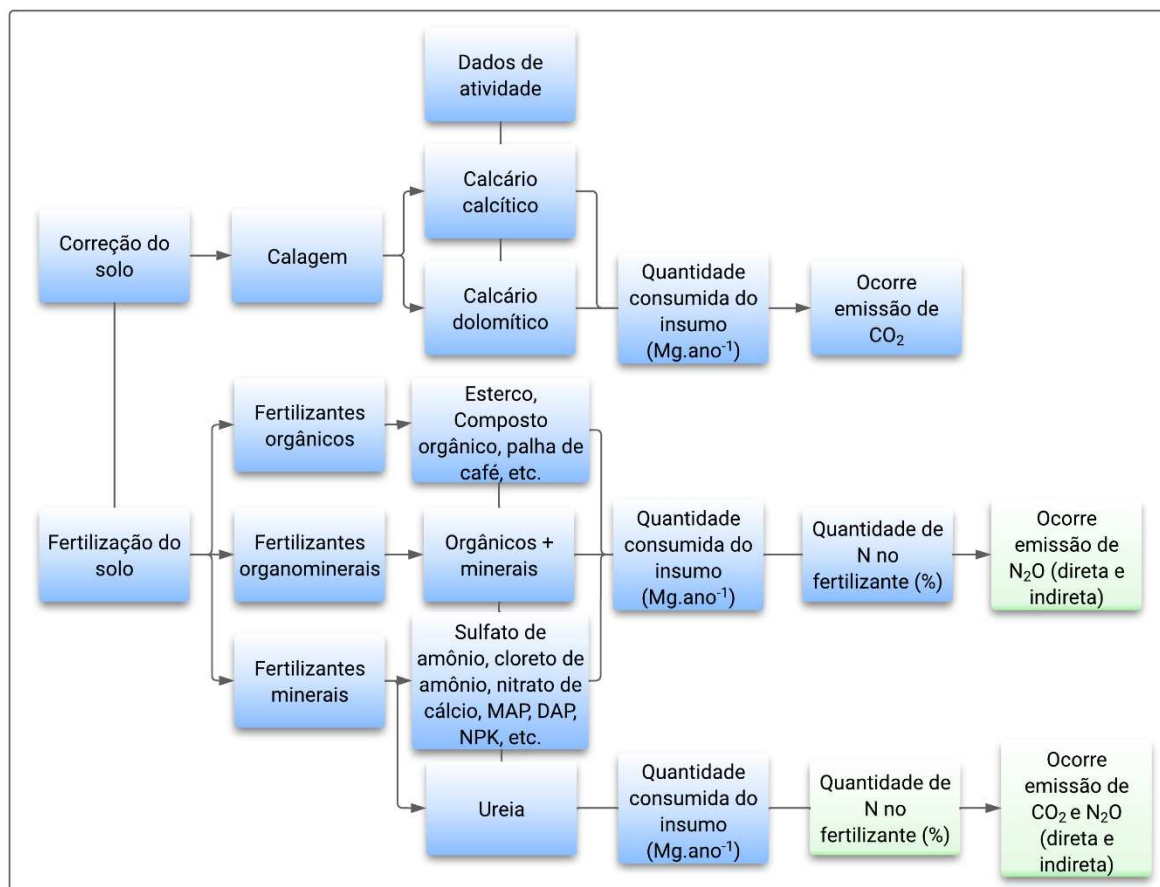
Já para a adubação ou decomposição em campo dos resíduos agrícolas pode-se utilizar a metodologia e os fatores de emissão propostos no relatório de referência do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de

Efeito Estufa: Setor Agropecuária e Subsetores Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia (MCTI, 2020d).

#### 4.1.6. Correção e fertilização do solo

Nessa fonte estão descritas informações a respeito da correção e fertilização do solo. É uma fonte que usualmente apresenta emissões expressivas em inventários de propriedades rurais, consequência da quantidade de insumos que normalmente são utilizados, e também, por ser muito usual a aplicação de fertilizantes nitrogenados o que vem a ocasionar emissões diretas e indiretas de  $N_2O$ . Na Figura 12 pode-se identificar as diretrizes para coletar os dados de atividade e calcular as emissões de GEE dessa fonte.

Figura 12 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente a correção e fertilização do solo



A necessidade da utilização de insumos visando a melhoria do solo se dá em virtude dos solos brasileiros, de forma geral, serem quimicamente ácidos e deficientes

em um ou mais nutrientes essenciais às plantas (MANERICH et al., 2022). Isso acarreta em uma redução do crescimento das raízes das plantas limitando a absorção de água, nutrientes e, conseqüentemente, a produtividade das culturas (WIETHÖLTER, 2000).

A correção da acidez aliada a outras práticas de melhoria da fertilidade e do manejo tem a função de elevar a capacidade produtiva do solo que se traduz em aumento de rendimento das culturas (WIETHÖLTER, 2000). Para essa correção, o insumo mais utilizado na camada superficial do solo é o calcário e para a subsuperficial, o gesso agrícola (RHEINHEIMER et al., 2018).

A adição de carbonatos aos solos na forma de cal como o calcário calcítico ( $\text{CaCO}_3$ ) ou dolomítico ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) leva a emissões de  $\text{CO}_2$  à medida que as moléculas carbonatadas se dissolvem e liberam bicarbonato ( $2\text{HCO}_3^-$ ), que evolui para  $\text{CO}_2$  e água (IPCC, 2006c).

Outra prática que visa a melhoria do solo e, conseqüentemente, o aumento da produtividade é a utilização de fertilizantes. Os fertilizantes podem ser classificados em: i) fertilizante mineral - produto de natureza mineral, natural ou sintético; ii) fertilizante orgânico - possui natureza orgânica, obtido com base em matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais; e iii) fertilizante organomineral - produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos (DIAS, 2006).

Embora a aplicação de fertilizantes nitrogenados ao solo seja imprescindível à produtividade das culturas, a quantidade de N perdido no sistema solo-planta-atmosfera faz com que sejam gerados altos teores de emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  (BUTTERBACH-BAHL et al., 2013; TONHAUZER et al., 2020).

As emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  ocorrem tanto de forma direta, quanto indiretamente em duas situações: i) após a volatilização da amônia ( $\text{NH}_3$ ) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) de solos manejados e a subsequente redeposição desses gases e seus produtos  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  nos solos e águas; e ii) após lixiviação e escoamento de N, principalmente como  $\text{NO}_3^-$ , de solos manejados (IPCC, 2019d).

Com o objetivo de diminuir as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  direto e indireto, os fertilizantes de origem orgânica podem ser uma alternativa viável e recomendada para esse fim. Além de possuírem os menores fatores de emissão quando comparado aos demais tipos de fertilizantes, eles impactam positivamente na qualidade do solo, bem como na produtividade (BARUAH, 2015; IPCC, 2019d).

Nas propriedades rurais a aplicação de fertilizantes orgânicos pode ser ainda mais benéfica ao se considerar a possibilidade de reutilização dos resíduos orgânicos e dejetos dos animais, uma vez que tais insumos já se caracterizariam em uma emissão efetiva pelo seu descarte. O uso desses insumos nas culturas reduz os problemas ambientais associados ao acúmulo de resíduos e diminui a necessidade de aplicar fontes nitrogenadas adicionais, o que impacta não só nas emissões de GEE, como também na economia na compra de insumos agrícolas (CANGANI, 2016).

Em conformidade com as vantagens da utilização de fontes orgânicas, a substituição de fertilizantes químicos tornou-se uma prática comum em sistemas agrícolas, bem como o surgimento de diferentes tipologias, como é o caso do fertilizante organomineral, que consiste na mistura dos fertilizantes sintéticos e orgânicos, dos pós de rochas e também dos fertilizantes de liberação lenta ou controlada.

O pó de rocha é qualquer rocha apresentada na forma de pó resultante da sequência de etapas de britagem, moagem e classificação por tamanho de partículas. Consistem em um insumo alternativo e complementar para a fertilização dos solos e nutrição das plantas (WOLFF; EICHOLZ 2022). A aplicação desse insumo pode ser caracterizada como uma prática capaz de auxiliar na recuperação e na conservação dos solos, além de reduzir a quantidade de produtos químicos aplicados aos solos, especialmente aqueles incorporados em formas altamente solúveis, como é o caso das formulações NPK (SOARES, 2018).

A diminuição da aplicação de produtos químicos, principalmente dos fertilizantes nitrogenados, impacta diretamente na emissão de  $N_2O$ . Quanto menor for a quantidade aplicada aos solos desses fertilizantes, menor será a emissão. Dessa forma, a aplicação do pó de rocha pode ser vista como uma prática utilizada para diminuir as emissões de GEE da agricultura. Portanto, é crucial priorizar a aquisição de insumos dessa natureza em âmbito regional, de forma a minimizar as emissões de GEE inerentes do transporte, visto que elas possuem uma relação indireta com a propriedade rural se caracterizando como uma emissão do Escopo 3.

Embora os pós de rochas ofereçam benefícios intrínsecos quando aplicados na agricultura, é importante destacar que nem todos esses produtos podem ser empregados como insumos. Isso se deve ao fato de que algumas variedades apresentam níveis inaceitáveis de elementos tóxicos, ou simplesmente não resultam em respostas agronômicas positivas (WOLFF; MEDEIROS 2017).

A fim de estabelecer os pós de rochas como insumos viáveis, é imperativo que eles se submetam a avaliações minuciosas conduzidas por instituições de pesquisa devidamente credenciadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Somente após essas avaliações serem realizadas e os resultados considerados positivos, tais produtos poderão ser oficialmente registrados e aprovados pelo mencionado ministério (WOLFF; EICHOLZ 2022).

Outra tipologia de fertilizante que possui potencial de diminuir as emissões de GEE da agricultura são os fertilizantes de liberação lenta e controlada. No Brasil, o potencial desses fertilizantes é pouco explorado, diferentemente do restante do mundo (SOARES, 2018). Nesses insumos existem compostos que podem controlar, química ou fisicamente, as taxas de liberação dos nutrientes (SHAVIV; MIKKELSEN, 1993). Portanto, a sua principal vantagem em relação aos fertilizantes comuns é que eles podem aumentar a eficiência da adubação nitrogenada e diminuir as perdas de N no sistema solo-planta-atmosfera, contribuindo diretamente para menores emissões de  $N_2O$  (TRENKEL, 2010).

A grande problemática em relação aos fertilizantes de liberação lenta ou controlada é que os principais órgãos responsáveis pela elaboração de metodologias de inventário de GEE (IPCC, GHG PROTOCOL, entre outros) ainda não incluíram em seus documentos oficiais fatores de emissão para essa tipologia de fertilizante, o que dificulta a exploração dos benefícios, já comprovados, desses insumos.

Outra questão a ser abordada a respeito da correção e fertilização do solo, é que diferentemente dos demais fertilizantes nitrogenados, seja ele mineral, organomineral ou orgânico, que emite apenas o  $N_2O$ , a ureia, um dos fertilizantes mais utilizados mundialmente, além do  $N_2O$  emite também o  $CO_2$ .

Quando a ureia ( $CO(NH_2)_2$ ) é introduzida nos solos, ela sofre transformações que resultam na formação de íons como amônio ( $NH_4^+$ ), hidroxila ( $OH^-$ ) e bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), sob a influência da água e das enzimas uréase (IPCC, 2006c). Paralelamente à reação observada no solo após a aplicação de cal, o bicarbonato gerado nesse processo se converte em  $CO_2$  e água (IPCC, 2006c).

Apesar de possuir elevada concentração de nutriente e, conseqüentemente, menor preço por unidade de N, é preciso identificar se a utilização de ureia é viável do ponto de vista ambiental, principalmente quando se diz respeito às mudanças climáticas. Como já citado, existem outros fertilizantes nitrogenados que sua aplicação pode vir a ser mais interessante, como por exemplo os fertilizantes orgânicos.



Sobre os agroquímicos que são amplamente utilizados nas propriedades rurais, a aplicação desses insumos não gera emissão de GEE. As emissões dos agroquímicos estão associados à fase de produção desses químicos. Portanto, caso seja de interesse do proprietário adicionar o cálculo das emissões por esses insumos, elas devem ser reportadas como emissões do Escopo 3, já que são de responsabilidades dos organismos produtores.

Da mesma forma que ocorre nas demais fontes emissoras, a coleta dos dados de atividade para o cálculo das emissões de GEE para a correção e fertilização do solo também possui diferença nos casos em que o inventário é para toda a propriedade ou apenas para culturas específicas.

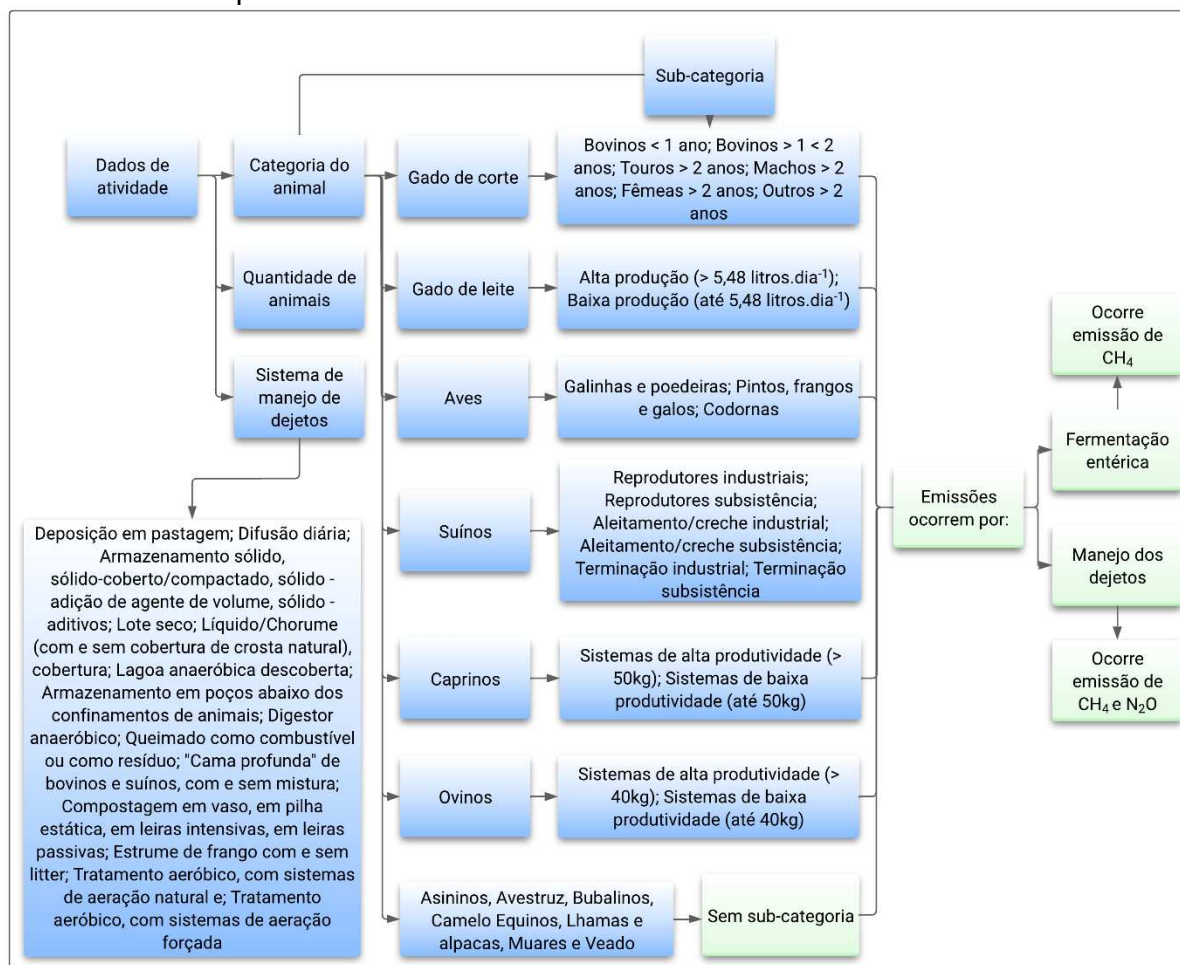
Nos inventários realizados para toda a propriedade deve-se fazer um levantamento dos insumos utilizados na propriedade e realizar a coleta de dados conforme as diretrizes apresentadas. Se o inventário for realizado apenas para uma cultura específica, deve-se coletar os dados de atividade apenas para a referida cultura. Nesse caso, mesmo que sejam utilizados insumos que geram emissões de GEE em outras culturas, não se tem necessidade de realizar a coleta dos dados, uma vez que tais culturas não entrarão no inventário de GEE.

O cálculo das emissões de GEE para a fonte de correção e fertilização do solo pode ser realizado utilizando a metodologia e os fatores de emissão propostos no volume 4 (Agricultura, silvicultura e outros usos da terra) e no capítulo 11 (Emissões de N<sub>2</sub>O de Solos Gerenciados e Emissões de CO<sub>2</sub> da Aplicação de Cal e Ureia) do IPCC (2006c e 2019d), na planilha elaborada pelo Programa Brasileiro GHG Protocol Agrícola na aba “Fatores de emissão” (GHG PROTOCOL, 2020) e na nota técnica (GHG PROTOCOL, 2016a).

#### 4.1.7. Pecuária

A produção pecuária é uma importante fonte de emissões de GEE em propriedades rurais. Nessa fonte são geradas emissões de CH<sub>4</sub> pela fermentação entérica e emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O nos sistemas de manejo dos dejetos dos animais (IPCC, 2019e). Na Figura 13 estão descritas as diretrizes para a coleta dos dados de atividade e realização do cálculo das emissões.

Figura 13 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente a pecuária



Devido a importância das emissões geradas pela fermentação entérica no gado de corte e leite, existe ainda a possibilidade de estimar as emissões de CH<sub>4</sub> por meio de um fator de emissão calculado a partir de uma série de parâmetros mais específicos, tais como a ingestão de energia bruta dos animais e o fator de conversão de metano (MCTI, 2020e).

O fator de conversão de metano é tabelado, mas a ingestão de energia bruta pelos animais precisa ser calculada. Para isso é preciso obter diversos outros parâmetros, sendo eles: energia de manutenção (Nem), energia para a alimentação (NEa), energia para a lactação (NEl), energia para o trabalho (Ned), energia para a gestação (NEp), energia para o crescimento (NEg), razão entre a energia líquida consumida para o crescimento e a correspondente energia digerível consumida

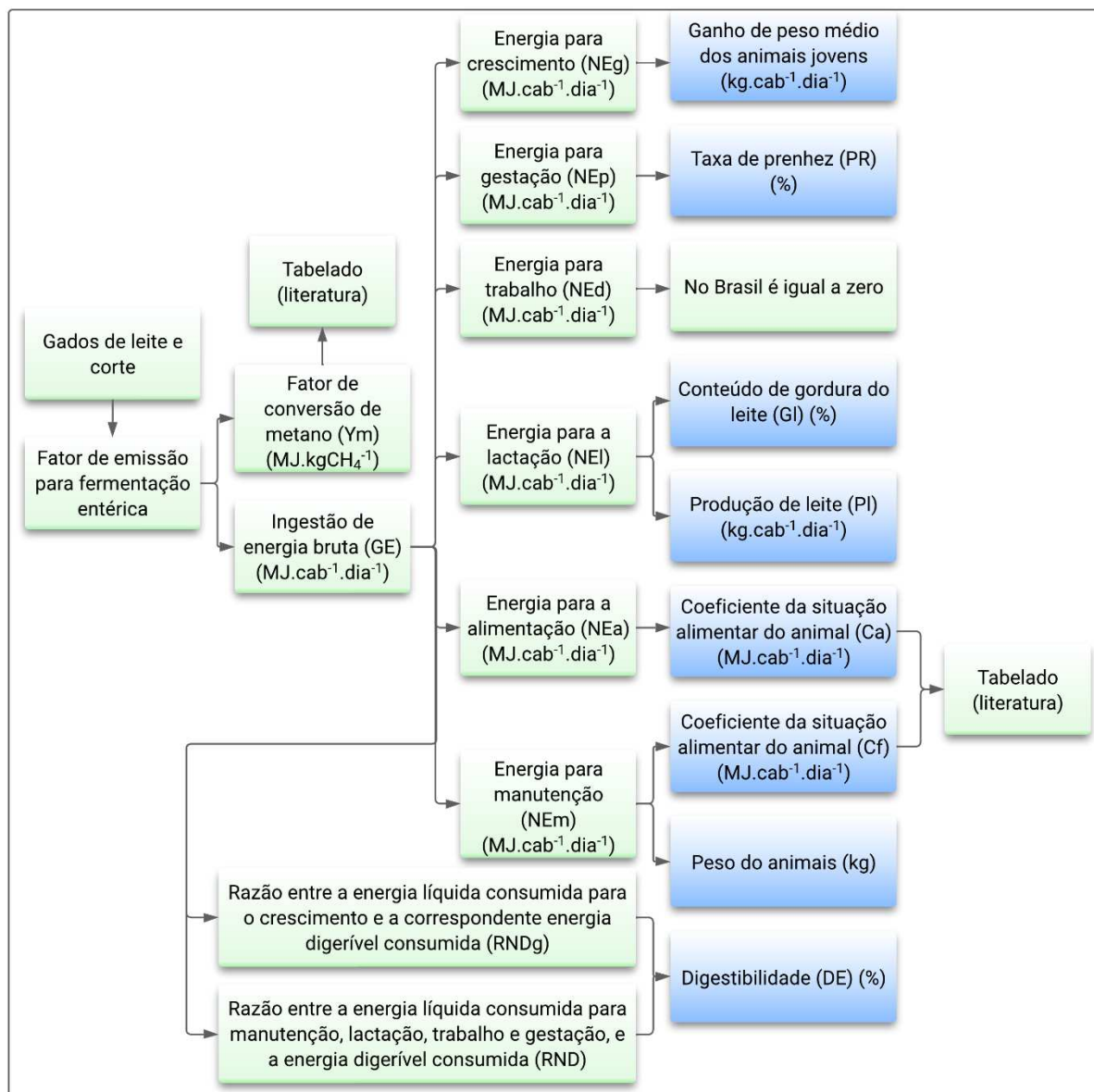
(RNDg) e a razão entre a energia líquida consumida para manutenção, lactação, trabalho e gestação, e a energia digerível consumida (RND) (MCTI, 2020e).

Na Figura 14 é possível observar os dados que são necessários para estimar cada um dos parâmetros citados, bem como outras informações.

É importante ressaltar que calcular o fator de emissão para a fermentação entérica por meio das diretrizes propostas na Figura 14 auxilia na maior precisão das estimativas das emissões da pecuária leiteira e de corte. Porém, é notório que ao considerar essa metodologia de cálculo é preciso obter informações bem específicas que grande parte dos produtores não possuem, o que acaba dificultando a realização dos cálculos por esse método. Ressalta-se também que caso o produtor tenha capacidade fornecer os dados elencados na Figura 14, ainda é necessário coletar os dados de atividade elencados na Figura 13, tais como a quantidade de animais e o sistema de manejo de dejetos.

Para as demais categorias de animais não é possível realizar o cálculo do fator de emissão para a fermentação entérica, portanto o cálculo e a coleta dos dados de atividade devem seguir as diretrizes propostas na Figura 13.

Figura 14 – Diretrizes para a realização da coleta de dados e cálculo do fator de emissão da fermentação entérica do gado de leite e de corte



Cerca de 90% do  $\text{CH}_4$  produzido em sistemas de produção animal tem como origem a fermentação entérica, sendo o restante produzido a partir dos dejetos animais (MCTI, 2020e).

A fermentação entérica é um processo anaeróbio efetuado pela microbiota ruminal que converte os carboidratos celulósicos em ácidos graxos de cadeia curta, gerando produtos menos desejáveis, como o  $\text{CH}_4$ , que é eliminado pela boca e narinas por meio da eructação e respiração (MARTIN et al., 2010).

A quantidade de  $\text{CH}_4$  liberada a partir da fermentação entérica depende do tipo de trato digestivo, idade e peso do animal, e da qualidade e quantidade da ração

consumida (IPCC, 2019e). Os animais ruminantes (gado bovino, búfalos, camelos, lhamas, ovelhas, entre outros) são as principais fontes de CH<sub>4</sub>, enquanto os animais não ruminantes (porcos, cavalos, entre outros) emitem uma quantidade inferior (CARVALHO, 2020; IPCC, 2019e).

A emissão de GEE por essa fonte é expressiva e vem sendo alvo de constates pesquisas. O mais recente desafio no sistema de produção de ruminantes é desenvolver dietas e estratégias de gestão que minimizem a produção relativa de CH<sub>4</sub>, permitindo uma maior eficiência de produção e redução no impacto negativo da pecuária sobre as mudanças climáticas (BERÇA, 2018; BERÇA, 2023; BERNDT et al., 2014).

O gado ruminante é uma das poucas fontes existentes que permite ser manipulada. A partir da modificação da fermentação ruminal, obtida pela alteração de fatores tais como o tipo e a quantidade de carboidrato suplementado à dieta, a adição de lipídios e a manipulação da microbiota ruminal a partir de aditivos alimentares, pode ocorrer a diminuição da emissão de CH<sub>4</sub> da fermentação entérica (BATISTA et al., 2021; BERCHIELLI et al., 2012).

Considerando a importância da pecuária ruminante é essencial continuar concentrando esforços em pesquisas para estabelecer formas econômicas e viáveis de reduzir a produção de CH<sub>4</sub> e melhorar a produtividade. Ainda é preciso compreender melhor as mudanças na quantidade emitida de CH<sub>4</sub> a partir das práticas relacionadas a alimentação, bem como determinar os níveis adequados de suplementação para atingir um máximo de redução de CH<sub>4</sub>, e, também a verificação dos efeitos sofridos durante longos períodos de alimentação (SHIBATA; TERADA, 2010).

Ainda nesse sentido, é preciso que os órgãos responsáveis pela elaboração das metodologias de inventários de GEE estejam sempre buscando se atualizar, procurando adicionar os avanços obtidos pelas pesquisas em seus fatores de emissão.

Além do CH<sub>4</sub> entérico a pecuária pode produzir emissões de CH<sub>4</sub> a partir do manejo adotado para os dejetos gerados pelos animais. Essas emissões podem ocorrer quando o dejetos é submetido a condições anaeróbias, ou seja, sem oxigênio, durante o armazenamento e tratamento (MCTI, 2020f).

Os principais fatores que afetam as emissões de CH<sub>4</sub> são a quantidade de dejetos gerados, dependendo da taxa de produção de dejetos por animal e do número

de animais, e também da quantidade de dejetos que se decompõem de forma anaeróbica que depende do tipo de manejo adotado (IPCC, 2019e).

Quando o dejetos é armazenado ou tratado como um líquido (por exemplo, em lagoas, tanques ou poços), ele se decompõe anaerobicamente e pode produzir uma quantidade significativa de  $\text{CH}_4$  (IPCC, 2019e). Já quando o dejetos é manuseado como um sólido (por exemplo, em pilhas), ou quando é depositado em pastagens, ele tende a se decompor em condições mais aeróbicas gerando emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  e uma quantidade pequena de  $\text{CH}_4$  (IPCC, 2019e).

Os dejetos de animais normalmente são ricos em nutrientes, inclusive de N, fazendo com que eles venham a se tornar uma fonte expressiva de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  para a atmosfera (LIMA, 2013). Essa emissão ocorre durante o armazenamento e tratamento e depende de fatores tais como o teor de nitrogênio e carbono presentes no dejetos, a duração do armazenamento e do tipo de tratamento (IPCC, 2019e).

As propriedades rurais brasileiras possuem como característica de produção pecuária a exploração de pastagens de maneira extensiva, e, portanto, o depósito dos dejetos, em grande maioria, acontece diretamente nas pastagens, decompondo-se diretamente no campo (MCTI, 2020f). Outra forma muito comum, é o recolhimento desses dejetos, principalmente quando a produção pecuária se dá a partir do confinamento dos animais, e a posterior utilização como adubo orgânico.

Quando os dejetos são depositados na pastagem e quando são utilizados como adubo orgânico o cálculo das emissões de GEE se dá da mesma forma do que o descrito para fertilizantes orgânicos. Sendo assim, são geradas emissões diretas e indiretas de  $\text{N}_2\text{O}$ . Como já citado anteriormente é recomendado utilizar os dejetos como fonte de adubação orgânica visando diminuir a aplicação de fontes adicionais de N aos solos.

Outra atividade bem vista é o uso de biodigestores nos sistemas de produção, pois estes promovem o tratamento de forma que parte da energia que seria perdida, retorna para o sistema produtivo, através da queima do gás (PASQUALINI, 2020).

Existem pesquisas que consideram as pastagens tanto como fonte de emissão de GEE como fonte de remoção. Isso irá depender, dentre vários fatores, do manejo e forma de condução da mesma. Existe potencial para que elas se tornem aliadas na mitigação das emissões de GEE geradas pela pecuária, desde que o seu manejo seja feito de forma correta utilizando de práticas tais como a adubação, irrigação, controle do número de animais, rotatividade e outros (DIAS-FILHO, 2014; SILVA, 2019).

Pesquisas já comprovam que as pastagens possuem um grande potencial em sequestrar CO<sub>2</sub> da atmosfera e os armazená-los nos solos (SILVA, 2019; XAVIER, 2014).

É notório que muitos produtores já são praticantes de um uso mais intensivo de tecnologia aliado às práticas mais sustentáveis em suas pastagens, porém em algumas situações ainda persistem os vícios de manejo praticados de forma errônea no passado. Nesses casos, ocorre a decadência da produtividade da pastagem, a qual, pode incentivar o desmatamento para a formação de novas áreas (SALOMÃO et al., 2020) o que vem a ser uma das principais fontes de emissão de GEE no Brasil.

Práticas corretas e mais sustentáveis de manejo e recuperação das pastagens contribuem para a maior produtividade das mesmas, podendo fazer com que haja uma diminuição da abertura de novas áreas de cultivo.

Ainda que haja estudos que considerem as pastagens tanto como possíveis fontes de emissão quanto como de remoção, o *GHG Protocol Agricultural Guidance* sugere que as pastagens não sejam incluídas nos inventários de GEE. Isso se deve ao fato de que a biomassa ligada à vegetação herbácea, seja ela anual ou perene, tende a ser efêmera (GHG PROTOCOL, 2023a).

As reduções ocorridas nesses estoques, seja por meio da colheita, queima dos resíduos ou decomposição da matéria orgânica morta, são prontamente equilibradas em um período relativamente curto (GHG PROTOCOL, 2023a). Portanto, qualquer sequestro em estoques de biomassa herbácea também não deve ser reportado, de acordo com o GHG Protocol (2023a).

A implantação dos sistemas denominados integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF), que nada mais é do que uma estratégia de produção sustentável que busca integrar atividades agrícolas, pecuárias ou florestais em uma mesma área, pode contribuir para a recuperação de áreas degradadas, a manutenção e reconstituição da cobertura vegetal, entre outros benefícios (ASSAD et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2014; TORRES et al., 2014). Além disso, pode-se citar outras boas práticas a serem implantadas na pecuária, tais como, o sistema de plantio direto, fixação biológica de nitrogênio, tratamento de dejetos animais, reflorestamento e outras (ASSAD et al., 2020).

Existem diversas práticas, pesquisas e discussões engajadas a respeito de como tornar a pecuária uma atividade menos danosa para o meio ambiente. Mais uma vez, como já citado, é de extrema importância que os órgãos responsáveis pela

elaboração das metodologias de inventários de GEE e de fatores de emissão se atentem para tais avanços.

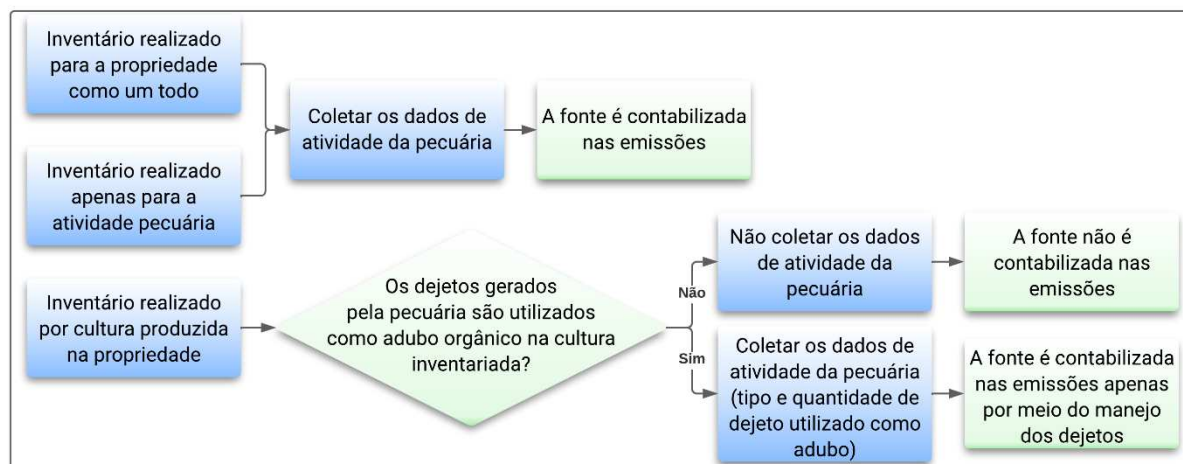
É preciso que por meio dos inventários de GEE se torne perceptível a contribuição do bom manejo e boas práticas para a redução das emissões de GEE. O que tem sido notado é que em muitos casos, diversos produtores já realizam tais atividades, mas possuem dificuldades em demonstrar isso a partir das metodologias comuns dos inventários.

Em relação à coleta dos dados de atividade, assim como nas demais fontes, a pecuária possui diferenças dependendo do tipo de inventário que se deseja realizar. Na Figura 15 estão elencadas as diretrizes para a coleta desses dados.

Diferentemente do que foi apresentado em outras fontes, nos casos em que o inventário é realizado apenas para culturas específicas e não se tenha o interesse em realizá-lo para a pecuária, é preciso se atentar, pois se os dejetos dos animais são utilizados como adubo orgânico (esterco) em alguma das culturas a serem inventariadas, a emissão deve ser calculada e reportada na fonte “correção e fertilização do solo”.



Figura 15 – Diretrizes a respeito da coleta de dados da pecuária para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura



O cálculo das emissões de GEE para a fonte pecuária pode ser realizado utilizando a metodologia e os fatores de emissão propostos no volume 4 (Agricultura, silvicultura e outros usos da terra) e no capítulo 10 (Emissões do Gado e Manejo de Estrume) do IPCC (2019e) e também a partir da metodologia e fatores de emissão propostos no relatório de referência do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Setor Agropecuária e Subsetores Fermentação Entérica (MCTI, 2020e) e Manejo dos Dejetos (MCTI, 2020f).

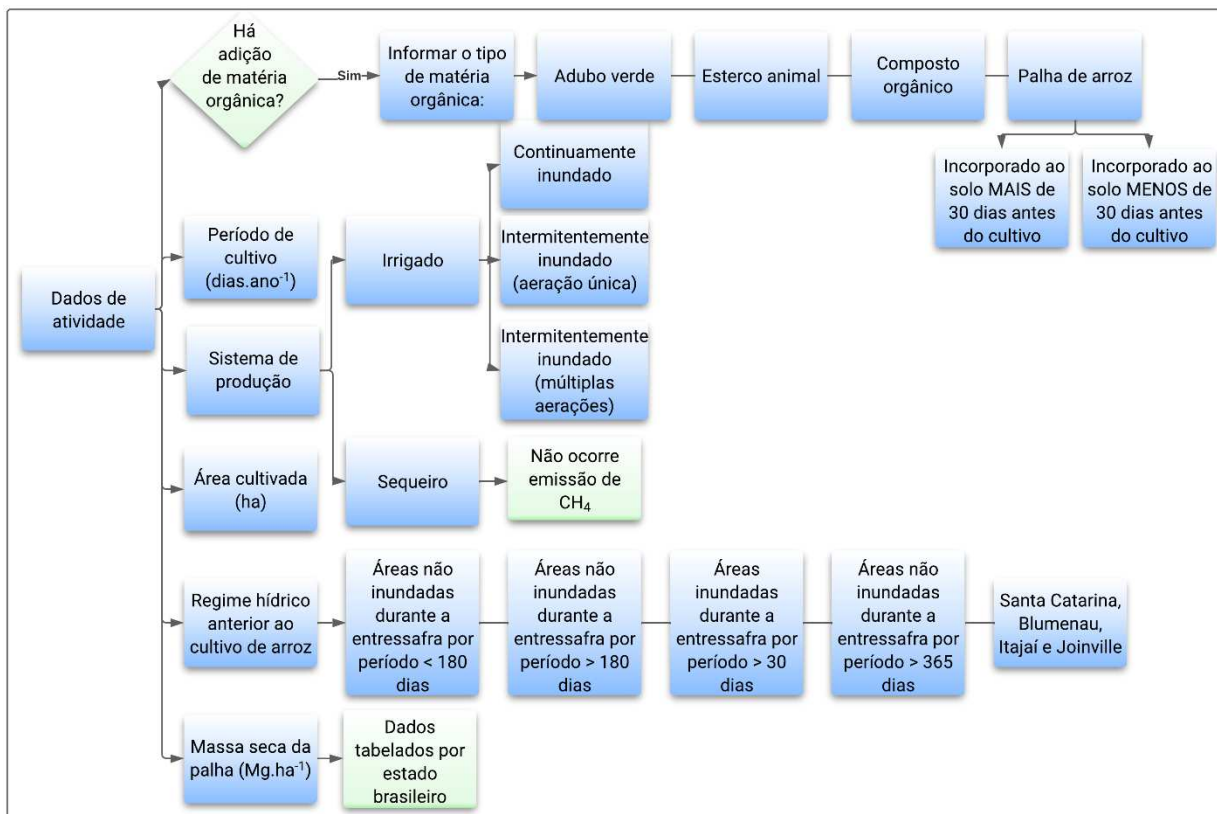
#### 4.1.8. Cultivo de arroz

O cultivo de arroz é uma das possíveis fontes de emissão que pode ocorrer em propriedades rurais, já que esse é um dos alimentos mais consumidos pelos brasileiros. Ele é produzido do norte ao sul do país por meio de sistemas de terras altas, conhecido também como sequeiro, e o de terras baixas que pode ser subdividido em irrigado e alimentado por chuvas (MCTI, 2020g). Dentre as categorias de cultivo de arroz mencionadas, no Brasil são desenvolvidos apenas os sistemas sequeiro e irrigado (MCTI, 2020g).

O sistema de produção de arroz irrigado fornece a maioria da produção nacional devido ao grande potencial produtivo das cultivares e a maior estabilidade produtiva garantida pelo sistema de irrigação (MARTINS, 2009). Apesar de concentrado em estados da região sul do Brasil, também é encontrado em outros estados onde a área cultivada é reduzida, porém com potencial para crescimento (MARTINS, 2009).

As diretrizes para a coleta dos dados de atividade e para o cálculo das emissões de GEE por essa fonte estão elencadas na Figura 16.

Figura 16 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente ao cultivo de arroz



A liberação de GEE para a atmosfera, particularmente o  $\text{CH}_4$ , ocorre devido à decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbicas estabelecidas no cultivo com o solo alagado (IPCC, 2006d; MCTI, 2020g). Dessa forma, não são associadas emissões de  $\text{CH}_4$  referentes ao sistema de cultivo sequeiro em razão da ausência dessa condição (MCTI, 2020g).

Assim como nas demais fontes é preciso se atentar ao tipo de inventário para saber se a referida fonte de emissão será ou não contabilizada. Em relação ao cultivo de arroz, os dados de atividades citados na Figura 16 serão coletados quando o inventário for especificamente para a cultura do arroz ou quando o inventário for feito para a propriedade como um todo. No caso em que o inventário for realizado para culturas específicas, que não seja o arroz (café, por exemplo), os dados de atividade não devem ser coletados pois essa fonte não deve ser considerada.

O cálculo das emissões de GEE para a fonte cultivo de arroz pode ser realizado utilizando a metodologia e os fatores de emissão propostos no volume 4 (Agricultura, silvicultura e outros usos da terra) e no capítulo 5 (Terra Agrícola) do IPCC (2019f) e também a partir da metodologia e fatores de emissão propostos no relatório de referência do Quarto Inventário Nacional de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa: Setor Agropecuária e Subsetor Cultivo de Arroz (MCTI, 2020g).

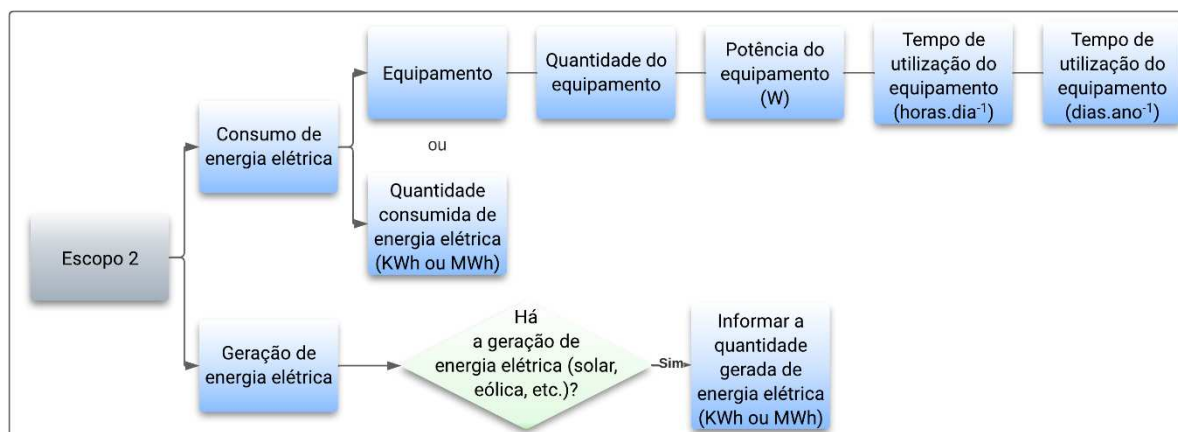
#### 4.1.9. Energia elétrica

No Brasil a produção e a transmissão de energia elétrica são realizadas por meio de um sistema hidro-termo-eólico de grande porte (ONS, 2023). Apesar da energia de origem hidráulica possuir um maior destaque na matriz energética brasileira e ser menos intensiva em emissões de GEE, a energia oriunda de termoelétricas também possui muita relevância no país, se caracterizando como segunda maior em capacidade de geração de energia. Em 2021 essa fonte foi responsável por gerar 23,5% dos 181,6 GW de capacidade instalada no Brasil (EPE, 2022).

A emissão de GEE da energia elétrica varia de acordo com os tipos de geração de energia do período inventariado. Devido a isso os fatores de emissão para a realização do cálculo são atualizados mensalmente, uma vez que nos períodos em que ocorre maior utilização das termoelétricas maior é o fator de emissão, por se tratar de uma fonte que na maioria dos casos empregam combustíveis fósseis intensos em emissão de GEE (HUNT. et al., 2018; MENDES; STHEL, 2018; SOUSA et al., 2021).

Na Figura 17 é possível observar as diretrizes para a coleta e cálculo das emissões referentes ao uso de energia elétrica nas propriedades rurais.

Figura 17 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente a energia elétrica



O dado de atividade necessário para fazer o cálculo da emissão de GEE por essa fonte é o consumo total de energia elétrica no período inventariado. Nos casos em que o inventário é realizado para a propriedade como um todo pode-se, de forma mais simplificada, obter esse consumo nas faturas de energia elétrica, uma vez que nelas são informadas o consumo mensal em KWh.

Nos inventários feitos para atividades específicas busca-se alternativas para obter tal consumo. Caso a propriedade tenha instalado padrões de energia nos locais que contemplem as atividades inventariadas, uma possibilidade é realizar leituras mensais do consumo de energia. Infelizmente, em muitas situações esses padrões não contemplam apenas o consumo de energia relacionados às atividades inventariadas. Para contornar tal situação, outra alternativa é o levantamento de todos os equipamentos elétricos utilizados nas atividades inventariadas, suas referidas potências e o tempo de utilização de cada equipamento. A partir desses dados é possível chegar em uma estimativa do consumo de energia em um período de tempo.

Além da quantidade consumida de energia, outro dado de atividade que é necessário coletar é a respeito da geração de energia elétrica, uma vez que o Brasil apresenta grande potencial para exploração de outras fontes de energias renováveis, como a eólica, a solar e a biomassa (GARCEZ, 2017; LIMA et al., 2019).

Nos últimos anos a instalação de usinas eólicas, principalmente nas regiões nordeste e sul, apresentou um forte crescimento, aumentando a importância dessa geração para o atendimento do mercado (ONS, 2023).

As propriedades rurais têm acompanhado essa tendência o que traz vantagens não só para a diminuição dos gastos a longo prazo, mas também na redução das emissões de GEE dessa propriedade.

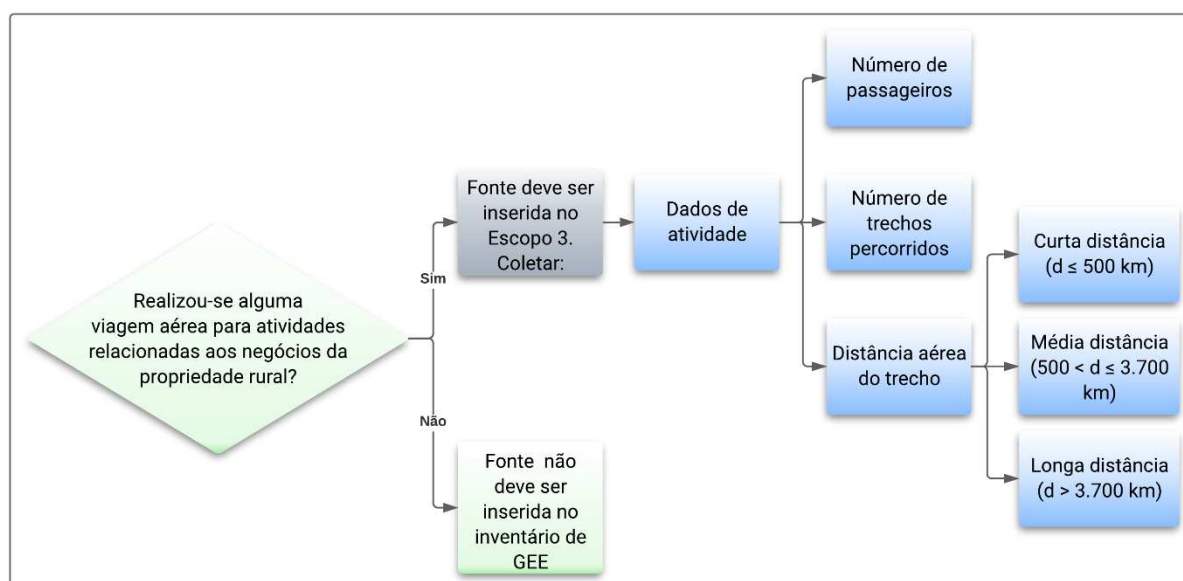
Para que tal ação seja evidenciada no inventário, recomenda-se que a quantidade consumida de energia seja subtraída do total gerado. O montante referente a geração de energia elétrica pelas fontes renováveis pode ser reportado como uma emissão evitada, visto que essas fontes não ocasionam emissões de GEE. Quando o consumo de energia for maior do que a geração, o montante oriundo da subtração desses valores deve ser considerado como uma emissão efetiva. É importante ressaltar que as emissões efetivas da energia elétrica devem ser alocadas no Escopo 2 de acordo com o conceito definido anteriormente.

Quanto aos fatores mensais utilizados para estimar a emissão de GEE gerada por essa fonte, eles podem ser encontrados no site do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2023).

#### 4.1.10. Viagens aéreas

As viagens aéreas realizadas por pessoas ligadas à propriedade rural no período de referência do inventário de GEE devem ser inclusas nessa fonte de emissão. A Figura 18 contém as diretrizes para a coleta dos dados de atividade e cálculo das emissões de GEE por essa fonte.

Figura 18 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão de GEE referente as viagens aéreas



As emissões dessa fonte devem ser reportadas no Escopo 3 e nela são consideradas as viagens aéreas realizadas pelo(s) proprietário(s) e/ou pelos funcionários da propriedade e de outras entidades relevantes, como por exemplo, prestadores de serviços terceirizados, assim como consultores e outros indivíduos que não são funcionários da propriedade rural, mas que se deslocam até ela (GHG PROTOCOL, 2018).

As emissões de GEE não devem ser calculadas quando as viagens áreas realizadas no período de referência tenha qualquer outro objetivo que não seja ligado à propriedade rural.

O cálculo das emissões de GEE para a fonte viagens aéreas pode ser realizado utilizando os fatores de emissão listados na planilha elaborada pelo Programa Brasileiro GHG Protocol na aba “Fatores de emissão” e “Fatores para transporte aéreo” (GHG PROTOCOL, 2023).

## **4.2. Fontes de emissão de GEE, remoção de CO<sub>2</sub> ou estoque de CO<sub>2</sub>**

### **4.2.1. Florestas nativas**

As florestas nativas podem atuar como fonte de emissão devido aos processos de respiração e decomposição ou como fonte de remoção devido ao seu potencial para a retirada de CO<sub>2</sub> da atmosfera e o posterior armazenamento em sua biomassa (BORGES, 2011; SABATTINI et al., 2021).

Dentre as diversas tipologias de florestas, as tropicais são exemplos de armazéns importantes de carbono. De acordo com o IPCC (2001), elas estocam cerca de 200 bilhões de toneladas de carbono. As florestas nativas localizadas no bioma amazônico são caracterizadas como um dos principais sumidouros de carbono do Brasil e do mundo, com um estoque de carbono de quase 50 bilhões de toneladas (MCTI, 2020h).

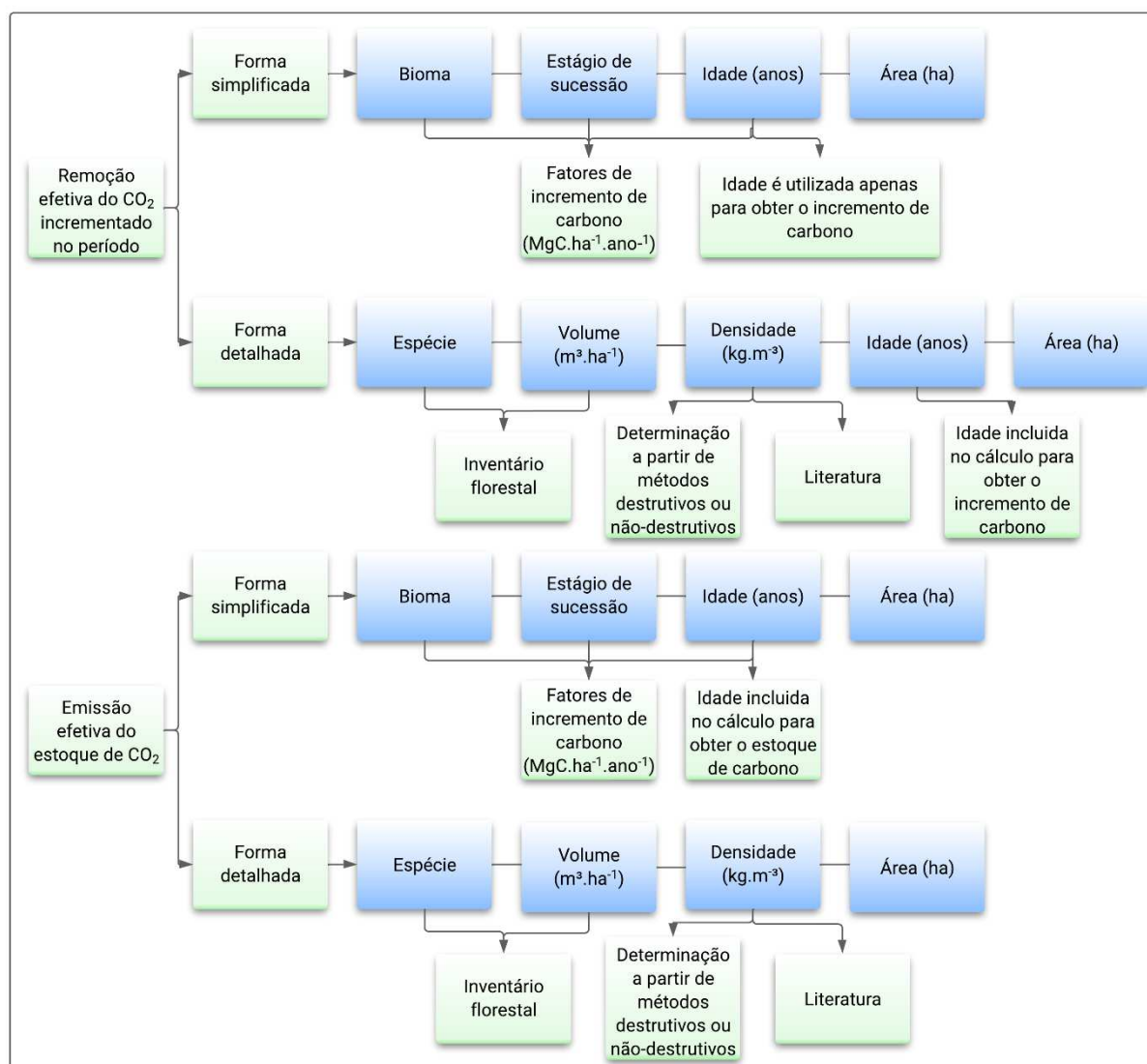
Cabe ressaltar que as florestas sustentam e proporcionam serviços ecossistêmicos vitais, como a biodiversidade, a manutenção do ciclo hidrológico, afetando diretamente o regime de chuvas e o equilíbrio ecossistêmico, entre outros benefícios (BORGES, 2011).

A conversão de áreas de vegetação nativa para qualquer outra forma de uso do solo resulta em emissões efetivas de CO<sub>2</sub>. É crucial destacar que essas emissões não devem, sob nenhuma circunstância, ser categorizadas como emissões de CO<sub>2</sub>

biogênico. Isso ocorre porque o CO<sub>2</sub> previamente armazenado na vegetação nativa é irremediavelmente liberado para a atmosfera quando ocorre a alteração no uso do solo. Essa perda de CO<sub>2</sub> é permanente e irreversível, conforme salientado pelo GHG Protocol (2023a).

As diretrizes para a coleta dos dados de atividade e para o cálculo das remoções e emissões pelas florestas nativas estão relatadas na Figura 19.

Figura 19 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão e remoção de CO<sub>2</sub> referente às florestas nativas



Os inventários de GEE normalmente são realizados para o período de um ano, de maneira que as emissões e as remoções são calculadas para esse período previamente definido. Isso significa que são consideradas como remoção apenas a quantidade de CO<sub>2</sub> que foi incrementada na biomassa florestal no período de

referência adotado. O estoque de CO<sub>2</sub>, que se refere à quantidade total de CO<sub>2</sub> na biomassa florestal, não deve ser utilizado para estimar a remoção de CO<sub>2</sub> da propriedade rural, a menos que esse montante seja dividido pela idade total do fragmento florestal para obter o incremento médio de CO<sub>2</sub>.

A situação é diferente quando se trata das emissões geradas pelo corte das árvores. Nesse caso, todo o CO<sub>2</sub> que estava estocado na biomassa é perdido para a atmosfera, de forma que o estoque deve ser considerado como uma emissão efetiva no balanço de GEE.

Para estimar a quantidade incrementada de CO<sub>2</sub> nas florestas nativas de forma mais simplificada é necessário obter fatores de incremento de carbono. Eles podem ser encontrados em estudos da literatura. É essencial que a busca dos incrementos seja realizada priorizando o maior nível de afinidade possível entre as características dos estudos e da propriedade rural inventariada.

Para a obtenção dos incrementos, deve-se levar em consideração o bioma de inserção da floresta, o tipo de formação vegetal, o estágio de sucessão, a idade da floresta, entre outras características. Ressalta-se que a quantidade de CO<sub>2</sub> estocado em uma floresta depende, entre outros aspectos, da estrutura e distribuição etária, espécie e características da região onde está inserida, como clima, tipo de solo e índice pluviométrico (MARTINS, 2005).

Após a obtenção do incremento que melhor se adequa, em MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, é necessário multiplicá-lo pela área de floresta nativa correspondente, em ha, e pelo fator de conversão de CO<sub>2</sub>-C para CO<sub>2</sub>, para obter a quantidade de CO<sub>2</sub> removida no período de referência definido.

Para estimar a emissão efetiva ocasionada pelo corte de alguma área de floresta nativa de forma mais simplificada, é preciso multiplicar o incremento de carbono, em MgC.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, pela área desmatada, em ha, pela idade aproximada do fragmento que foi cortado, em anos, e pelo fator de conversão de CO<sub>2</sub>-C para CO<sub>2</sub>.

Outra possibilidade para estimar o CO<sub>2</sub> emitido é buscar na literatura informações diretas do estoque de carbono, em MgC.ha<sup>-1</sup>, de acordo com as características da floresta nativa que foi cortada. Desse modo, basta multiplicar o fator encontrado pela área que foi desmatada, em ha, pelo fator de conversão de CO<sub>2</sub>-C para CO<sub>2</sub>.

Já na forma mais detalhada de se calcular a quantidade de CO<sub>2</sub> incrementada, a coleta dos dados se dá por meio do inventário florestal, uma metodologia que visa



obter, dentre outras informações, as quantidades dos recursos florestais (HUSCH et al., 2003).

Para se realizar o inventário florestal são efetuadas medições dendométricas das árvores tais como o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e a altura total, para posterior utilização de equações alométricas já existentes (SOARES et al., 2012). Essas equações permitem estimar o volume, a biomassa ou até mesmo o estoque de carbono ou de CO<sub>2</sub> das árvores a partir da combinação entre as variáveis coletadas pelo inventário florestal.

No caso de uma equação selecionada que forneça informações sobre o volume das árvores, é necessário calcular a quantidade de biomassa presente. Esse cálculo é baseado na densidade básica. A determinação da densidade básica pode ser realizada por meio de métodos destrutivos e não-destrutivos.

Os métodos destrutivos são os mais comuns e envolvem a coleta de amostras dos troncos das árvores, seguida da aplicação de técnicas para determinar a densidade básica. Alguns exemplos incluem o método de imersão e deslocamento, o método do máximo teor de umidade (MTU), entre outros (VITAL, 1984).

Por outro lado, os métodos não-destrutivos oferecem alternativas valiosas. Um deles é o método de tradagem com a árvore em pé, onde uma amostra de madeira com casca é extraída usando um trado. Outros métodos não-destrutivos fazem uso de equipamentos como o resistógrafo, o tomógrafo de impulso, o densitômetro de raios X e a espectroscopia de reflectância no infravermelho próximo (NIRS) (GOUVÊA et al., 2011).

Quando não é possível obter a densidade básica por meio das técnicas mencionadas acima, uma alternativa viável é recorrer à dados de densidades básicas disponíveis na literatura como é o caso do banco de dados elaborado em estudo realizado por Zanne et al., (2009).

Após a estimativa da biomassa, deve-se determinar a fração de carbono contida nela. Isso pode ser realizado de maneira direta, envolvendo a colheita de amostras da biomassa e a subsequente análise laboratorial por métodos como a combustão a seco, conduzida por um analisador elementar. Alternativamente, é possível aplicar um fator padrão de conversão de biomassa para carbono, definido como 0,47 pelo IPCC (2006e).

Finalmente, para efetuar a conversão de carbono para CO<sub>2</sub>, é preciso multiplicar a quantidade de carbono pela proporção dos pesos moleculares do carbono e do CO<sub>2</sub>, que é igual a 44/12.

Quando se utiliza a forma mais detalhada e obtém-se o volume, a estimativa da quantidade de CO<sub>2</sub> removida pelas florestas nativas pode ser realizada por meio da Equação 2.

$$IC_{FN} = \sum \frac{\left( \frac{V_i \times D_i \times f \times \frac{44}{12}}{I_i} \right)}{1000} \quad 2$$

Em que:

IC<sub>FN</sub>= Incremento de CO<sub>2</sub> pelas florestas nativas, em MgCO<sub>2</sub>e.ano<sup>-1</sup>

V<sub>i</sub>= Volume total da espécie i, em m<sup>3</sup>

D<sub>i</sub>= Densidade básica da madeira da espécie i, em kg.m<sup>-3</sup>

I<sub>i</sub>= Idade da espécie i, em anos

f= Fator de conversão de biomassa para carbono, igual a 0,47 (IPCC, 2006e)

44/12= Fator de conversão de CO<sub>2</sub>-C para CO<sub>2</sub>

Uma possibilidade que se tem é realizar o inventário florestal no primeiro ano, dividir pela idade para obter o incremento, seja de volume, biomassa, ou carbono, ou CO<sub>2</sub> e partir disso utilizar esse mesmo incremento para os inventários de GEE nos anos seguintes. Outra alternativa seria realizar o inventário florestal em dois momentos e por meio do método da diferença obter o incremento. O problema de se realizar inventários em dois ou mais momentos está em relação aos custos inerentes da mão-de-obra necessária para tal atividade, o que faz com que essa alternativa seja menos utilizada.

A emissão efetiva ocasionada pelo corte de alguma área de floresta nativa pode ser calculada por meio da Equação 3

$$EC_{FN} = \sum \frac{\left( V_i \times D_i \times f \times \frac{44}{12} \right)}{1000} \quad 3$$

Em que:

$EC_{FN}$ = Emissão de CO<sub>2</sub> pelo corte de florestas nativas, em MgCO<sub>2</sub>e.ano<sup>-1</sup>

$V_i$ = Volume total da espécie i, em m<sup>3</sup>

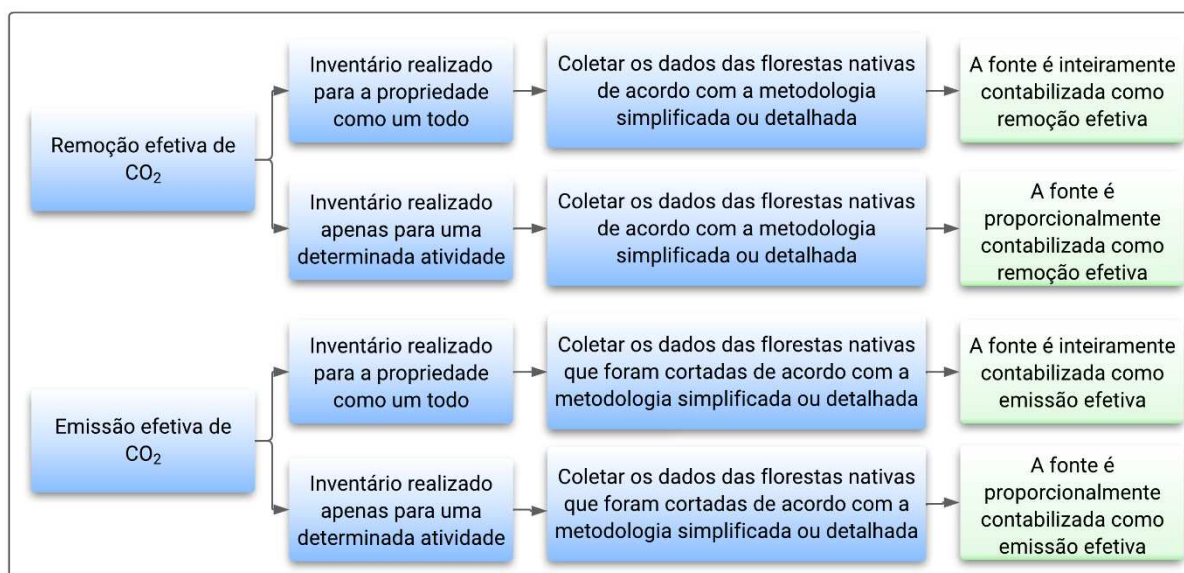
$D_i$ = Densidade básica da madeira da espécie i, em kg.m<sup>3</sup>

$f$ = Fator de conversão de biomassa para carbono, igual a 0,47 (IPCC, 2006e)

44/12= Fator de conversão de CO<sub>2</sub>-C para CO<sub>2</sub>

Sobre a realização do inventário de GEE para toda a propriedade ou para atividades específicas, a coleta dos dados das florestas nativas para a estimativa da remoção e emissão deve ser de acordo com os preceitos descritos na Figura 20.

Figura 20 – Diretrizes a respeito da coleta de dados das florestas nativas para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura



Assim como nas fontes de emissões de GEE citadas anteriormente, na remoção também é coerente que haja diferenciação a respeito da consideração total ou não dos sumidouros. Quando o inventário é realizado para toda a propriedade é cabível que a remoção efetiva pelas florestas nativas seja inteiramente considerada. Agora, quando o inventário é realizado apenas para atividade(s) específica(s), é necessário que seja calculado um percentual em relação a remoção pelas florestas nativas.

Esse percentual pode ser calculado por meio da Equação 4.

$$A_{FN\_Rel\_UsoX} = \frac{AX}{1 - AFN} - AX \quad 4$$

Em que:

$E_{FN\_Rel\_UsoX}$  = Área de floresta nativa relacionada ao uso X, em ha

$AX$  = Área de uso X, em ha

$AFN$  = Relação entre a área de floresta nativa em relação a área total da propriedade rural

Após a obtenção da área que é relacionada apenas à atividade que está sendo inventariada, o cálculo da remoção segue as diretrizes já elucidadas anteriormente.

Quando o inventário é realizado apenas para certa atividade, se houver o corte de alguma área de floresta nativa é coerente que essa emissão entre no balanço de GEE da atividade inventariada. Para isso, utiliza-se a Equação 5

$$A_{FNC\_Rel\_UsoX} = \frac{AX}{1 - AFNC} - AX \quad 5$$

Em que:

$E_{FNC\_Rel\_UsoX}$  = Área de floresta nativa cortada relacionada ao uso X, em ha

$AX$  = Área de uso X, em ha

$AFNC$  = Relação entre a área de floresta nativa cortada e a área total da propriedade rural

Após a obtenção da área de floresta nativa cortada que é relacionada apenas à atividade que está sendo inventariada, o cálculo da emissão segue as diretrizes já elucidadas anteriormente.

#### 4.2.2. Florestas plantadas

As florestas plantadas compõem um grupo de florestas muito comum em propriedades rurais. O plantio de espécies de rápido crescimento, tais como os gêneros de *Pinus* sp e *Eucalyptus* sp, tiveram uma expansão significativa desde a década de 60, principalmente devido aos incentivos fiscais ocorridos entre os anos de 1966 e 1988 (ANTONANGELO; BACHA 1998).

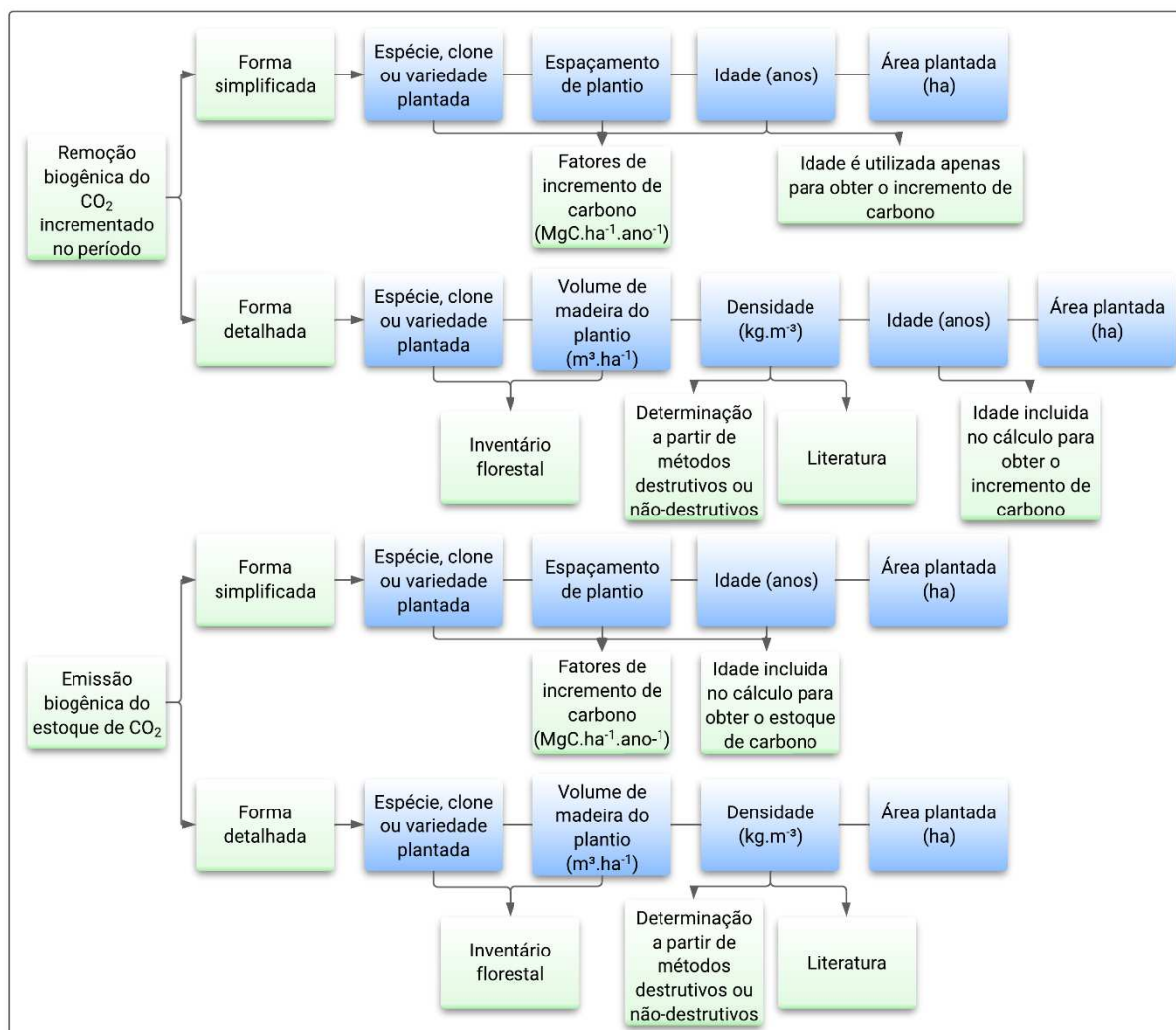
Geralmente o objetivo das árvores nas propriedades rurais é serem cortadas ou colhidas para a geração de energia, para o suprimento de madeira na construção civil, para a utilização como mourões e até mesmo de forma comercial a partir da venda para terceiros.

Como o plantio é realizado com o objetivo de produção, o corte das árvores acontecerá em algum momento no tempo. Sendo assim, convém que o CO<sub>2</sub> estocado

seja tratado como biogênico, de forma que tanto a emissão quanto a remoção de CO<sub>2</sub> das florestas plantadas sejam relatadas separadamente.

As diretrizes para a coleta dos dados necessários para calcular a remoção e a emissão biogênica das florestas plantadas estão descritas na Figura 21.

Figura 21 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão e remoção de CO<sub>2</sub> referente às florestas plantadas

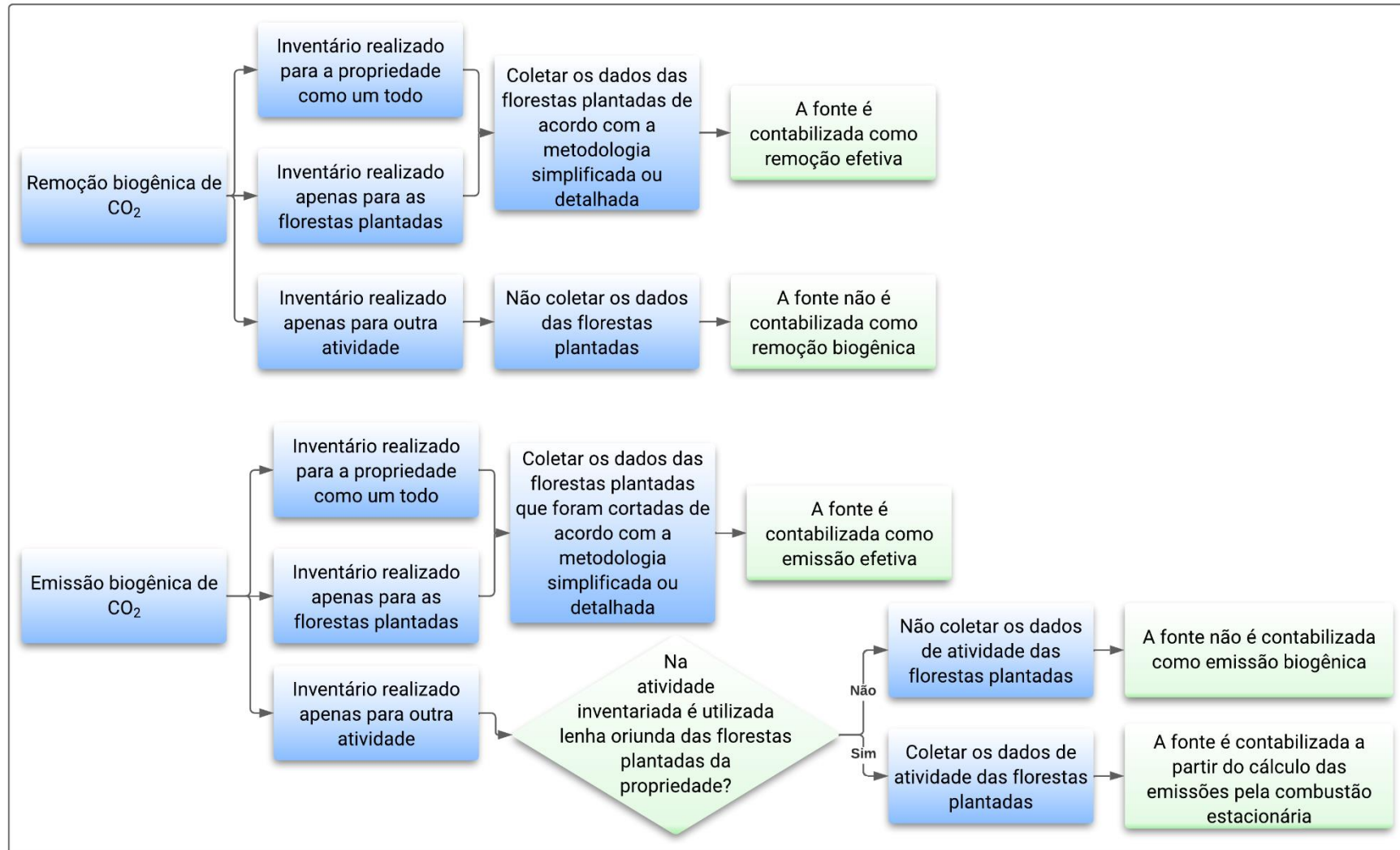


Assim como nas florestas nativas, os dados de atividade para as florestas plantadas podem ser coletados de forma simplificada e de forma detalhada. Sendo a forma simplificada utilizando as características dos plantios para a obtenção de fatores de incremento de carbono da literatura e a forma detalhada a partir do inventário florestal.

As diretrizes para coleta dos dados e cálculo da remoção e emissão biogênica pelas florestas plantadas são similares as descritas para as florestas nativas no item “4.2.2.1. Florestas nativas”.

Na Figura 22 Figura 22 é possível observar as diretrizes para a contabilização das emissões e remoções para os diferentes tipos de inventários.

Figura 22 – Diretrizes a respeito da coleta de dados das florestas plantadas para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura



Nota-se que essa só será uma fonte de emissão ou remoção quando os inventários forem realizados para a propriedade rural como um todo ou nos casos em que ele for feito para as florestas plantadas. Quando ele for realizado para qualquer outra atividade que não seja as florestas plantadas, não se tem necessidade de contabilizar as emissões e remoções biogênicas por essa fonte, a menos que a madeira de tais florestas sejam utilizadas como lenha para geração de energia térmica ou outro uso que esteja relacionado à atividade inventariada.

Como já citado anteriormente, nas propriedades rurais é muito comum utilizar a madeira de florestas plantadas como lenha nas caldeiras/fornos. Caso isso aconteça, é importante se atentar, pois se a madeira for utilizada como lenha em uma atividade que não será inventariada não se tem a necessidade de coletar os dados de atividade referentes às florestas plantadas. Agora, se a madeira for utilizada nas caldeiras/fornos de uma atividade que está sendo inventariada, torna-se necessário contabilizar os dados e atividades para realizar o cálculo das emissões de acordo com as diretrizes descritas no item “4.2.1.2. Combustão estacionária”. Um exemplo dessa situação é no inventário da produção de café em que a madeira de Eucalipto é utilizado no secador de café.

#### 4.2.3. Culturas perenes (agrícolas)

As culturas perenes são aquelas que possuem ciclos mais longos com a capacidade de produzir frutos por vários anos. Dentre as culturas perenes, o cafeeiro possui destaque como uma das principais culturas agrícolas brasileiras (HAJJAR et al., 2019), possuindo uma área total plantada de 2,2 milhões de há com uma produção de cerca de 50.920 mil sacas de café na safra de 2022 (CONAB, 2022).

Por se tratar de uma cultura de destaque no Brasil, a cada dia que passa se torna mais comum encontrar inventários de GEE relatando informações a respeito das emissões e remoções de carbono por essa fonte.

Assim como descrito para outras fontes anteriormente, as emissões e remoções do cafezal devem ser consideradas como biogênicas e relatadas separadamente, já que apenas as emissões e remoções relacionadas às florestas nativas devem ser consideradas como efetivas.

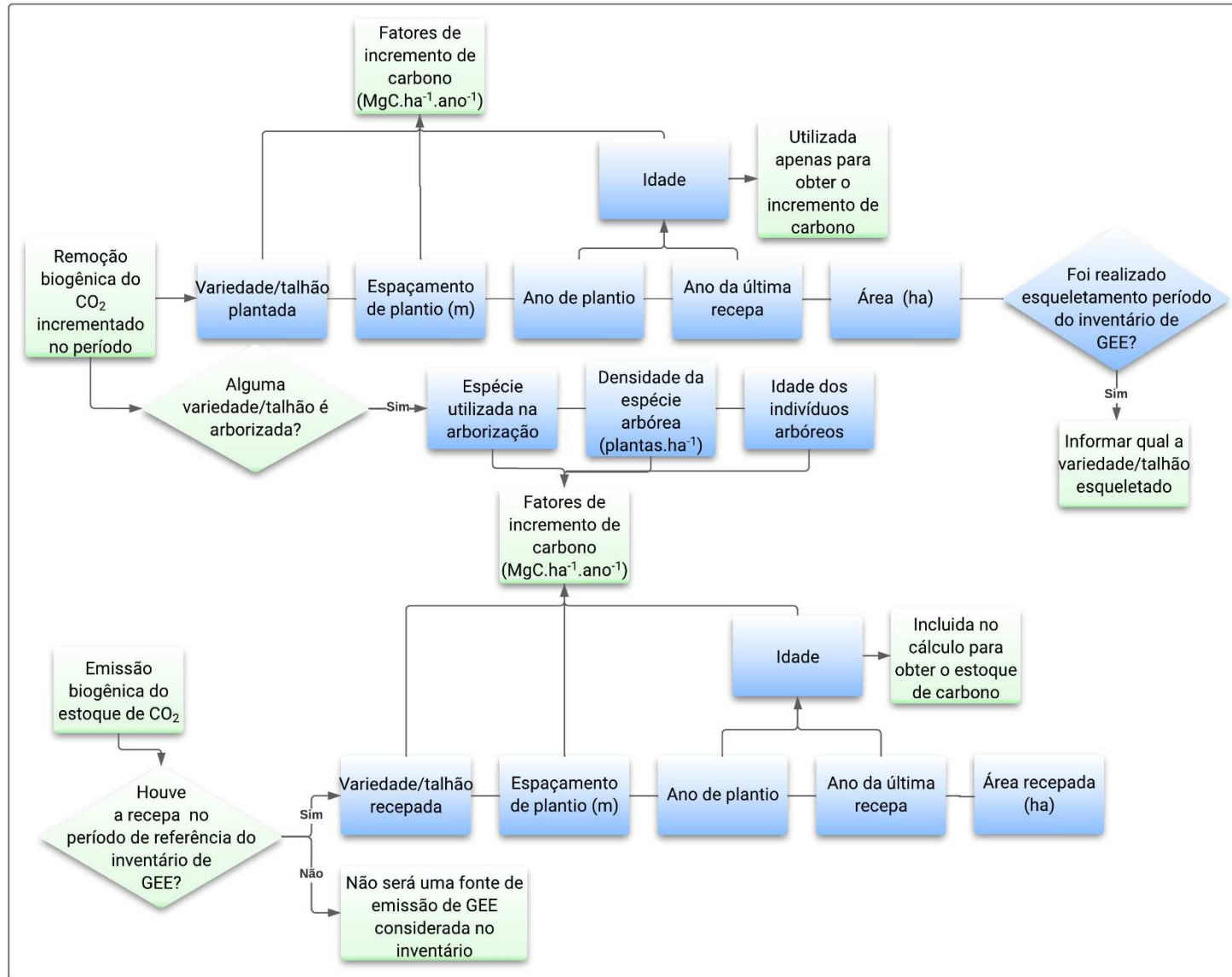
Os cafezais podem gerar emissões biogênicas por meio do corte total de seus indivíduos e posterior mudança para outra cultura ou a partir de certas práticas de manejo, como por exemplo a recepa dos pés de café. A prática da recepa consiste



em uma poda drástica que é recomendada para recuperação de cafezais depauperados (DA COSTA, 2015). Ela possibilita uma renovação total da parte aérea da lavoura fazendo com que o cafezal recupere a produtividade no segundo ano após o corte, o que pode ser uma grande vantagem desse tipo de poda (CERRI et al., 2017; MATIELLO et al., 2005). Por se tratar de um corte drástico do pé de café esse tipo de manejo faz com que o CO<sub>2</sub> estocado a partir da fotossíntese da planta seja liberado na forma de CO<sub>2</sub> biogênico.

As diretrizes a respeito das emissões e remoções de CO<sub>2</sub> pelos cafezais estão descritas na Figura 23.

Figura 23 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo da emissão e remoção de CO<sub>2</sub> referente ao cafezal



Para obter a estimativa do CO<sub>2</sub> emitido ou removido pela cultura de café é necessário buscar incrementos de carbono na literatura, utilizando informações como a variedade, idade plantada, espaçamento, local de plantio e etc.

No caso da remoção, a idade é utilizada apenas para obter o incremento de carbono já que a partir dele é possível estimar a quantidade incrementada no período de um ano. Já para estimar a emissão, é necessário usar a idade no cálculo objetivando obter o estoque de CO<sub>2</sub> da variedade que foi cortada/recepada.

Como dito anteriormente na remoção apenas o incremento de CO<sub>2</sub> no período do inventário é considerado no inventário de GEE, no caso do corte dos indivíduos todo o estoque de CO<sub>2</sub> é definido como uma emissão, e por isso, a idade acaba sendo inserida no cálculo.

Nos cafezais citou-se apenas o método simplificado para obtenção das estimativas de emissão e de remoção, ou seja, por meio de fatores de incremento da literatura. Isso ocorreu devido ao fato de que nessa cultura realizar medições diretas dos indivíduos, tais como os inventários florestais, é pouco usual. Porém, caso seja do interesse do proprietário realizar a estimativa por meio do método direto, sugere-se que sejam seguidas as diretrizes propostas para o método detalhado das florestas nativas e das florestas plantadas.

É notório o avanço de alternativas para estimar biomassa e carbono em florestas nativas e plantadas, porém em relação a outros tipos de uso do solo, como é o caso dos sistemas de produção de café, isso ainda é escasso (MEIRELES, 2018). Nesse sentido, ressalta-se a necessidade de investimento em pesquisas que busquem desenvolver modelos para estimativas mais precisas e confiáveis de biomassa e carbono em cafeeiros, tanto acima como abaixo do solo.

A elaboração desses modelos pode auxiliar os produtores de café a obterem a estimativa de CO<sub>2</sub> que é removida ou emitida pela cultura do café de forma mais precisa e menos onerosa, o que facilita demonstrar a contribuição dessa cultura para o ciclo do carbono de uma propriedade rural.

Outra situação cada vez mais comum nas propriedades rurais produtoras de café é a presença de árvores em seus cafezais. Para essa cultura, o uso da arborização tem como objetivo diminuir a exposição das plantas a riscos climáticos, tais como geadas, radiação solar em excesso, ventos e temperaturas elevadas, e também podem melhorar a fertilidade do solo e reduzir a lixiviação de nutrientes

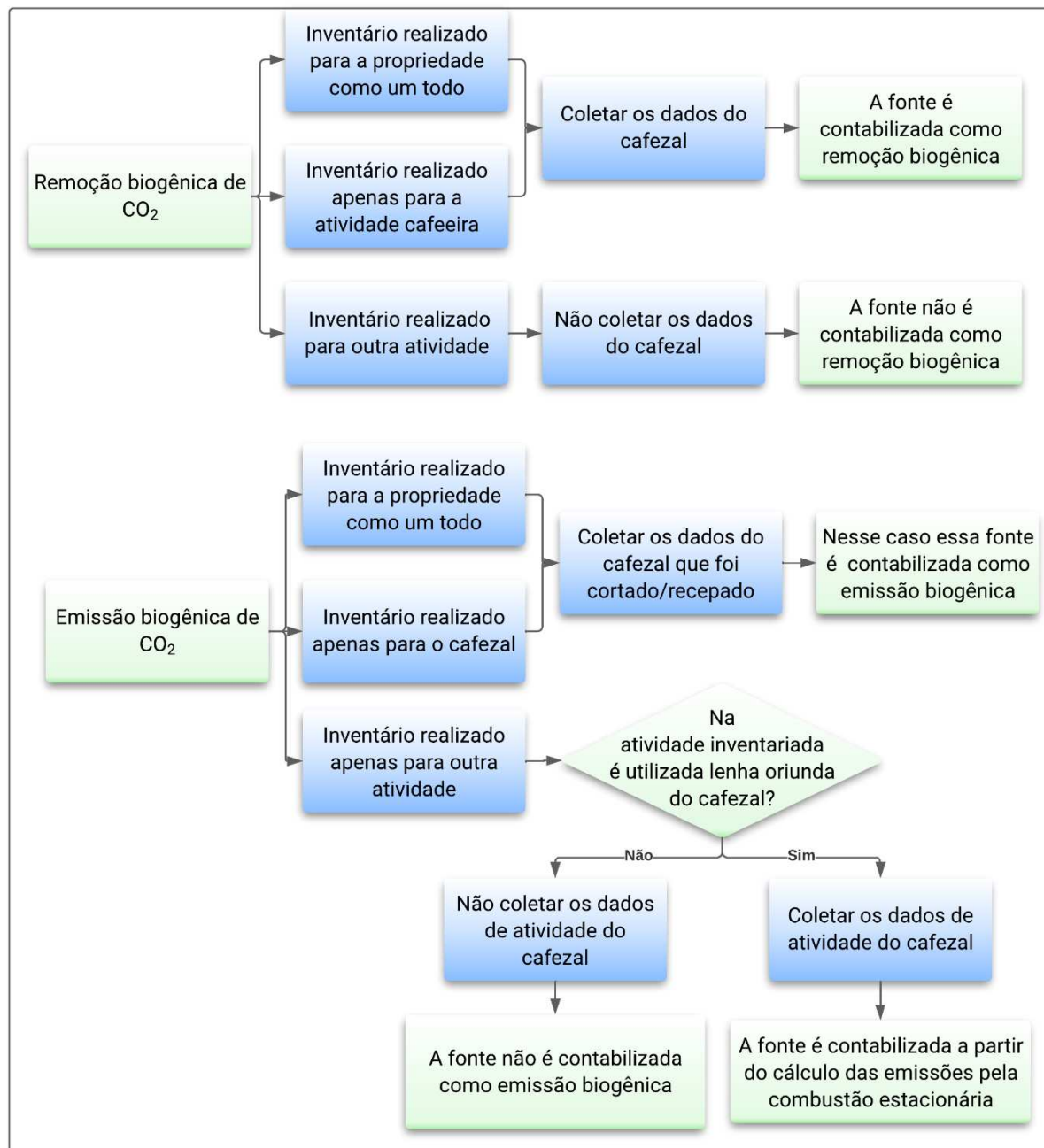
(VAAST et al., 2006). Além disso, a presença de árvores nos cafezais pode aumentar a remoção biogênica de CO<sub>2</sub> nos inventário de GEE.

Para realizar tal estimativa, pode-se utilizar das características das árvores para obter fatores de incremento de carbono, em MgC.ind.<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e multiplicá-lo pela quantidade total de indivíduos e pelo fator de conversão de CO<sub>2</sub>-C para CO<sub>2</sub>. Por outro lado, caso haja o corte de alguma árvore durante o período de refência do inventário, recomenda-se que tal emissão seja estimada utilizando os mesmos preceitos. Nesse caso, a idade pode ser inserida no cálculo para se obter o estoque de CO<sub>2</sub> emitido.

Caso hajam árvores nativas ou exóticas e frutíferas plantadas de forma individual na propriedade e/ou em espaçamentos amplos, recomenda-se que elas sejam contabilizadas como fonte de remoção biogênica, uma vez que não se tem garantia de que tais indivíduos não serão cortados. A estimativa do montante de carbono removido ou emitido deve ser realizado utilizando a mesma metodologia descrita para as árvores presentes nos cafezais.

As diretrizes em relação a contabilização das emissões e remoções para os diferentes tipos de inventários estão descritas na Figura 24.

Figura 24 – Diretrizes a respeito da coleta de dados do cafezal para inventários realizados para toda propriedade ou por cultura



Assim como nas florestas plantadas, o cafezal só será uma fonte de emissão ou remoção quando os inventários forem realizados para a propriedade rural como um todo ou nos casos em que ele for feito para a atividade cafeeira. Quando o inventário for para outras atividades, as emissões e remoções do cafezal não devem ser contabilizadas, a menos que a madeira da recepa seja utilizada como lenha para geração de energia térmica, por exemplo.

#### 4.2.4. Solo

A matéria orgânica nos solos (MOS) constitui o maior compartimento de carbono dos ecossistemas terrestres (JESUS et al., 2019; PAUSTIAN et al., 2016). Em razão desse fato, os solos desempenham um papel fundamental no balanço de GEE e a cada dia se torna um tema mais recorrente quando se trata de mudanças climáticas.

O estoque de carbono no solo está profundamente relacionado com o seu uso e também com o tipo de manejo adotado (ASSUNÇÃO et al., 2019; BERNOUX et al., 2009; SIGNOR et al., 2018). Em solos com cobertura vegetal natural, o carbono orgânico encontra-se em equilíbrio dinâmico, apresentando teores praticamente constantes ao longo do tempo (ASSUNÇÃO et al., 2019).

Com a remoção da vegetação nativa para a implantação de sistemas de manejo ou cultivo tem sido observada uma redução na quantidade de MOS com consequente aumento da emissão de CO<sub>2</sub> em forma de GEE (NANZER et al., 2019).

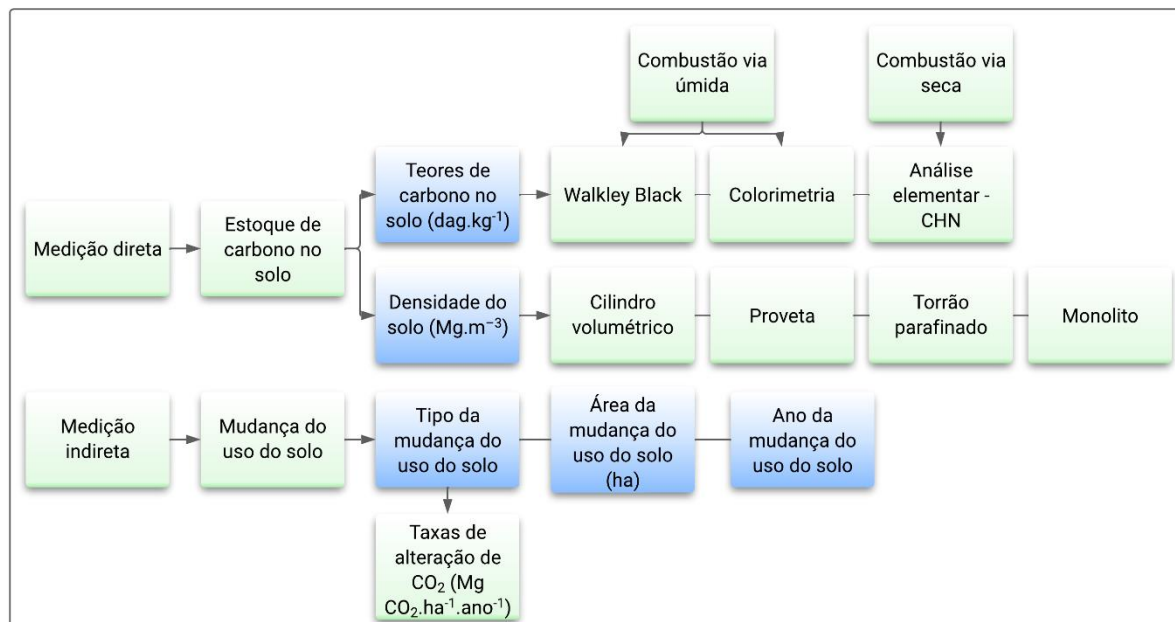
Em sistemas de manejo convencionais a perda de MOS em muitas vezes tem sido maior do que em sistemas de produção agrícola mais conservacionistas (ASSUNÇÃO et al., 2019). Isso porque práticas de cultivo convencionais podem romper os agregados do solo, o que reduz a proteção física da MOS e permite a ação de fatores de degradação, levando à perda de carbono, juntamente com processos erosivos (RAZAFIMBELO et al., 2008).

Por outro lado, a utilização de boas práticas de manejo associada ao uso adequado do solo pode levar a um aumento do estoque de carbono, melhorar as propriedades do solo e mitigar parcialmente o aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico (BERNOUX et al., 2009; PAUSTIAN et al., 2016). Portanto, o solo pode atuar como fonte de emissão e também como fonte de remoção, logo, contemplá-lo no inventário de GEE das propriedades rurais é de extrema importância.

Apesar desse tema possuir uma grande repercussão, ainda existe uma certa dificuldade de obter dados conclusivos a respeito da quantidade de CO<sub>2</sub> que é liberada, retida ou removida com a retirada da vegetação nativa para implantação de sistemas de cultivo (NANZER et al., 2019).

Na Figura 25 estão descritas as diretrizes para realização do coleta de dados e cálculo do estoque de carbono no solo.

Figura 25 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo do estoque de carbono nos solos



A estimativa da quantidade de CO<sub>2</sub> que um solo emite ou remove pode ser obtida diretamente por meio da coleta de amostras do solo, ou indiretamente utilizando taxas de alteração de carbono encontradas na literatura. Na medição direta, a seleção do método de amostragem de solo em campo deve levar em consideração o tipo de análise de carbono do solo a ser realizada em laboratório (TITO, et al., 2009).

Entre as principais formas para realizar amostragens de solo em campo, estão o estabelecimento de trincheiras e o uso de trados. A desvantagem da utilização de trincheiras é que essa técnica representa um custo mais alto e demanda um tempo maior (TITO et al., 2009).

O material coletado por meio das trincheiras ou do trado deve ser armazenado em sacos plásticos devidamente identificados e levado ao laboratório para secagem e posterior processamento (ZANATTA et al., 2015).

A determinação da profundidade de coleta dependerá do tipo de projeto, condições da área, espécies utilizadas, e profundidade prevista em que ocorrerão mudanças no estoque de carbono do solo (TITO et al., 2009). O teor de carbono total do solo diminui exponencialmente com a profundidade (DOS SANTOS et al., 2019; SILVA, 2018). Em geral, nos primeiros 0,3 m está concentrada a maior parte da quantidade de carbono orgânico total da camada de 0-1,0 m (MACHADO, 2005). Além

disso, nos primeiros 0,15 m de solo são notadas maiores alterações, perdas ou aportes, de carbono do solo (RICHTER et al., 1999).

O IPCC sugere que os estoques de carbono orgânico do solo sejam calculados para uma profundidade de pelo menos 0,3 m (IPCC, 2019g). Entretanto, alguns autores têm incentivado a investigação dos estoques de carbono do solo em camadas mais profundas, preferencialmente até 1,0 m, objetivando avaliar o impacto das mudanças no uso da terra e práticas de manejo (CERRI et al., 2013).

Quanto maior for a profundidade de obtenção das amostras, mais oneroso e caro se torna o projeto. Portanto, recomenda-se que sejam adotadas profundidades de pelo menos 0,3 m, dividindo o perfil do solo em camadas de 0,1 m, sendo que para cada profundidade selecionada, deverão ser coletadas amostras de solo separadas para análises de carbono orgânico e densidade aparente (TITO et al., 2009).

Para a determinação do carbono orgânico podem ser utilizados vários métodos, sendo os principais as técnicas por combustão úmida, baseadas em dicromatometria, e por combustão seca, que utilizam equipamentos semiautomáticos construídos com esse propósito, como por exemplo os autoanalisadores elementares (MARCHAO et al., 2019). Estes métodos vêm sendo constantemente modificados e/ou adaptados (GATTO et al., 2009).

Um exemplo de combustão via úmida é o método de *Walkley Black*, onde a MOS é oxidada com uma mistura de  $K_2Cr_2O_7$  0,167 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, sendo o excesso de dicromato titulado com sulfato ferroso amoniacal (GATTO et al., 2009). Assume-se que o dicromato reduzido durante a reação com o solo equivale ao carbono orgânico na amostra. Entretanto faz-se necessária a aplicação de um fator de correção do método, uma vez que não ocorre completa oxidação do carbono orgânico da amostra (GATTO et al., 2009). Esse método é dos mais empregados em laboratórios de solos devido a simplicidade e baixo custo, porém apresenta problemas analíticos e ambientais, devido ao uso de crômio (SEGNINI et al., 2008; WANG et al., 2012).

Os analisadores elementares (CHNS/O) trouxeram avanços nas análises por permitirem determinações rápidas e confiáveis via combustão seca a alta temperatura, sendo amplamente recomendado para a determinação de carbono com relação aos inventários de GEE e aceito como referência em estudos relacionados ao estoque de carbono dos solos (MARCHAO et al., 2019).



O método de combustão via seca utilizando analisadores elementares fornecem a quantidade de carbono total, que é composto de carbono inorgânico (de carbonatos) e orgânico (CERRI et al., 2013). Porém em grande parte dos solos do Brasil, o teor de carbono inorgânico é pequeno, sendo assim, o teor total de carbono determinado pela combustão a seco é composto principalmente de fração orgânica (CERRI et al., 2013). A grande desvantagem da utilização desse método se dá devido ao acesso limitado a esses equipamentos por laboratórios no Brasil, o que acaba restringindo o emprego dessa técnica fora da pesquisa (SEGNINI et al., 2008).

Como já elucidado, os métodos citados são responsáveis por fornecer o teor de carbono do solo. Porém para quantificar o estoque de carbono é necessário obter a densidade do solo a cada camada de profundidade e a espessura correspondente.

Existem diversos meios para estimar a densidade de um solo, tais como o método da proveta, do torrão parafinado, do monolito, entre outros (TEIXEIRA et al., 2017). O mais comum é o método do anel volumétrico que tem como princípio a obtenção da massa por pesagem e do volume pela coleta de amostras de solo com estrutura indeformada por meio de um cilindro de volume interno conhecido (TEIXEIRA et al., 2017; TITO et al., 2009).

Após a obtenção do teor de carbono e da densidade, para cada camada de solo amostrada, é preciso calcular o estoque de CO<sub>2</sub>. Esse cálculo pode ser realizado por meio da Equação 6.

$$SOC = TC \times DS \times EC \times \frac{44}{12} \quad 6$$

Em que:

SOC= Estoque de CO<sub>2</sub>, em MgCO<sub>2</sub>e.ha<sup>-1</sup>

TC= Teor de C, em dag.kg<sup>-1</sup>

DS= Densidade do solo, em Mg.m<sup>-3</sup>

EC= Espessura da camada, em m

44/12= Fator de conversão de CO<sub>2</sub>-C para CO<sub>2</sub>

Para entender se o solo foi uma fonte de emissão ou de remoção e também a quantidade de CO<sub>2</sub> emitida ou removida, é preciso que todo o procedimento descrito seja realizado em dois períodos de tempo, podendo ser no início do período do inventário de GEE e no final do período. A partir do Método da Diferença de Estoque descrito na Equação 7 (IPCC, 2019g) é possível obter a variação no estoque de CO<sub>2</sub>

no solo. Se o resultado for negativo significa que o solo emitiu CO<sub>2</sub>, se positivo, houve remoção.

$$\Delta C = \frac{SOC_{t2} - SOC_{t1}}{t_2 - t_1} \quad 7$$

Em que:

$\Delta C$ = Mudança anual nos estoques de CO<sub>2</sub> nos solos, em MgCO<sub>2</sub>e.ano<sup>-1</sup>

SOC<sub>t1</sub>= Estoque de CO<sub>2</sub> do solo no tempo t1, em MgCO<sub>2</sub>e

SOC<sub>t2</sub>= Estoque de CO<sub>2</sub> do solo no tempo t2, em MgCO<sub>2</sub>e

Para a quantificação da alteração de CO<sub>2</sub> do solo de forma indireta, o IPCC sugere o uso de fatores de mudança em função do uso da terra ou manejo, os quais são desenvolvidos para a camada de 0-0,3 m de profundidade e para o período de 20 anos de conversão (IPCC, 2019g). Ainda segundo os autores esse período de tempo é utilizado em função de ser o período em que ocorre o ganho ou perda de CO<sub>2</sub> do solo resultante da mudança do uso e cobertura da terra.

A partir dos dados de atividade necessários tais como o tipo de mudança e a área do solo em que houve a mudança, é possível chegar a uma estimativa da quantidade de CO<sub>2</sub> que foi emitida ou removida no período do inventário.

Os fatores de alteração de CO<sub>2</sub> de acordo com a mudança do uso do solo podem ser encontrados nos documentos publicados pelo MCTI (2020h) e WRI Brasil (2015). De acordo com o WRI Brasil (2015), por exemplo, ao converter uma floresta nativa em um sistema de cultivo convencional em solos com baixo teor de argila gera-se uma emissão de 0,9167 MgCO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>. Outro exemplo é a alteração de um sistema com cultivo convencional para um sistema de plantio direto que pode ocasionar em uma remoção de 1,7600 MgCO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>.

No que diz respeito à determinação se uma mudança no uso do solo causa uma emissão ou remoção de CO<sub>2</sub> efetiva ou biogênica, é importante observar que, nos casos em que a conversão de áreas de vegetação primária para outro uso resultar na liberação de estoques de CO<sub>2</sub> no solo, essas emissões devem ser incluídas nos escopos apropriados. Consequentemente, não devem ser categorizadas como emissões de CO<sub>2</sub> de origem biogênica (GHG PROTOCOL, 2023a). As demais alterações nos fluxos de CO<sub>2</sub> promovidas por outras mudanças do uso do solo devem ser consideradas como biogênicas.

Por fim, recomenda-se que essa fonte de emissão/remoção seja incluída em inventários para toda a propriedade considerando todos os solos manejados e aqueles em que houveram alguma mudança do uso nos últimos 20 anos (IPCC, 2019g). Para os inventários realizados para atividades específicas, podem ser contabilizados apenas os solos referentes a(s) atividade(s) inventariada(s).

#### 4.2.5. Necromassa

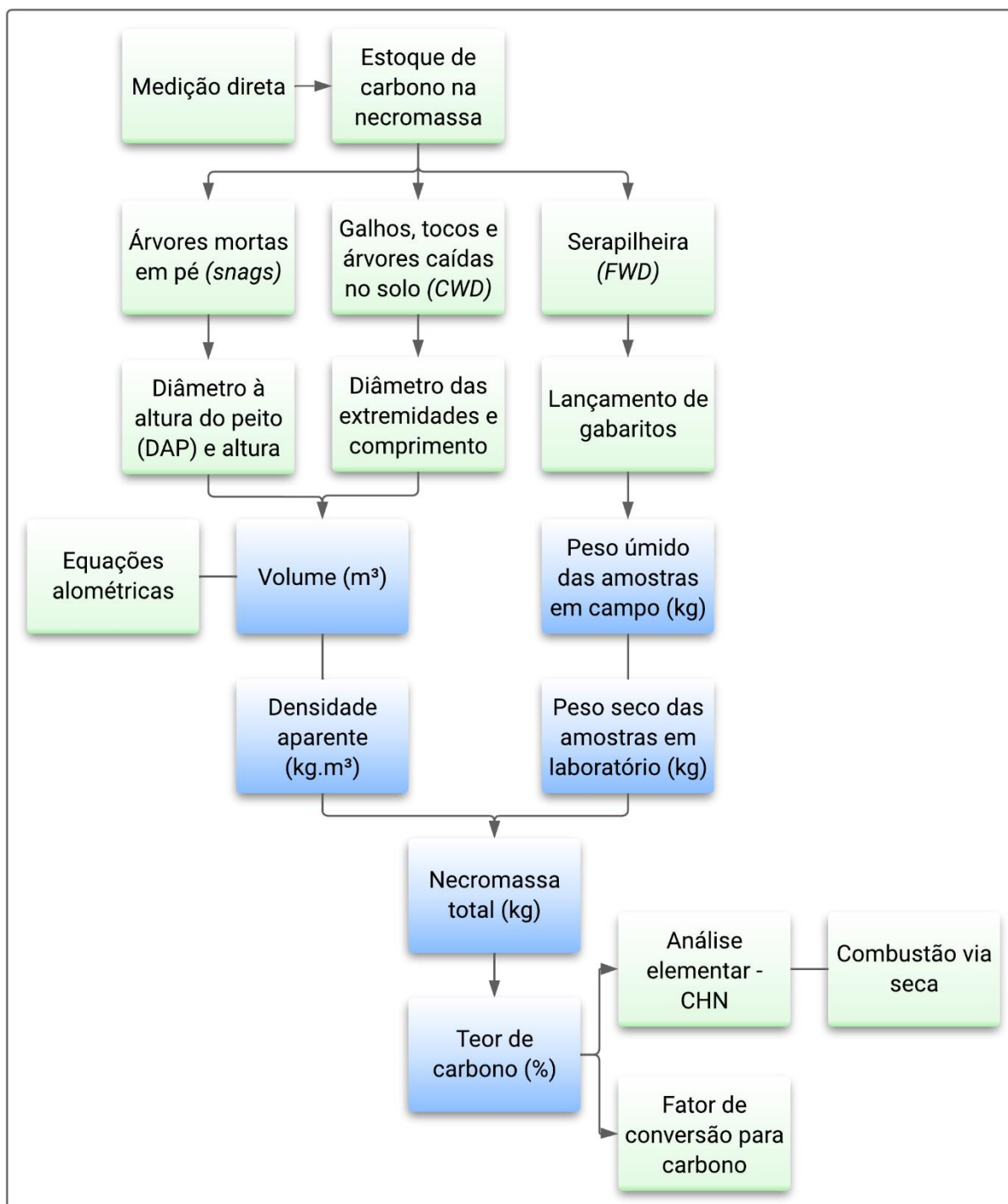
A necromassa refere-se à matéria orgânica morta presente nos ecossistemas florestais, sendo composta pela serapilheira e por diferentes tipos e tamanhos de material lenhoso tais como material morto em pé ou troncos caídos (BROWN, 1997; FREITAS, 2017; LIMEIRA et al., 2020; PALACE et al., 2007).

Os estoques e fluxos de carbono em madeira morta são importantes constituintes da dinâmica de carbono em uma floresta (MARTIN et al., 2021). De acordo com Pan et al., (2011), a madeira morta estoca cerca de 73 PgC, o que representa aproximadamente 8% do total de carbono estocado nas florestas do mundo.

Apesar da necromassa ter um relevante papel no fluxo de carbono, ela é ainda pouco relatada em inventários de GEE. Porém, caso seja do interesse do proprietário rural contabilizar esse compartimento é necessário que tal estimativa seja obtida por meio de medições diretas, evitando assim resultados equivocados de emissão ou estoque de carbono.

Na Figura 26 estão descritas as diretrizes para realização do coleta de dados e cálculo do fluxo de carbono na necromassa.

Figura 26 – Diretrizes para realização da coleta de dados e cálculo do estoque de carbono na necromassa



Para estimar o estoque de carbono na necromassa, recomenda-se que ela seja dividida em pelos menos três compartimentos: a) *CDW - Coarse Woody Debris*: que são galhos, tocos e árvores caídas no chão com  $dap \geq 5$  cm; e b) *snags*: que são árvores mortas em pé que não apresentam galhos, folhas e/ou casca com  $dap \geq 5$  cm;

e, por fim, c) *FWD - Fine Woody Debris*: que é a serapilheira com resíduos lenhosos com  $dap \leq 5$  cm (VILLANOVA, 2017).

Em relação ao *CWD* e os *snags* pode-se realizar medições primárias tais como Diâmetro à Altura do Peito (DAP), altura total, diâmetro das extremidades, comprimento, entre outros, para posteriormente utilizar equações alométricas de volume. Após isso, é necessário que sejam retiradas amostras para serem enviadas ao laboratório objetivando estimar a densidade aparente, e por fim, determinar a necromassa por meio da Equação 8.

$$N = V_i \times D_i \quad 8$$

Em que:

N= Necromassa, em kg

$V_i$ = Volume, em  $m^3$

$D_i$ = Densidade aparente, em  $kg.m^{-3}$

Para o *FWD* (serapilheira) é comum utilizar do lançamento aleatório de molduras (gabaritos) de medidas conhecidas (PAIVA et al., 2011). Após isso, o material contido dentro desse gabarito é coletado e pesado em balança de campo, sendo retiradas amostras para determinação do peso de matéria seca em laboratório (HIGA et al., 2014; TORRES et al., 2013). Após a determinação do peso seco, pode-se obter a necromassa seca total pela Equação 9 (SOARES; OLIVEIRA, 2002).

$$MS_c = \frac{Mu_a \times Ms_a}{Mu_a} \quad 9$$

Em que:

$MS_c$ = Massa de matéria seca total no campo, em kg

$Ms_a$ = Massa de matéria seca das amostras, em kg

$Mu_a$ = Massa de matéria úmida das amostras, em kg

$Mu_c$ = Massa de matéria úmida total no campo, em kg

A estimativa da quantidade de carbono presente na necromassa pode ser obtida ao multiplicar o total de necromassa pelo fator de conversão para carbono igual a 0,47 conforme recomendado pelo IPCC (2006e), ou pode-se retirar subamostras dos materiais para serem encaminhadas para análise do conteúdo de carbono (BATISTA et al., 2020).

A análise da quantidade de carbono contida nas subamostras pode ser feita considerando várias metodologias, como por exemplo, o método de combustão a seco, por meio do analisador elementar, descrita para obtenção de teores carbono nos solos (GOULART et al., 2012). Uma etapa subsequente, envolve a extrapolação do estoque de carbono por amostra para a escala de hectare (PAIVA et al., 2011). Para se converter a quantidade de carbono em CO<sub>2</sub>, basta multiplicar o montante pelo fator de conversão de CO<sub>2</sub>-C para CO<sub>2</sub>, igual a 44/12.

Assim como descrito para o solo, é necessário utilizar do Método da Diferença de Estoque para obter o fluxo de CO<sub>2</sub> da necromassa durante o inventário de GEE (IPCC, 2006e). O estoque de CO<sub>2</sub> ou a emissão pela necromassa deve classificado como biogênica.

Por fim, caso essa fonte seja contabilizada, recomenda-se que nos inventários para toda a propriedade seja considerada a necromassa localizada em todos os solos de florestas nativas, florestas plantadas, culturas agrícolas perenes e etc. Em inventários realizados por cultura, podem ser contabilizadas as necromassas referentes a(s) culturas(s) inventariada(s) e do montante de florestas nativas consideradas na remoção de CO<sub>2</sub>.

## **5. CONCLUSÕES**

As diretrizes desenvolvidas possuem potencial de solução para a complexidade inerente à realização dos inventários de emissões de GEE e de remoção de CO<sub>2</sub> em propriedades rurais.

As diretrizes oferecem aos elaboradores dos inventários um roteiro a ser percorrido, independentemente do grau de familiaridade que possuam com as distintas metodologias existentes. Essa abordagem não só simplifica o processo, como também podem conferir maior precisão e confiabilidade aos inventários realizados.

É importante ressaltar que as diretrizes não se limitam a oferecer um compilado das metodologias existentes. Elas também abordam estratégias concretas que os gestores das propriedades rurais podem adotar para reduzir as emissões de GEE e aumentar a remoção de CO<sub>2</sub>. Essa abordagem além de beneficiar o meio ambiente, alinha-se com uma produção mais limpa e sustentável, o que pode conferir uma vantagem competitiva, especialmente em mercados externos que valorizam produtos agrícolas produzidos de maneira responsável.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, M. C. S.; ALBUQUERQUE, A. M.; FREITAS, A. R. P. Uso do *Greenhouse Gas Protocol* para mensurar emissões de gases do efeito estufa e desenvolver projetos de mitigação. *Revista Pretexto*, v. 16, n. 2, p. 11-30, 2015.
- ANTONANGELO, A.; BACHA, C. J. C. As fases da silvicultura no Brasil. **Revista brasileira de economia**, v. 52, n. 1, p. 207-238, 1998.
- ASSAD, E. D. et al. Efeito das mudanças climáticas na agricultura do Cerrado. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (ed.). **Dinâmica Agrícola no Cerrado: Análises e Projeções**. Brasília: Embrapa, p. 213–228, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12209:2011. Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14.064-1: Gases de efeito estufa. Parte 1: Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSUNÇÃO, S. A. et al. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 658, p. 901–911, 2019.
- BARUAH, A. et al. Organic Manures and Crop Residues as Fertilizer Substitutes: Impact on Nitrous Oxide Emission, Plant Growth and Grain Yield in Pre-Monsoon Rice Cropping System. **Journal of Environmental Protection**, v. 6, n. 07, p. 755–770, 2015.
- BATISTA, D. B. et al. Aporte de serapilheira e teor de carbono orgânico em um fragmento florestal urbano. **Nature and Conservation**, v. 13, n. 4, p. 22–30, 2020.
- BATISTA, L. F. D. et al. The influence of extended supplementation of quebracho extract to beef steers consuming a hay diet on digestion, ruminal, and blood parameters. **Journal of Animal Science**, v. 99, n. 5, p. 1–12, 2021.
- BERÇA, A. S. **Avaliação do efeito mitigador de metano entérico em pastagens de capim-marandu consorciadas com amendoim forrageiro ou adubadas com fertilizante nitrogenado**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2018.
- BERÇA, A. S. **Suplementação energética e uso de taninos condensados como estratégias para intensificação da pecuária de corte**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2023.



BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; CANESIN, R. C. Produção de metano entérico em pastagens tropicais. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, p. 954–968, 2012.

BERNDT, A. et al. Mitigação da Emissão de Gases da Produção Animal. In: PALHARES, J.C.P., GEBLER, L. (ed.). **Gestão Ambiental na Agropecuária**. Brasília: Embrapa, p. 285–318, 2014.

BERNOUX, M. et al. Sistemas de cultivo, sequestro de carbono e erosão no Brasil: uma revisão. **Agricultura sustentável**, p. 75–85, 2009.

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 152–169, 2008.

BORGES, L. C. R. **Redução de emissões por desmatamento e degradação - REDD: desafios e oportunidades para o Brasil no contexto das mudanças climáticas**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Safra 2022. Brasília, DF Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, v. 9, n. 4, p. 1–52, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>>. Acesso em: 24 fev. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Portaria nº 75 de 05 de março de 2015**: Portaria do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2015. Disponível em: < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=281775>>. Acesso em: 22 jul. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. **Fator médio - Inventários corporativos**. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/dados-e-ferramentas/fatores-de-emissao>. Acesso em: 18 jan. 2023.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. **Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Acesso em 27 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. **Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: Setor Resíduos. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, 2020b. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Acesso em 27 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. **Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: Setor

Agropecuária Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, 2020c. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Acesso em 27 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. **Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: Setor Agropecuária Subsetores Solos Manejados, Calagem e Aplicação de Ureia. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, 2020d. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Acesso em 28 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. **Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: Setor Agropecuária Subsetor Fermentação Entérica. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, 2020e. Disponível em <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Acesso em 29 nov. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. **Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: Setor Agropecuária Subsetor Manejo de Dejetos. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, 2020f. Disponível em <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Acesso em 30 nov. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. **Quarto Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: Setor Agropecuária Subsetor Cultivo de Arroz. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, 2020g. Disponível em <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Acesso em 14 dez. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. **Quarto Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: Setor Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, 2020h. Disponível em <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Acesso em 01 fev. 2023.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. **Segundo Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: Setor Agropecuária Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, 2010. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Acesso em 27 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. **Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**: Setor Agropecuária Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, 2015. Disponível em:

<<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>>. Acesso em 27 set. 2022.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1997. 55 p.  
BUTTERBACH-BAHL, K. et al. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls?? **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1621, p. 20130122, 2013.

CANGANI, M. T. **Fertilizantes e sistemas de irrigação: emissões de gases de efeito estufa no cultivo do milho**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.

CARVALHO, B. P. **Considerações sobre a sustentabilidade ambiental, social e económica dos hábitos alimentares ocidentais**. Dissertação (Mestrado em Estudos de Desenvolvimento) Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, 2020.

CERRI, C. C. *et al.* Estoques de carbono e nitrogênio no solo devido a mudança do uso da terra em áreas de cultivo de café em minas gerais. **Coffee Science**, v. 12, n. 1, p. 30–41, 2017.

CERRI, C. E. P. *et al.* Quantifying soil carbon stocks and greenhouse gas fluxes in the sugarcane agrosystem: point of view. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 361–368, 2013.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA. **Resolução nº 16 de 29 de outubro de 2018**. Resolução do conselho Nacional de Política Energética. Diário Oficial da União. Seção 1. p. 215, 8 de novembro de 2018. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=369098>>. Acesso em: 22 jul. 2022.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA. **Resolução nº 25, de 22 de novembro de 2021**. Resolução do conselho Nacional de Política Energética. Diário Oficial da União. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/despacho-do-presidente-da-republica-367937138>>. Acesso em: 22 jul. 2022.

CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA. **Resolução nº 3, de 20 de março de 2023**. Resolução do conselho Nacional de Política Energética. Diário Oficial da União. Seção 1, p. 196, 20 de março de 2023. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/despacho-do-presidente-da-republica-473383252>>. Acesso em: 22 mai. 2023.

CUADRA, S. V. et al. Mudanças climáticas e a agropecuária brasileira. **Ação contra a mudança global do clima**, p. 21, 2018.

DA COSTA, R. S. C. *et al.* Influência da prática da recepa no cafeeiro sobre os fungos micorrizicos arbusculares. In: IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2015, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Consórcio Pesquisa Café. 2015.

DA SILVA, R. P.; GILIO, L.; CASTRO, N. R. Impactos da eliminação da queimada da cana sobre o setor sucroenergético: uma análise de equilíbrio geral. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 50, n. 1, p. 9-21, 2019.

DE MENEZES, F. G. et al. O papel dos biodigestores na agropecuária para mitigação das mudanças climáticas: uma análise dos benefícios ambientais. In: PACHECO, C. S. G. R. (org.). *Mudanças climáticas e seus impactos socioambientais: concepções, fundamentos, teorias e práticas mitigadoras*. Guarujá: **Científica Digital**, Cap. 18, p. 276-289, 2023.

DE SOUSA ALVES, D. et al. The Importance of Mitigation and Adaptation Measures to Climate Change in Brazilian Agriculture. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 108413-108425, 2021.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. Fertilizantes: uma visão global sintética. **BNDES Setorial**, n. 24, p. 97–138, 2006.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10a01.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2022.

DOS SANTOS, K. F., et al. Teores e estoques de carbono orgânico do solo em diferentes usos da terra no Planalto Sul de Santa Catarina. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 2, p. 222–229, 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2022: Ano-base 2021**. Relatório Síntese. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Fact%20Sheet%20%20Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202022.pdf>. Acesso em: 18 jan. de 2023.

FREITAS, F. C. D. **Estoque de necromassa em floresta não manejada e manejada no estado do Amazonas**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

GARCEZ, C. G. Distributed electricity generation in Brazil: An analysis of policy context, design and impact. **Utilities Policy**, v. 49, p. 104–115, 2017.

GATTO, A. et al., Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 735-740, 2009. Acesso em: 10 de mar. de 2023.

GOULART, A. C. et al. **Estoque de carbono e nutrientes na Serapilheira e solos de fragmentos florestais da Mata Atlântica do Estado Rio de Janeiro**. Comunicado técnico, 6. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 6p.

GOUVÊA, A. F. G. et al. Determinação da densidade básica das madeiras de Eucalyptus por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, v. 35, n. 2, p. 349–358, 2011.

HAJJAR, R. et al. Scaling up sustainability in commodity agriculture: Transferability of governance mechanisms across the coffee and cattle sectors in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 124–132, 2019.

HIGA, R. C. V. et al. **Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, v. 1, 2014. 87 p.

HUNT, J. D.; STILPEN, D.; DE FREITAS, M. A. V. A review of the causes, impacts and solutions for electricity supply crises in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 88, p. 208–222, 2018.

HUSCH, B.; MILLER, C.I; KERSHAW, J. **Forest mensuration**. 4. ed. New Jersey: John Willey e Sons, Inc, 2003. 443 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. Working Group II. TAR: Summary for Policymakers** EUA.: IPCC, 2001. p. In Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar3/wg2/>. Acesso em: 17 de jun de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. IPCC, 2007. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4\\_wg1\\_full\\_report-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ar4_wg1_full_report-1.pdf). Acesso em: 17 de jun de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. United Kingdom and New York, NY, USA. IPCC, 2013. p. In Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>. Acesso em: 20 de jul 2022

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers**. Switzerland.: IPCC, 2021. p. In Press. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf) Acesso em: 17 de jun de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories: reporting instructions**. IPCC, v. 1, 1996. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/revised-1996-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>. Acesso em: 05 abr. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: General Guidance and Reporting: Introduction**. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 1, ch. 1, 2006. Disponível em: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1\\_Volume1/V1\\_1\\_Ch1\\_Introduction.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_1_Ch1_Introduction.pdf). Acesso em: 03 de ago. de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Energy: Mobile Combustion**. Japan: Institute for

Global Environmental Strategies (IGES), v. 2, ch. 3, 2006a. Disponível em: <[https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2\\_Volume2/V2\\_3\\_Ch3\\_Mobile\\_Combustion.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf)>. Acesso em: 03 de ago. de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Waste: Waste Generation, Composition and Management Data.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 5, ch. 2, 2006b. Disponível em: <[https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_2\\_Ch2\\_Waste\\_Data.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_2_Ch2_Waste_Data.pdf)> Acesso em: 26 de set. de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use: N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, And CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), ch. 4, n. 11, 2006c. Disponível em: <[https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_11\\_Ch11\\_N2O&CO2.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf)> Acesso em: 29 de nov. de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use: Cropland.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 4, ch. 5, 2006d. Disponível em: <[https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_05\\_Ch5\\_Cropland.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_05_Ch5_Cropland.pdf)> Acesso em: 14 de dez. de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use: Forest Land.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 4, ch. 4, 2006e. Disponível em: <[https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_04\\_Ch4\\_Forest\\_Land.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf)> Acesso em: 09 de jan. de 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Waste: Biological Treatment of Solid Waste.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 5, ch. 4, 2006f. Disponível em: <[https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_4\\_Ch4\\_Bio\\_Treat.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_4_Ch4_Bio_Treat.pdf)> Acesso em: 26 de set. de 2022

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Waste: Incineration and Open Burning of Waste.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 5, ch. 5, 2006g. Disponível em: <[https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_5\\_Ch5\\_IOB.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_5_Ch5_IOB.pdf)> Acesso em: 26 de set. de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Introduction.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 1, ch. 1, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html> Acesso em: 29 de abr. de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Waste: Wastewater Treatment and Discharge.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 5, ch. 6, 2019a. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>. Acesso em: 19 de set. de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Waste: Solid Waste Disposal.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 5, ch. 3, 2019b. Disponível em: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_2\\_Ch2\\_Waste\\_Data.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_2_Ch2_Waste_Data.pdf) Acesso em: 29 de set. de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Waste: Incineration and Open Burning of Waste.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 5, ch. 5, 2019c. Disponível em: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_5\\_Ch5\\_IOB.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_5_Ch5_IOB.pdf) Acesso em: 29 de set. de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use: N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 4, ch. 11, 2019d. Disponível em: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch11\\_Soils\\_N2O\\_CO2.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch11_Soils_N2O_CO2.pdf) Acesso em: 29 de nov. de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use: Emissions from Livestock and Manure Management.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 4, ch. 10, 2019e. Disponível em: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch10_Livestock.pdf) Acesso em: 29 de nov. de 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use: Generic methodologies applicable to multiple land use categories.** Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 4, ch. 2, 2019g. Disponível em: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch02\\_Generic%20Methods.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch02_Generic%20Methods.pdf) Acesso em: 17 de mar. de 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Uncertainties**. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), v. 1, ch. 3, 2019h. Disponível em: [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1\\_Volume1/V1\\_3\\_Ch3\\_Uncertainties.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_3_Ch3_Uncertainties.pdf) Acesso em: 10 de ago. de 2023.

JESUS, K. N. et al. Estoques de carbono em solos de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 714–721, 2019.

KLINK, C. A.; ASSUNÇÃO, J.; VIEIRA, M. W. B. É possível conciliar o agronegócio e a sustentabilidade? **Sustentabilidade no Agronegócio**, p. 175-200, 2021.

LIMA, C. R. A. et al. Cross-correlations between Brazilian biofuel and food market: Ethanol versus sugar. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 513, p. 687–693, 2019.

LIMA, L. Emissões de N<sub>2</sub>O em sistemas agrícolas. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 9, n. 16, p. 998–1015, 2013.

LIMA, M. A. et al. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. **Environmental Development**, v. 33, p. 100504, 2020.

LIMEIRA, M. M. C. et al. Carbono, peso e volume de necromassa lenhosa em área de plano de manejo florestal. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, v. 17, n. 41, p. 58–67, 2020.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, p. 329–334, 2005.

MANERICH, A. A. et al. Uso de remineralizador de basalto no crescimento inicial de Pinus taeda. **Ambientes em Movimento**, v. 2, n. 2, 2022.

MARCHAO, R. L. et al. **Espectroscopia de infravermelho próximo na quantificação do carbono orgânico em solos do cerrado**. Brasília: Embrapa Cerrados, v. 1, 2019. 25 p.

MARCHI, C. M. D. F.; GONÇALVES, I. O. Compostagem: a importância da reutilização dos resíduos orgânicos para a sustentabilidade de uma instituição de ensino superior. **Revista Monografias Ambientais**, v. 19, n. 1, p. 1–15, 2020.

MARTIN, A. R. et al. Frações de carbono na madeira morta do mundo. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 889–901, 2021.

MARTIN, C.; MORGAVI, D. P.; DOREAU, M. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. **Animal**, v. 4, n. 3, p. 351–365, 2010.

MARTINS, J. F. S. et al. **Situação do manejo integrado de insetos-praga na cultura do arroz no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 40 p.



MARTINS, O. S. **Determinação do potencial de sequestro de carbono na recuperação de matas ciliares na região de São Carlos - SP.** Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

MAS, I. R. **Integração energética da produção de biogás a partir dos resíduos da produção de café.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de caldas, 2021. Acesso em: 22 mai. 2023.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações.** Varginha, MG: Fundação Procafé, 2005. 434 p.

MEIRELES, I. E. S. **Caracterização do estoque de carbono e equações alométricas para estimativa de biomassa de cafeeiros associados à grevilea.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2018.

MENDES, L. F. R.; STHEL, M. S. Analysis of the hydrological cycle and its impacts on the sustainability of the electric matrix in the state of Rio de Janeiro/Brazil. **Energy strategy reviews**, v. 22, p. 119–126, 2018.

MILINKOVIĆ, M. et al. Biopotential of compost and compost products derived from horticultural waste—effect on plant growth and plant pathogens' suppression. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 121, p. 299-306, 2019.

MUELLER, B.; MUELLER, C. The political economy of the Brazilian model of agricultural development: Institutions versus sectoral policy. **Quarterly Review of Economics and Finance**, v. 62, p. 12–20, 2016.

NANZER, M. C. et al. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136–145, 2019.

OKEDERE, O. B.; OYELAMI, S. Emission inventory of greenhouse gases and sustainable energy for mobile telecommunication facilities in Nigeria. **Environmental Challenges**, v. 4, p. 100203, 2021.

OLIVEIRA, A. P. D.; et al. Mortality, recruitment and growth of the tree communities in three forest formations at the Panga Ecological Station over ten years (1997-2007). **Acta Botanica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 28, n. 2, p. 234–248, 2014.

OLIVEIRA, P. P. A. et al. Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: Embrapa Pecuária Sudeste-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **Congresso brasileiro de sistemas integrados de produção agropecuária.** 2017.

ONEL, N.; MUKHERJEE, A. Why do consumers recycle? A holistic perspective encompassing moral considerations, affective responses, and self-interest motives. **Psychology & Marketing**, v. 34, n. 10, p. 956-971, 2017.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **O que é o SIN**. Rio de Janeiro: ONS, 2023. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em 17 jan. 2023.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 527–538, 2011.

PALACE, M. et al. Necromass in undisturbed and logged forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 238, n. 1-3, p. 309–318, 2007.

PAN, Y. et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 988-993, 2011.

PASQUALINI, A. A. Aplicação dos biodigestores na pecuária sustentável. **Revista Faculdades do Saber**, v. 5, n. 09, p. 598–609, 2020.

PAUSTIAN, K. et al. Solos inteligentes para o clima. **Nature**, v. 532, n. 7597, 49–57, 2016.

PIRES, M. V. et al. Nitrogen-use efficiency, nitrous oxide emissions, and cereal production in Brazil: current trends and forecasts. **PloS one**, v. 10, n. 8, p. e0135234, 2015.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Especificações do Programa Brasileiro GHG PROTOCOL: Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. 2ed. São Paulo, 2010. Acesso em: 29 de abr. de 2022.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Ferramenta GHG Protocol Agrícola**, versão 3.10. 2020. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/projetos/ghg-protocol#:~:text=A%20ferramenta%20GHG%20Protocol%20Agropecu%C3%A1rio,d e%20produ%C3%A7%C3%A3o%20e%20planejamento%20anual>. Acesso em: 28 nov. 2022.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Ferramenta GHG Protocol**, Versão 2023.0.2. 2023. Disponível em: <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd28GUG1Kc8wXj8JNRAFhMRh32r24Wome4RBuEdsnEb3OLB0Q/viewform?fbzx=2899207548862784995>>. Acesso em: 03 ago. de 2022. Acesso em: 03 de mai. de 2023.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **GHG Protocol Standard on Quantifying and Avoided Emissions: Summary of online survey results**. São Paulo, 2014. Disponível em: [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Avoided%20emissions%20survey%20report\\_final%20draft.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Avoided%20emissions%20survey%20report_final%20draft.pdf). Acesso em: 27 de abr. de 2022.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Nota técnica: Classificação das emissões de gases de efeito estufa (GEE) de Escopo 1 nas respectivas categorias de fontes de emissão – versão 1.0**. São Paulo, 2016. Disponível em:

[http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg-protocol\\_nota-tecnica\\_categorias-escopo-1\\_-v1.pdf](http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg-protocol_nota-tecnica_categorias-escopo-1_-v1.pdf). Acesso em: 27 de jul. de 2022.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Nota técnica: Equação para cálculo das emissões de N<sub>2</sub>O provenientes do uso de fertilizante nitrogenado sintético – versão 1.0.** São Paulo, 2016a. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/18612>. Acesso em: 27 de jul. de 2022.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Nota técnica: Definição das categorias emissões de gases de efeito estufa (GEE) de Escopo 3 – versão 2.0.** São Paulo, 2018. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/30251>. Acesso em: 25 de jan. de 2023.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Nota técnica: Período de relato de inventário de gases de efeito estufa.** 1ed. São Paulo, 2017. Disponível em: [http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg-protocol\\_nota-tecnica\\_ano\\_calendario\\_v1.pdf](http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg-protocol_nota-tecnica_ano_calendario_v1.pdf). Acesso em: 14 de jun 2022.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. **Nota técnica: uso do GHG PROTOCOL Agricultural Guidance e contabilização de emissões resultantes das práticas agrícolas e de mudanças no uso do solo: versão 4.0.** São Paulo, 2023a. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/30247>. Acesso em: 25 de jan. de 2023.

RAZAFIMBELO, T. M. et al. Aggregate associated-C and physical protection in a tropical clayey soil under Malagasy conventional and no-tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 98, n. 2, p. 140-149, 2008.

RHEINHEIMER, D. S. et al. Residual effect of surface-applied lime on soil acidity properties in a long-term experiment under no-till in a Southern Brazilian sandy Ultisol. **Geoderma**, v. 313, p. 7-16, 2018.

RICHTER, D. D. et al. Rapid accumulation and turnover of soil carbon in a re-establishing forest. **Nature**, v. 400, n. 6739, p. 56–58, 1999.

SABATTINI, J. A. et al. Carbon stock in subtropical native forests in a South American Protected Area. **Nature Conservation Research**, v. 6, n. 2, p. 66–79, 2021.

SALOMÃO, P. E. A.; BARBOSA, L. C.; CORDEIRO, I. J. M. Recuperação de áreas degradadas por pastagem: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, p. e57922057-e57922057, 2020.

SEGNINI, A. et al. Estudo comparativo de métodos para a determinação da concentração de carbono em solos com altos teores de Fe (Latossolos). **Química Nova**, v. 31, n. 1, p. 94–97, 2008. Acesso em: 10 mar 2023.

SHAHBAZI, H. et al. Development of high-resolution emission inventory to study the relative contribution of a local power plant to criteria air pollutants and Greenhouse gases. **Urban Climate**, v. 38, n. June, p. 100897, 2021.

SHAVIV, A.; MIKKELSEN, R. L. Controlled-release fertilizers to increase efficiency of nutrient use and minimize environmental degradation-A review. **Fertilizer research**, v. 35, n. 1, p. 1–12, 1993.

SHIBATA, M.; TERADA, F. Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. **Animal Science Journal**, v. 81, n. 1, p. 2–10, 2010.

SIGNOR, D. et al. Quantity and quality of soil organic matter as a sustainability index under different land uses in Eastern Amazon. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 3, p. 225–232, 2018.

SILVA, J. P. **Estoque de carbono e nutrientes no solo e na serapilheira sob remanescentes de vegetação nativa**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

SILVA, J. R. **Dinâmica do carbono em solos sob áreas de pastagens no bioma cerrado**. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

SOARES, C. P. B., DE PAULA NETO, F. P.; SOUZA, A. L. Biomassa e Carbono. In: SOARES, C. P. B., DE PAULA NETO, F. P.; SOUZA, A. L. (ed.). **Dendometria e Inventário Florestal**. 2ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2012.

SOARES, C. P. B.; OLIVEIRA, M. L. R. Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. *Revista Árvore*, v. 26, n. 5, p. 533–539, 2002.

SOARES, G. J. **Influência da rochagem no desenvolvimento de sistemas agroflorestais e na captura de dióxido de carbono atmosférico**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SOUZA, G. L. L.; CAMPOS, M. F. D.; GOUVÊA-JR., M. M. Correlation Between Precipitation Index and Energy Generation in Hydroelectric Plants. **IEEE Latin America Transactions**, v. 19, n. 8, p. 1425–1432, 2021.

TAKASAGO, M.; DA CUNHA, C. A.; OLIVIER, A. K. G. Relevância da agropecuária brasileira: uma análise insumo-produto. **Revista Espacios**, v. 38, p. 31, 2017.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574 p.

TITO, M. R., LEÓN, M. C., PORRO, R. **Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais**. 1. ed. Belém: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF)/ Consórcio Iniciativa Amazônica (IA), 2009. 81 p.

TONHAUZER, K. et al. Estimation of N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils and determination of Nitrogen Leakage. **Atmosphere**, v. 11, n. 6, p. 552, 2020.

TORQUATO, S. A.; DE JESUS, K. R. E.; ZORZO, C. R. B. Inovações no sistema de produção de cana-de-açúcar: uma contribuição do Protocolo Agroambiental para a região de Piracicaba, estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, v. 45, n. 2, p. 28–37, 2015.

TORRES, C. M. M. E. et al. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma floresta estacional semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 647–655, 2013.

TORRES, C. M. M. E. et al. Sistemas Agroflorestais no Brasil: Uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 79, p. 235–244, 2014.

TRENKEL, M. E. **Slow-and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture**. Paris: Hélène Gine, 2021. 160 p.

VAAST, P. et al. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, n. 2, p.197–204, 2006.

VILLANOVA, P. H. **Necromassa, dinâmica e prognose do estoque de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual no município de Viçosa, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: Boletim Técnico SIF, v. 501, n. 1, 1984. 21 p.

WANG, X.; WANG, J.; ZHANG, J. Comparisons of three methods for organic and inorganic carbon in calcareous soils of northwestern China. **Plos One**, v. 7, n. 8, p. e44334, 2012.

WIETHÖLTER, S. **Calagem no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 104 p.

WOLFF, L. F.; EICHOLZ, E. D. **Alternativas para Diversificação da Agricultura Familiar de Base Ecológica - 2022**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 58 p., 2022.

WOLFF, L. F.; MEDEIROS, C. A. B. **Alternativas para Diversificação da Agricultura Familiar de Base Ecológica - 2017**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 145 p., 2017.

WORLD RESOURCES INSTITUTE AND THE WORLD BUSINESS COUNCIL ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard: Revised Edition**. Washington DC: WRI, 2004. Disponível em: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf>. Acesso em: 25 de abr. de 2022.

WORLD RESOURCES INSTITUTE AND THE WORLD BUSINESS COUNCIL ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard: Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard**. Washington DC: WRI, 2011. Disponível em: [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard\\_041613\\_2.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf). Acesso em: 22 de mai. de 2023.

WORLD RESOURCES INSTITUTE BRAZIL. **Metodologia do GHG Protocol da agricultura**. São Paulo: WRI Brazil, 2015. Disponível em: [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards\\_supporting/Metodologia.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards_supporting/Metodologia.pdf). Acesso em: 15 de jun. de 2022.

WORLD RESOURCES INSTITUTE BRAZIL. **Technical note: Greenhouse gas protocol calculation tool for forestry in Brazil**. São Paulo: WRI Brazil, 2020. 32 p. Disponível em: [https://wribrasil.org.br/sites/default/files/ghg\\_protocolo-florestas-technicalnote.pdf](https://wribrasil.org.br/sites/default/files/ghg_protocolo-florestas-technicalnote.pdf). Acesso em: 20 jun 2022.

XAVIER, A. A. P. **Avaliação do acúmulo e emissão de carbono do solo sob sistemas produtivos de pastagem**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2014.

ZANNE, A. E. Global wood density database. **Dryad**, 2009.

Zanne, Amy E. et al. (2009), Dados de: Towards a world wood economics spectrum, Dryad, Dataset, <https://doi.org/10.5061/dryad.234>

ZANATTA, J. A.; PULROLNIK, K.; VIANA, J. H. M. Protocolo para avaliação do estoque de carbono e de nitrogênio do solo em sistemas florestais – Projeto Saltus. Colombo, PR: **Embrapa Florestas**, 2015. 31 p.

## ANEXO A – Fatores de emissão e parâmetros para o cálculo das emissões de GEE

### I. Combustão estacionária

Tabela 4 - Fatores de emissão por utilização de combustíveis fósseis na combustão estacionária

Combustível	Unidades	Fatores de emissão (unidade convertida)		
		CO <sub>2</sub> (kg/un.)	CH <sub>4</sub> (kg/un.)	N <sub>2</sub> O (kg/un.)
Acetileno	kg	3,38	-	-
Alcatrão	m <sup>3</sup>	2.887,64	10,7391	0,053696
Asfaltos	m <sup>3</sup>	3.389,09	0,4201	0,025208
Carvão Metalúrgico Importado	Toneladas	2.930,93	9,2947	0,046473
Carvão Metalúrgico Nacional	Toneladas	2.542,78	8,0638	0,040319
Carvão Vapor 3100 kcal / kg	Toneladas	1.249,93	3,7053	0,018527
Carvão Vapor 3300 kcal / kg	Toneladas	1.313,48	3,8937	0,019469
Carvão Vapor 3700 kcal / kg	Toneladas	1.482,96	4,3961	0,021981
Carvão Vapor 4200 kcal / kg	Toneladas	1.608,85	5,0242	0,025121
Carvão Vapor 4500 kcal / kg	Toneladas	1.709,40	5,3382	0,026691
Carvão Vapor 4700 kcal / kg	Toneladas	1.762,52	5,5894	0,027947
Carvão Vapor 5200 kcal / kg	Toneladas	1.970,84	6,1546	0,030773
Carvão Vapor 5900 kcal / kg	Toneladas	2.218,00	7,0338	0,035169
Carvão Vapor 6000 kcal / kg	Toneladas	2.257,61	7,1594	0,035797
Carvão Vapor sem Especificação	Toneladas	1.207,56	3,5797	0,017899
Coque de Carvão Mineral	Toneladas	3.093,04	8,6667	0,043333
Coque de Petróleo	m <sup>3</sup>	3.563,12	0,3653	0,021919
Etano	Toneladas	2.858,24	0,2320	0,004640
Gás de Coqueria	Toneladas	1.716,99	0,1935	0,003870
Gás de Refinaria	Toneladas	2.849,55	0,2475	0,004950
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	Toneladas	2.930,93	0,2324	0,004647
Gás Natural Seco	m <sup>3</sup>	2,07	0,0002	0,000004
Gás Natural Úmido	m <sup>3</sup>	2,33	0,0002	0,000004
Gasolina Automotiva (pura)	Litros	2,24	0,0003	0,000019
Gasolina de Aviação	Litros	2,26	0,0003	0,000019
Líquidos de Gás Natural (LGN)	Toneladas	2.836,17	0,4420	0,026520
Lubrificantes	Litros	2,72	0,0004	0,000022
Nafta	m <sup>3</sup>	2.291,15	0,3124	0,018746
Óleo Combustível	Litros	3,11	0,0004	0,000024
Óleo de Xisto	Toneladas	2.792,73	0,3810	0,022860
Óleo Diesel (puro)	Litros	2,63	0,0004	0,000021
Óleos Residuais	Toneladas	2.946,66	12,0600	0,160800
Outros Produtos de Petróleo	Toneladas	3.131,73	0,4271	0,025623
Parafina	Toneladas	2.946,66	0,4020	0,024120
Petróleo Bruto	m <sup>3</sup>	2.931,30	0,3997	0,023983
Querosene de Aviação	Toneladas	3.113,30	0,4354	0,026126

Querosene Iluminante	Toneladas	3.129,27	0,4354	0,026126
Resíduos Industriais	TJ	143.000,00	300,0000	4,000000
Resíduos Municipais (fração não-biomassa)	Toneladas	917,00	3,0000	0,040000
Solventes	Litros	2,40	0,000327	0,000020
Turfa	Toneladas	1.034,56	2,928000	0,013664
Xisto Betuminoso e Areias Betuminosas	Toneladas	952,30	2,670000	0,013350

Fonte: GHG PROTOCOL, 2023

Tabela 5 - Fatores de emissão por utilização de biocombustíveis na combustão estacionária

Biocombustível	Unidades	Fatores de emissão (unidade convertida)		
		CO <sub>2</sub> (kg/un.)	CH <sub>4</sub> (kg/un.)	N <sub>2</sub> O (kg/un.)
Etanol Anidro	Litros	1,58	0,0002	0,00001
Etanol Hidratado	Litros	1,51	0,0002	0,00001
Bagaço de Cana	Toneladas	892,68	2,6754	0,03567
Biodiesel (B100)	Litros	2,46	0,0003	0,00002
Biogás (outros)	Toneladas	1.705,43	0,1000	0,00200
Biogás de aterro	Toneladas	1.466,67	0,0615	0,00123
Biometano	Toneladas	2.748,90	0,2450	0,00490
Caldo de Cana	Toneladas	206,54	0,0260	0,00156
Carvão Vegetal	Toneladas	2.885,89	5,4093	0,02705
Lenha Comercial	Toneladas	1.451,49	3,8937	0,05192
Licor Negro (Lixívia)	Toneladas	1.141,54	0,0359	0,02395
Melaço	Toneladas	616,29	0,0775	0,00465
Resíduos Municipais (fração biomassa)	Toneladas	1.160,00	3,4800	0,04640
Resíduos Vegetais	Toneladas	1.161,16	3,4800	0,04640

Fonte: GHG PROTOCOL, 2023

## II. Combustão móvel

Tabela 6 - Fatores de emissão por utilização de combustíveis fósseis na combustão móvel

Combustível	Unidades	Fatores de emissão (unidade convertida)		
		CO <sub>2</sub> (kg/un.)	CH <sub>4</sub> (kg/un.)	N <sub>2</sub> O (kg/un.)
Gasolina Automotiva (pura)	litros	2,21200	0,00081	0,00026
Óleo Diesel (puro)	litros	2,60300	0,00014	0,00014
Gás Natural Veicular (GNV)	m <sup>3</sup>	1,99900	0,00339	0,00011
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	kg	2,93248	0,00288	0,00001
Querosene de Aviação	litros	2,51685	0,00002	0,00007
Gasolina de Aviação	litros	2,25060	0,00002	0,00006
Lubrificantes	litros	2,71753	0,00014	0,00014
Óleo Combustível	litros	3,10638	0,00040	0,00002

Fonte: GHG PROTOCOL, 2023



Tabela 7 - Fatores de emissão por utilização biocombustível na combustão móvel

Biocombustível	Unidades	Fatores de emissão (unidade convertida)		
		CO <sub>2</sub> (kg/un.)	CH <sub>4</sub> (kg/un.)	N <sub>2</sub> O (kg/un.)
Etanol Hidratado	litros	1,457	0,0004	1,3E-05
Biodiesel (B100)	litros	2,431	0,0003	2,0E-05
Etanol Anidro	litros	1,526	0,0002	1,3E-05

Fonte: GHG PROTOCOL, 2023

Tabela 8 - Fatores de emissão para transporte coletivo na combustão móvel

Tipo de transporte	Combustível / Biocombustível	Fatores de Emissão (kgGEE/passageiro.km)		
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Ônibus municipal	Diesel	0,098	0,0000052	0,0000052
Ônibus rodoviário	Diesel	0,028	0,0000015	0,0000015
Metrô	-	0,003	0,0000000	0,0000000
Trem	-	0,017	0,0000000	0,0000000
Ônibus municipal	Biodiesel	0,091	0,0000125	0,0000007
Ônibus rodoviário	Biodiesel	0,026	0,0000035	0,0000002

Fonte: GHG PROTOCOL, 2023

### III. Efluentes

Tabela 9 - Parâmetros para o cálculo da emissão de CH<sub>4</sub> pelos efluentes

Sistema de tratamento	Tipo de tratamento	MCF	FE (kgCH <sub>4</sub> /kgBOD)
Descarga do efluente	Descarga para ambientes aquáticos	0,11	0,068
	Descarga para ambientes aquáticos que não sejam reservatórios, lagos e estuários	0,04	0,021
	Descarga para reservatórios, lagos e estuários	0,19	0,114
	Descarga para o solo	0,10	VOLUME 4
	Esgoto estagnado	0,50	0,3
	Esgoto corrente (aberto ou fechado)	0,00	0
Tratamento de efluentes	Central de tratamento aeróbico	0,03	0,018
	Reator anaeróbico	0,80	0,48
	Lagoa rasa anaeróbica	0,20	0,12
	Lagoa profunda anaeróbica	0,80	0,48
	Lagoas facultativas	0,20	0,12
	Fossas sépticas	0,50	0,3
	Fossa séptica + campo de dispersão terrestre	0,50	0,3
	Latrina	0,10	0,06
	Latrina	0,50	0,3
	Latrina	0,70	0,42

Fonte: IPCC, 2019a

Tabela 10 - Parâmetros para o cálculo da emissão de CH<sub>4</sub> pelos efluentes

Variável	Unidade	Valor
Ddom (DBO)	g/hab/dia	54,00*
I	Sistema sem rede coletora	1,00
I	Sistema com rede coletora	1,25
U	100% da população é rural	1,00
T (Equation 6.3A e 6.9)	100% da população utilizam esse sistema	1,00
F (Equation 6.3C)	50% da população remove o lodo conforme indicado	0,50
Fração de orgânicos removidos no lodo	-	0,50

Fonte: IPCC, 2019a

\*Fonte: ABNT, 2011

Tabela 11 - Parâmetros para o cálculo da emissão de CH<sub>4</sub> pelos efluentes

Tipo de tratamento	TOW rem
Sistemas não tratados	0,00
Primário (estações de tratamento mecânico)	0,40
Primário + Secundário (estações de tratamento biológico)	0,85
Primário + Secundário + Terciário (estações de tratamento biológico avançado)	0,90
Fossa séptica/sistema séptico	0,63
Latrinas – Clima seco, lençol freático mais baixo que latrina, família pequena (3–5 pessoas)	0,10
Latrinas – Clima seco, lençol freático mais baixo que a latrina, comunal (muitos usuários)	0,50
Latrinas – Clima úmido/uso de água de descarga, lençol freático mais alto que a latrina	0,70

Fonte: IPCC, 2019a

Tabela 12 - Parâmetros para o cálculo da emissão de CH<sub>4</sub> pelos efluentes

Tipo de tratamento em estações de tratamento	K rem (kgDBO/kg massa seca de lodo)
Estações de tratamento mecânico (lodo de sedimentação primária)	0,50
Estações de tratamento aeróbio com tratamento primário (lodo misto primário e secundário, não tratado ou tratado aerobicamente)	0,80
Estações de tratamento aeróbio com tratamento primário e digestão anaeróbica de lodo (lodo misto primário e secundário, tratado anaerobicamente)	1,00
Estações de tratamento de águas residuais aeróbicas sem tratamento primário separado	1,16

Fonte: IPCC, 2019a

Tabela 13 - Parâmetros para o cálculo da emissão de N<sub>2</sub>O pelos efluentes

Sistema de tratamento	Tipo de tratamento	FE (kgN <sub>2</sub> O-N/kgN)
Descarga dos efluentes	Descarga para ambientes aquáticos	0,0050
	Descarga para ambientes aquáticos que não sejam reservatórios, lagos e estuários	0,0050
	Descarga para reservatórios, lagos e estuários	0,0050
	Esgoto estagnado	0,0190
	Esgoto corrente (aberto ou fechado)	0,0050
Tratamento dos efluentes	Central de tratamento aeróbico	0,0160
	Reator anaeróbico	0,0000
	Lagoa rasa anaeróbica	0,0000
	Lagoa profunda anaeróbica	0,0000
	Lagoas facultativas	0,0000
	Fossas sépticas	0,0000
	Fossa séptica + campo de dispersão terrestre	0,0045
	Latrina	0,0000

Fonte: IPCC, 2019a

Tabela 14 - Parâmetros para o cálculo da emissão de N<sub>2</sub>O pelos efluentes

Variável	Unidade	Valor
ProteinSUPPLY: oferta anual de proteína per capita	kg/pessoa/ano	34,31
FPC: fração de proteína consumida	-	0,92
F <sub>npr</sub> : fração de nitrogênio na proteína	kg N/kg proteína	0,16
F <sub>nnon-con</sub> : fator para ajustar para proteína não consumida	kg N/kg N	1,04
F <sub>ind-com</sub> : fator para proteína co-descarregada industrial e comercial no sistema de esgoto	kg N/kg N	1,25
N <sub>hh</sub> : nitrogênio adicional de produtos domésticos adicionado às águas residuais	-	1,10
U (Equation 6.9)	100% da população é rural	1,00
T (Equation 6.9)	100% da população utilizam esse sistema	1,00

Fonte: IPCC, 2019a

Tabela 15 - Parâmetros para o cálculo da emissão de N<sub>2</sub>O pelos efluentes

Tipo de tratamento	N rem
Sem tratamento	0,00
Primário (mecânico)	0,10
Secundário (biológico)	0,40
Terciário (biológico avançado)	0,80
Tanque séptico	0,15
Fossa séptica + campo de dispersão terrestre	0,68
Latrina	0,12

Fonte: IPCC, 2019a

#### IV. Resíduos sólidos

Tabela 16 - Parâmetros para o cálculo da emissão da disposição de resíduos sólidos

<b>Variável</b>	<b>DOC</b>
Geral	12%*
Papel/papelão	40%
Têxteis	24%
Resíduos alimentares	15%
Madeira	43%
Resíduos de jardins	20%
Fraldas	24%
Borracha e couro	39%
Plásticos	0%
Metal	0%
Vidro	0%
Construção e demolição	4%

Fonte: IPCC, 2006b

\*Fonte: IPCC, 1996

Tabela 17 - Parâmetros para o cálculo da emissão da disposição de resíduos sólidos

<b>Variável</b>	<b>DOCf</b>
Geral	0,5
Papel/papelão	0,5
Têxteis	0,5
Resíduos alimentares	0,7
Madeira	0,1
Resíduos de jardins	0,7
Fraldas	0,5
Borracha e couro	0,5
Plásticos	0,0
Metal	0,0
Vidro	0,0
Construção e demolição	0,5

Fonte: IPCC, 2019b

Tabela 18 - Parâmetros para o cálculo da emissão da disposição de resíduos sólidos

<b>Tipo do sítio</b>	<b>MCF – fator de conversão do metano</b>
Gerenciado (anaeróbico)	1
Bem gerenciado (semi-aeróbico)	0,5
Mal gerenciado (semi-aeróbico)	0,7
Bem gerenciado (aeração ativa)	0,4
Mal gerenciado (aeração ativa)	0,7
Não gerenciado (profundo (> 5 m de resíduos) e/ou lençol freático alto)	0,8
Não gerenciado (raso (< 5 m de resíduos))	0,4
SWDS não categorizado	0,6

Fonte: IPCC, 2019b

Tabela 19 - Parâmetros para o cálculo da emissão da disposição de resíduos sólidos

16/12 – taxa de conversão de C para CH <sub>4</sub>		1,33
F – fração de carbono emitida como metano		0,50
Rt – metano recuperado		0,00
OXt – fator de oxidação		0,00
CODf – fração do carbono que realmente se degrada	Resíduos menos decomponíveis (madeira, produtos de madeira, galhos de árvores etc)	0,10
	Resíduos moderadamente decomponíveis (papel, têxtil, fraldas)	0,50
	Resíduos altamente decomponíveis (resíduos de alimentos, gramíneas (resíduos de jardins e parques, excluindo galhos de árvores))	0,70
	Resíduos volumosos	0,50

Fonte: IPCC, 2019b

Tabela 20 - Parâmetros para o cálculo da emissão da compostagem de resíduos sólidos

Variável	Unidade	Fator de emissão
Com base no peso seco	g CH <sub>4</sub> /kg resíduo	10,00
Com base no peso úmido	g CH <sub>4</sub> /kg resíduo	4,00
Com base no peso seco	g N <sub>2</sub> O/kg resíduo	0,60
Com base no peso úmido	g N <sub>2</sub> O/kg resíduo	0,24
R – metano recuperado	Gg CH <sub>4</sub>	0,00

Fonte: IPCC, 2006g

Tabela 21 - Parâmetros para o cálculo da emissão da incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos

Variável	Teor de matéria seca em % de peso úmido - dm	Teor total de carbono em % de peso seco - CF	Fração de carbono fóssil em % do carbono total - FCF
Geral	-	-	-
Papel/papelão	90%	46%	1%
Têxteis	80%	50%	20%
Resíduos alimentares	40%	38%	-
Madeira	85%	50%	-
Resíduos de jardins	40%	49%	0%
Fraldas	40%	70%	10%
Borracha e couro	84%	67%	20%
Plásticos	100%	71%	100%
Metal	100%	NA	NA
Vidro	100%	NA	NA
Construção e demolição	-	-	-
Outros, resíduos inertes	90%	3%	100%

Fonte: IPCC, 2006g

Tabela 22 - Parâmetros para o cálculo da emissão da incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos

<b>Fator de oxidação em % de entrada de carbono - OF</b>	
Incineração	100%
Queima a céu aberto	71%

Fonte: IPCC, 2019c

Tabela 23 - Parâmetros para o cálculo da emissão da incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos

<b>Tipo/tecnologia de incineração</b>		<b>Fator de emissão (kg CH<sub>4</sub>/Gg resíduo incinerado - base úmida)</b>
Incineração contínua	Fogareiro (stoker)	0,2
	Incineradores de leito fluidizado (fluidised bed)	0,0
Incineração semi-contínua	Fogareiro (stoker)	6,0
	Incineradores de leito fluidizado (fluidised bed)	188,0
Incineração em lote	Fogareiro (stoker)	60,0
	Incineradores de leito fluidizado (fluidised bed)	237,0

Fonte: IPCC, 2019c

Tabela 24 - Parâmetros para o cálculo da emissão da incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos

<b>Queima em céu aberto</b>	<b>Fator de emissão (g CH<sub>4</sub>/Mg resíduo - base úmida)</b>
	6.500,0

Fonte: IPCC, 2019c

Tabela 25 - Parâmetros para o cálculo da emissão da incineração e queima a céu aberto de resíduos sólidos

<b>Tecnologia / prática de manejo</b>	<b>Fator de emissão (g N<sub>2</sub>O/Mg resíduo)</b>	<b>base peso</b>
Incineração contínua e semi-contínua	50,0	peso úmido
Incineração em lote	60,0	peso úmido
Queima a céu aberto	150,0	peso seco

Fonte: IPCC, 2006g

## V. Resíduos agrícolas

Tabela 26 - Parâmetros para o cálculo da emissão pelos resíduos agrícolas

<b>Variedade</b>	<b>Relação palhiço/colmo (Mg/ha)</b>
RB867515	0,211
RB966928	0,183
RB92579	0,158
CTC4	0,183
RB855156	0,183
SP79-1011	0,157
RB951541	0,183
VAT90-212	0,183
SP80-1842	0,141
SP81-3250	0,148
RB855536	0,108
RB863129	0,183
SP78-4764	0,183
RB855035	0,183
RB955977	0,183
RB72454	0,165
RB855453	0,149
SP83-5073	0,183
RB835486	0,183
SP80-1816	0,201
Outras	0,183

Fonte: MCTI, 2020d

Tabela 27 - Parâmetros para o cálculo da emissão pelos resíduos agrícolas

<b>Estado</b>	<b>Relação palhiço/colmo (Mg/ha)</b>
AL	0,172
ES	0,193
GO	0,185
MA	0,179
MG	0,185
MS	0,184
MT	0,193
PB	0,173
PE	0,175
PI	0,179
PR	0,192
RN	0,173
SP	0,185
Brasil	0,187

Fonte: MCTI, 2020d

Tabela 28 - Parâmetros para o cálculo da emissão pelos resíduos agrícolas

<b>Culturas</b>	<b>Fator de combustão - Cf</b>
Trigo	0,90
Milho	0,80
Arroz	0,80
Cana-de-açúcar	0,80
Outras culturas	0,85

Fonte: MCTI, 2020d

Tabela 29 - Parâmetros para o cálculo da emissão pelos resíduos agrícolas

<b>GEE</b>	<b>FE (g/kg matéria seca queimada)</b>
CO <sub>2</sub> *	-
CO	40,43
CH <sub>4</sub>	0,93
N <sub>2</sub> O	0,07
NO <sub>x</sub>	1,50

Fonte: MCTI, 2020d

Tabela 30 - Parâmetros para o cálculo da emissão pelos resíduos agrícolas

<b>Via de emissão</b>	<b>Fator de emissão</b>
Direta	0,01
Indireta (lixiviação)	0,01
FRAC leach	0,24

Fonte: MCTI, 2020d

## VI. Correção e fertilização do solo

Tabela 31 - Parâmetros para o cálculo da emissão pela correção e fertilização do solo

<b>Fonte</b>	<b>Fator de emissão (Mg C/Mg calcário)</b>
Calcário calcítico	0,120
Calcário dolomítico	0,130

Fonte: IPCC, 2006c

Tabela 32 - Parâmetros para o cálculo da emissão pela correção e fertilização do solo

<b>Fonte</b>	<b>Fator de emissão</b>
Ureia (Mg C/Mg ureia)	0,200
Ureia (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)	0,016*

Fonte: IPCC, 2006c

\*Fonte: IPCC, 2019d



Tabela 33 - Parâmetros para o cálculo da emissão pela correção e fertilização do solo

<b>Fonte-Clima</b>	<b>Fator de emissão direta (kg N<sub>2</sub>O-N/kg N)</b>
Fertilizante sintético - Úmido	0,016
Fertilizante sintético - Seco	0,005
Fertilizante organomineral - Úmido	0,016
Fertilizante organomineral - Seco	0,005
Fertilizante orgânico - Úmido	0,006
Fertilizante orgânico - Seco	0,005

Fonte: 2019d

Tabela 34 - Parâmetros para o cálculo da emissão pela correção e fertilização do solo

<b>Fonte</b>	<b>Tipo de manejo</b>	<b>Fator de emissão (kg N<sub>2</sub>O-N/kg N)</b>
Campos de arroz inundados	Continuamente inundado	0,003
Campos de arroz inundados	Inundação intermitente com aeração única ou múltipla	0,005

Fonte: IPCC, 2019d

Tabela 35 - Parâmetros para o cálculo da emissão pela correção e fertilização do solo

<b>Fonte</b>	<b>FracGASF</b>
Ureia	0,150
À base de amônio	0,080
À base de nitrato	0,010
À base de amônio e nitrato	0,050
<b>Fonte</b>	<b>FracGASM</b>
Fertilizantes orgânicos	0,210
<b>Clima</b>	<b>Fator de emissão (kg N<sub>2</sub>O-N/kg [NH<sub>3</sub>-N e NO<sub>x</sub>-N] volatilizado)</b>
Todos	0,010
Úmido	0,014
Seco	0,005

Fonte: IPCC, 2019d

Tabela 36 - Parâmetros para o cálculo da emissão pela correção e fertilização do solo

<b>Parâmetros</b>	<b>Valor</b>
FracLEACH-(H) (fração do N perdido por lixiviação ou escoamento superficial)	0,240
Fator de emissão	0,011

Fonte: IPCC, 2019d

Tabela 37 - Parâmetros para o cálculo da emissão pela correção e fertilização do solo

<b>Fonte de Adubação</b>	<b>kg N/ kg adubo (%)</b>
Água Amoniacal	10,00%
Amônia Anidra	82,00%
Cianamida de Cálcio	18,00%
Cloreto de Amônio	25,00%
Fosfato Diamônico (DAP)	16,00%
Fosfato Monoamônico (MAP)	9,00%
Fosfossulfato de Amônio	13,00%
Nitrato de Amônio	32,00%
Nitrato de Amônio e Cálcio	20,00%
Nitrato de Cálcio	14,00%
Nitrato de Potássio	13,00%
Nitrato de Sódio	15,00%
Nitrato Duplo de Sódio e Potássio	15,00%
Nitrofosfato	14,00%
Nitrossulfocálcio	25,00%
Solução Nitrogenada	21,00%
Sulfato de Amônio	20,00%
Sulfonitrato de Amônio	25,00%
Sulfonitrato de Amônio e Magnésio	19,00%
Superfosfato Simples Amoniado	1,00%
Superfosfato Triplo Amonado	1,00%
Ureia	44,00%
Uréia Formaldeído	35,00%
Uréia Sulfato de Amônio	40,00%

Fonte: GHG PROTOCOL, 2016a

## VII. Pecuária

Tabela 38 - Parâmetros para o cálculo da emissão pela pecuária

<b>Categoria</b>	<b>Clima</b>	<b>Fator de emissão (kgN<sub>2</sub>O-N/kg N excretado)</b>
Bovinos (leite, não leiteiro e búfalo), aves e porcos	Todos	0,004
	Seco	0,002
	Úmido	0,006
Ovinos e outros animais	Todos	0,003

Fonte: IPCC, 2019e

Tabela 39 - Parâmetros para o cálculo da emissão pela pecuária

FracGASM (volatilização e deposição atmosférica)	0,210
<b>Clima</b>	<b>Fator de emissão</b>
Todos	0,010
Úmido	0,014
Seco	0,005

Fonte: IPCC, 2019e

Tabela 40 - Parâmetros para o cálculo da emissão pela pecuária

Parâmetros	Valor
FracLEACH-(H) (fração do N perdido por lixiviação ou escoamento superficial)	0,240
Fator de emissão	0,011

Fonte: IPCC, 2019e

### VIII. Cultivo de arroz

Tabela 41 - Parâmetros para o cálculo da emissão pelo cultivo de arroz

Tipo de sistema	Fator de emissão - RS (kgCH <sub>4</sub> /ha/dia)
Sistemas convencionais (primavera)	3,600
Áreas de preparo antecipado (outono e inverno)	2,800

Fonte: IPCC, 2019f

Tabela 42 - Parâmetros para o cálculo da emissão pelo cultivo de arroz

Estado	Fator de emissão
Todos, exceto Rio Grande do Sul	1,270

Fonte: IPCC, 2019f

Tabela 43 - Fator de escala (SFw) do cultivo de arroz

Regime hídrico		Valor
Terras altas/Sequeiro		0,000
Terras baixas/Irrigado	Inundação contínua	1,000
	Inundação intermitente com aeração única	0,710
	Inundação intermitente com aeração múltipla	0,550
Alimentado por chuvas e águas profundas	Chuvas regulares	0,540
	Sujeito à seca	0,160
	Águas profundas	0,060

Fonte: IPCC, 2019f

Tabela 44 - Fator de escala (SFp) do cultivo de arroz

<b>Regime hídrico anterior ao cultivo de arroz</b>	<b>Valor</b>
Áreas não inundadas durante a entressafra por período < 180 dias	1,000
Áreas não inundadas durante a entressafra por período > 180 dias	0,890
Áreas inundadas durante a entressafra por período > 30 dias	2,410
Áreas não inundadas durante a entressafra por período > 365 dias	0,590
Santa Catarina, Blumenau, Itajaí e Joinville*	1,000

Fonte: IPCC, 2019f

\*Fonte: MCTI, 2020g

Tabela 45 - Massa seca da palha - ROA (Mg/ha) do cultivo de arroz

<b>Estado</b>	<b>Contínuo</b>	<b>Aeração única</b>	<b>Aeração múltipla</b>
Rondônia	0,00	0,00	0,00
Acre	0,00	0,00	0,00
Amazonas	0,00	0,00	0,00
Roraima	5,60	0,00	0,00
Pará	0,00	0,00	0,00
Amapá	0,00	0,00	0,00
Tocantins	4,88	0,00	0,00
Maranhão	2,85	0,00	0,00
Piauí	3,53	0,00	0,00
Ceará	4,89	0,00	0,00
Rio Grande do Norte	3,51	0,00	0,00
Paraíba	0,00	0,00	0,00
Pernambuco	4,92	0,00	0,00
Alagoas	4,47	0,00	0,00
Sergipe	6,11	0,00	0,00
Bahia	0,00	0,00	0,00
Minas Gerais	3,88	0,00	0,00
Espírito Santo	1,98	0,00	0,00
São Paulo	3,43	0,00	0,00
Rio de Janeiro	2,73	0,00	0,00
Paraná	6,20	0,00	0,00
Santa Catarina	2,00	2,00	2,00
Rio Grande do Sul*	5,64	0,00	0,00
Mato Grosso do Sul	4,58	0,00	0,00
Mato Grosso	3,28	0,00	0,00
Goiás	5,05	0,00	0,00
Distrito Federal	0,00	0,00	0,00

Fonte: MCTI, 2020g

Tabela 46 – CFOA do cultivo de arroz

<b>Material orgânico</b>	<b>Valor</b>
Palha de arroz incorporado ao solo menos de 30 dias antes do cultivo	1,000
Palha de arroz incorporado ao solo mais de 30 dias antes do cultivo	0,190
Composto	0,170
Esterco animal	0,210
Adubo verde	0,450

Fonte: IPCC, 2019f

## **IX. Energia elétrica**

Fatores de emissão passam por alterações todos os meses.

## **X. Viagens aéreas**

Tabela 47 - Parâmetros para o cálculo da emissão pelas viagens aéreas

<b>Distância aérea</b>	<b>Fatores de Emissão (kgGEE/passageiro.km)</b>		
	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>
Curta distância ( $d \leq 500$ km)	0,12	0,00	0,00
Média distância ( $500 < d \leq 3.700$ km)	0,07	0,00	0,00
Longa distância ( $d > 3.700$ km)	0,09	0,00	0,00
Acréscimo para refletir a rota real	8%		

Fonte: GHG PROTOCOL, 2023