



# GREENHOUSE GAS PROTOCOL

## Metodologia do GHG Protocol da agricultura



## SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	3
LISTA DE TABELAS .....	3
1. INTRODUÇÃO .....	6
1.1. Ferramenta de Cálculo .....	7
2. GASES DE EFEITO ESTUFA.....	8
2.1. O dióxido de carbono equivalente (CO <sub>2</sub> e) .....	9
3. REPORTE DAS EMISSÕES.....	10
3.1. Definição dos escopos.....	12
3.2. Carbono biogênico .....	13
3.3. Sequestro de carbono .....	14
3.4. Emissões líquidas.....	14
3.5. Outros gases .....	14
4. ESCOLHA DA METODOLOGIA E NÍVEIS ADOTADOS (TIER 1, TIER 2 E TIER 3)..	14
5. TEMPO DE RESPOSTA DO CARBONO NO SOLO .....	15
6. METODOLOGIAS DE CÁLCULO.....	16
6.1. Aplicação de fertilizantes orgânicos .....	17
6.2. Aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos.....	18
6.3. Aplicação de calcário.....	19
6.4. Aplicação de ureia .....	20
6.5. Aplicação de defensivos agrícolas.....	21
6.6. Cultivo de arroz .....	22
6.7. Dejetos de animais em pastagens .....	26
6.8. Fermentação entérica .....	27
6.9. Manejo de dejetos de animais (exceto animais em pastagem).....	29

6.10.	Manejo de dejetos .....	31
6.11.	Fontes secundárias de N <sub>2</sub> O (deposição atmosférica e lixiviação ou escoamento superficial) .....	35
A.	Emissão de N <sub>2</sub> O proveniente de deposição atmosférica.....	35
B.	Emissão de N <sub>2</sub> O proveniente de lixiviação ou escoamento superficial .....	36
6.12.	Mudança de uso do solo e sistemas de manejo .....	37
6.13.	Mudança de Carbono no Solo .....	39
6.14.	Queima de Resíduos Agrícolas .....	42
6.15.	Resíduos de colheitas.....	44
6.16.	Operações Mecanizadas .....	46
A.	Consumo de combustível.....	46
B.	Estimativas sobre as operações .....	48
6.17.	Energia Elétrica .....	52

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.	Modelo de reporte de emissões de GEE .....	11
-----------	--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Conversão de Emissões em GWP-100 e GTP-100 .....	10
Tabela 2.	Parâmetros para aplicação de fertilizantes orgânicos.....	17
Tabela 3.	Percentual de N e coeficientes de composto para adubos orgânicos.....	18
Tabela 4.	Tabela fatores de emissão fertilizantes nitrogenados sintéticos .....	19
Tabela 5.	Fatores de emissão do calcário.....	20
Tabela 6.	Fatores de emissão da ureia.....	21
Tabela 7.	Tabela com os fatores de emissão para uso de defensivos agrícolas.....	22
Tabela 8.	Fatores de escala dos diferentes ecossistemas de arroz.....	24

Tabela 9. Fatores de escala para incrementos orgânicos <sup>15</sup> .....	25
Tabela 10. Fator de emissão para dejetos de animais em pastagens .....	26
Tabela 11. Fatores de emissão de metano para fermentação entérica de gado de corte, machos e jovens, fêmeas e vacas leiteiras .....	27
Tabela 12. Fatores de emissão de metano por fermentação entérica por outras categorias animais .....	29
Tabela 13. Valores default para fator de emissão de N <sub>2</sub> O de manejo de dejetos animal por tipo de manejo .....	30
Tabela 14. Valores default para fator de emissão de N <sub>2</sub> O de manejo de dejetos animal por tipo de animal .....	31
Tabela 15. Fatores de emissão de metano para manejo de esterco de bovinos e suínos <sup>25</sup> .....	32
Tabela 16. Fatores de emissão de metano para manejo de esterco de asininos, muare, bubalinos, caprinos, equinos, ovinos e aves .....	34
Tabela 17. Parâmetros para o cálculo de emissões de N <sub>2</sub> O provenientes de deposição atmosférica .....	36
Tabela 18. Parâmetros para o cálculo de emissões de N <sub>2</sub> O provenientes de lixiviação ou escoamento superficial .....	37
Tabela 19. Taxas de alteração (Mg C/ha/ano) para os principais sistemas de manejo do solo .....	38
Tabela 20. Fator de alteração de C no solo .....	40
Tabela 21. Estoque de carbono no solo .....	40
Tabela 22. Taxa de emissão de gases liberados durante a queima de resíduos agrícolas para o cálculo de emissões .....	43
Tabela 23. Parâmetros para queima de resíduos vegetais <sup>27</sup> .....	44
Tabela 24. Fatores utilizados para a determinação do N <sub>2</sub> O provenientes de resíduos das culturas .....	45
Tabela 25. Fatores de emissão para queima de óleo diesel .....	47



GREENHOUSE  
GAS PROTOCOL

Tabela 26. Tabela da alocação de emissões nos escopos. ....	47
Tabela 27. Operações mecanizadas para a cultura de algodão <sup>35</sup> .....	48
Tabela 28. Operações mecanizadas para a cultura de arroz <sup>35</sup> .....	48
Tabela 29. Operações mecanizadas para a cultura de feijão <sup>35</sup> .....	49
Tabela 30. Operações mecanizadas para a cultura de milho <sup>35</sup> .....	49
Tabela 31. Operações mecanizadas para a cultura de soja <sup>35</sup> .....	50
Tabela 32. Operações mecanizadas para a cultura de trigo <sup>35</sup> .....	50
Tabela 33. Operações mecanizadas para a cultura de cana-de-açúcar.....	51
Tabela 34. Fatores de emissão médios mensais e anuais entre 2006 à 2013.....	52



## 1. INTRODUÇÃO

O World Resources Institute (WRI) tem criado, em parceria com o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), protocolos internacionalmente aceitos para o desenvolvimento de inventários corporativos de gases de efeito estufa (GEE) há mais de 13 anos. Esses padrões, denominados genericamente de GHG Protocol, definem as melhores práticas internacionalmente aceitas para o desenvolvimento de inventários de GEE corporativos, de projetos ou de produtos.

Ao longo dos últimos anos, a demanda por diretrizes técnicas específicas para o setor agrícola mundial cresceu consideravelmente, gerados por características intrínsecas deste macro-setor. No contexto brasileiro, as emissões estimadas dos setores agrícolas e de mudanças no uso do solo contribuem, respectivamente, com 35% e 22% das emissões nacionais<sup>1</sup>. Por estes motivos, o WRI iniciou em 2012 um projeto de 2 anos para criar novos recursos técnicos que fornecerá às empresas e legisladores do Brasil ferramentas para mensurar e gerir de forma mais efetiva emissões agrícolas, o Projeto GHG Protocol Agrícola. No período compreendido entre 2012 e 2013, o projeto gerou dois recursos técnicos, as Diretrizes Agrícolas Brasileiras e a Ferramenta de Cálculo.

As Diretrizes Agrícolas Brasileiras (DAB) foram elaboradas através de um processo de construção conjunta com diversas organizações e especialistas do setor e consiste em um protocolo de contabilização de emissões agrícolas. Este propõe uma estrutura consistente e uniforme para o mapeamento e delimitação das fontes de emissões que devem ser incluídas no inventário de GEE de uma empresa do setor agrícola ou de uma unidade rural, assim como uma forma de reporte dos dados de emissão destes inventários.

A Ferramenta de Cálculo é um produto proveniente de uma parceria entre WRI, Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e Unicamp (Universidade Estadual de Campinas), que permite o cálculo das emissões de GEE utilizando metodologias específicas para a realidade nacional e focadas em fontes de emissão não mecânicas. É imprescindível que as DAB e a Ferramenta de Cálculo sejam utilizadas em conjunto para a elaboração de um inventário de GEE agrícola, garantindo a consistência dos resultados de emissões de GEE com as diretrizes propostas pelo Projeto GHG Protocol Agrícola.

---

<sup>1</sup> Segundo as Estimativas Anuais de emissões de gases e efeito estufa no Brasil, MCTI 2013. Disponível em [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0228/228468.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0228/228468.pdf)

Combinados, estes recursos permitem aos produtores, assim como às outras empresas das cadeias de valor da agricultura, pecuária, silvicultura, entre outras, incluir o reporte e a mitigação de emissões de GEE em suas estratégias de produção e planejamento anual. Especificamente, eles permitirão que as empresas identifiquem oportunidades de redução de emissões de GEE, rastreiem progresso em direção de metas de redução, comuniquem os resultados aos investidores e aos consumidores finais, e respondam às demandas nacionais e internacionais por produtos menos intensivos em carbono.

### 1.1. Ferramenta de Cálculo

A Ferramenta de Cálculo foca nas fontes de emissão de GEE na fazenda, abrangendo as seguintes áreas:

- Adubação orgânica
- Aplicação de calcário
- Aplicação de defensivos agrícolas
- Aplicação de fertilizante nitrogenado sintético
- Aplicação de ureia
- Consumo de energia elétrica
- Cultivo de arroz
- Dejetos de animais em pastagens
- Fermentação entérica
- Fontes secundárias (deposição atmosférica e lixiviação ou escoamento superficial)
- Manejo de dejetos
- Manejo de dejetos de animais (exceto animais em pastagens)
- Mudança de uso do solo
- Operações mecanizadas
- Queima de resíduos vegetais
- Resíduos das culturas

Esses itens estão de acordo com os métodos de cálculo do inventário brasileiro de gases de efeito estufa, coordenado pelo MCT&I. O item 6 do presente documento apresenta os detalhes destas metodologias de cálculo.

A alocação de emissões realizada pela ferramenta de cálculo considera o produtor como seu público-alvo. Nos casos em que compradores, processadores e consumidores utilizem os resultados fornecidos pela Ferramenta, é necessário um processo de realocação das emissões no escopo pertinente (ver item 3 para mais detalhes).

## 2. GASES DE EFEITO ESTUFA

O clima na Terra é regulado pelo fluxo constante de energia solar que atravessa a atmosfera na forma de luz visível. Parte dessa energia é devolvida pela Terra na forma de radiação infravermelha. Os GEE são gases presentes na atmosfera terrestre que têm a propriedade de bloquear parte dessa radiação infravermelha. Muitos deles, como vapor d'água, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e ozônio (O<sub>3</sub>), existem naturalmente na atmosfera e são essenciais para a manutenção da vida no planeta, pois sem eles a Terra seria, em média, cerca de 30°C mais fria<sup>2</sup>.

Como consequência das atividades antrópicas na biosfera, o nível de concentração de alguns desses gases, como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, vem aumentando na atmosfera. Além disso, passou a ocorrer emissão de outros GEE, compostos químicos produzidos somente pelo homem, tais como clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), hidrofluorclorocarbonos (HCFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>). Como estipulado pelo GHG Protocol, os GEE a serem quantificados e reportados são:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- Metano (CH<sub>4</sub>)
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)
- Hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>)
- Hidrofluorcarbonos (HFCs)
- Perfluorcarbonos (PFCs)
- Trifluoreto de Nitrogênio (NF<sub>3</sub>)

---

<sup>2</sup> Fonte:

- Acot, P. Breve história do Clima. Ciência e Ambiente. Campinas SP.v34,p13-24 2007
- Marin, F.R ;Assad,E,D.;Pilau,F,G.; Clima e agricultura: Introdução à climatologia para ciências ambientais-Campinas SP Embrapa Informática Agropecuária,2008, 127 p. 1.edição

Os cálculos devem incluir apenas as emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal. Por isso, não se deve incluir os gases CFCs e os HCFCs, que destroem a camada de ozônio, os quais já são controlados pelo Protocolo de Montreal.

Os GEE cujas emissões antrópicas e remoções são tipicamente relacionados às atividades de uma cadeia agrícola são o CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O. Alguns outros gases, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e outros compostos carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e outros compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC) são considerados gases precursores do efeito estufa, pois possuem influência nas reações químicas que ocorrem na atmosfera. Desta maneira, a ferramenta também realiza cálculos associados às emissões antrópicas dos precursores quando disponíveis, e eles devem ser reportados separadamente dos escopos, conforme indicado no descrito no item 3.

## 2.1. O dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e)

Dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e) é uma métrica utilizada para equalizar as emissões de vários GEE com base na relativa importância de cada gás, em relação ao CO<sub>2</sub>, na produção de uma quantidade de energia (por área unitária) vários anos após um impulso de emissão.

Para o cálculo do CO<sub>2</sub>e são utilizadas algumas conversões, sendo que a mais utilizada é o GWP (Global Warming Potential) proposto pelo IPCC. O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (AR4)<sup>3</sup> já examina métricas alternativas ao GWP e o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5)<sup>4</sup> aprofunda essa análise. Entre as métricas propostas apresentadas no AR4 está o *Global Temperature Potential* – GTP<sup>5</sup>.

O relato, segundo as Diretrizes Agrícolas Brasileiras, deve ser realizado em unidades de massa de cada gás de efeito estufa utilizando a métrica do GWP-100 do AR4, seguindo as diretrizes

---

<sup>3</sup> Disponível em [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html)

<sup>4</sup> Disponível em [www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.UtRjZfRDvX0](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.UtRjZfRDvX0)

<sup>5</sup> SHINE, H et al. 2010, A study of radiative forcing and global warming potential of Hydrofluorocarbon. JQSRT, Norway). Zhang, H. WU, J.; SHEN, Z.P. A study of radiative forcing and global warming potential of PFCs and SF6 (no prelo)

da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Conversão de Emissões em GWP-100 e GTP-100

Gás	GTP-100	GWP-100
CO <sub>2</sub>	1	1
CH <sub>4</sub>	5	25
N <sub>2</sub> O	270	298
HFC-125	1.113	3.500
HFC-134a	55	1.300
HFC-143a	4.288	1.430
HFC-152a	0,1	124
CF <sub>4</sub>	10.052	7.390
C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	22.468	12.200
SF <sub>6</sub>	40.935	22.800

### 3. REPORTE DAS EMISSÕES

O reporte das emissões deve ser feito de acordo com as DAB e, portanto, tem a estrutura apresentada abaixo (para mais detalhes veja item xxx das DAB):

1. Resumo das emissões das empresas

Escopo	Categoria	Emissões em toneladas			Emissões em toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente (t CO <sub>2</sub> e)			
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Total
Escopo 1	Fontes mecânicas							
	Fontes não mecânicas							
	Mudanças do uso do solo							
Escopo 2	Compra de energia							
Escopo 3	Upstream e downstream							
Total								
Carbono biogênico	Uso do solo							
	Uso de biocombustíveis							
	Total							

2. Sequestro de carbono (t CO<sub>2</sub>e)

Categoria	Sequestro em toneladas de CO <sub>2</sub> equivalente (t CO <sub>2</sub> e)
Mudança no uso do solo	
Uso do solo	
Total	

3. Emissões líquidas (t CO<sub>2</sub>e)

Total de emissões dos escopos (t CO <sub>2</sub> e)	Total de emissões de carbono biogênico (t CO <sub>2</sub> e)	Total de sequestro de carbono (t CO <sub>2</sub> e)	Emissões líquidas (t CO <sub>2</sub> e)
	+	-	=

4. Outros gases

Gás	Emissão (tonelada)

Figura 1. Modelo de reporte de emissões de GEE

### 3.1. Definição dos escopos

As emissões são divididas três escopos, que são classificados de acordo com o grau de responsabilidade ou controle da organização inventariante perante a fonte das emissões – fontes diretas (fontes que pertencem ou são controladas pela organização inventariante) e fontes indiretas (fontes que pertencem ou são controladas por outra organização, mas são resultantes das atividades da organização inventariante). Essa divisão deve ser realizada de forma criteriosa e transparente, pois permite uma gestão efetiva das emissões de GEE e pode auxiliar em uma gestão dos riscos e oportunidades de GEE envolvendo toda a cadeia de valor. As categorias são:

**Escopo 1:** São emissões diretas advindas de fontes da organização inventariante ou controladas por ela. De acordo com as DAB existem três subdivisões dentro do Escopo 1:

- Fontes mecânicas – fontes de emissão que consomem combustível ou eletricidade e, portanto, emitem emissões de GEE pelo processo da combustão (na geração de energia ou no consumo de combustível). Exemplos de fontes mecânicas incluem equipamentos de colheita e caminhões para transporte.
- Fontes não mecânicas – são fontes que emitem GEE por processos bioquímicos e têm uma grande variação de acordo com as condições bioclimáticas sob as quais a fonte de emissão está submetida. Essas emissões, muitas vezes, estão ligadas aos ciclos de nitrogênio e carbono. Exemplos de fontes não mecânicas incluem fermentação entérica do gado e calagem do solo.
- Mudanças no uso do solo - este tipo de emissão ocorre quando há supressão de vegetação nativa para uso posterior da área para outros fins. As emissões advindas desta prática são consideradas não renováveis, pois é considerado que há uma substituição permanente de um reservatório de carbono antigo, relativamente constante e auto regenerativo por um reservatório geralmente de dimensão inferior e não auto regenerativo.

O relato de Escopo 1 é obrigatório segundo as DAB.

**Escopo 2:** Emissões indiretas provenientes da aquisição de energia elétrica e térmica que é consumida pela empresa. Nesta categoria são incluídas as emissões de GEE relativas à geração de energia elétrica comprada pela organização.

O relato de Escopo 2 é obrigatório segundo as DAB.

**Escopo 3:** Todas as outras emissões indiretas, não relatadas no Escopo 2. As emissões do Escopo 3 são uma consequência das atividades da empresa, mas ocorrem em fontes que não pertencem ou não são controladas pela empresa. Exemplos de fontes de escopo 3 incluem a produção de defensivos agrícolas. As fontes de emissão escopo 3 são ainda classificadas em 15 subcategorias, 8 a montante (upstream) e 7 a jusante (downstream), conforme a diretrizes do GHG Protocol Corporate Value Chain (Scope 3) Standard<sup>6</sup>.

O relato de Escopo 3 é opcional segundo as DAB.

### 3.2. Carbono biogênico

Uma proporção significativa das emissões de CO<sub>2</sub> provém da queima de biomassa (material biológico feito de carbono, hidrogênio e oxigênio), especialmente nas atividades produtivas relacionadas ao setor agrícola. Queimar biomassa resulta em 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). Nos termos do atual Protocolo de Quioto, 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 de carbono biogênico são divididas em duas categorias:

- Uso do solo – emissões dos solos, decomposição de matéria orgânica morta e queimadas de resíduos agrícolas.
- Uso de biocombustível – emissões do uso de biocombustíveis.

De acordo com as DAB, o carbono biogênico é de relato obrigatório.

---

<sup>6</sup> Disponível em <http://www.ghgprotocol.org/standards/scope-3-standard>

### 3.3. Sequestro de carbono

Essa categoria abrange todo o carbono removido da atmosfera por atividades realizadas diretamente pela empresa inventariante. O sequestro de carbono do solo contempla o acúmulo de carbono devido a Mudanças do uso do solo (ex. conversão de vegetação nativa para sistemas agrícolas ou pastagem) e também mudanças de sistemas de manejo (ex. conversão de sistema convencional para plantio direto).

De acordo com as DAB, o relato do sequestro de carbono é obrigatório.

### 3.4. Emissões líquidas

As emissões líquidas são calculadas de acordo com a fórmula abaixo:

*Emissões líquidas*

$$\begin{aligned} &= \textit{Emissões de Escopo 1, 2 e 3} + \textit{Emissões de carbono biogênico} \\ &- \textit{Sequestro de carbono} \end{aligned}$$

De acordo com as DAB, o relato de emissões líquidas é obrigatório.

### 3.5. Outros gases

Atividades agrícolas muitas vezes são responsáveis pela emissão de GEE ou gases precursores do efeito estufa que não são de reporte obrigatório. Alguns desses gases são o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e outros compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC).

De acordo com as DAB, o relato de outros gases é opcional.

## 4. ESCOLHA DA METODOLOGIA E NÍVEIS ADOTADOS (TIER 1, TIER 2 E TIER 3)

Com o intuito de desenvolver inventários nacionais de gases do efeito estufa com alta qualidade e que pudessem ser comparados entre si, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climática (IPCC), desenvolveu e continua desenvolvendo uma série de princípios e procedimentos metodológicos. Dentro destes princípios e procedimentos, se estabeleceu o

conceito dos Tiers (nível ou camada). Um tier representa o nível de complexidade metodológica que é adotada em um inventário de um país. Usualmente, três tiers são fornecidos. O Tier 1 é o método básico, Tier 2 intermediário e o Tier 3 mais demandante em termos de complexidade e necessidade de dados.

O Tier 1 é recomendado para situações onde não há disponibilidade de fatores de emissão específicos para o país, ou limitações quanto aos dados de atividade como por exemplo, informações sobre o uso da terra ou sobre as populações dos rebanhos. Nestes casos, os guias do IPCC disponibilizam os dados defaults, os quais permitem a realização das estimativas. O Tier 2 é recomendado para situações onde existe a disponibilidade de fatores de emissão específicos para as principais condições do país ou região e/ou maior detalhamento para os dados das atividades. O Tier 3, no caso da convenção quadro das Nações Unidas, se refere ao uso de procedimentos metodológicos desenvolvidos especificamente pelo país, o qual pode incluir modelagem e maior detalhamento das medidas dos inventários.

Apesar de desenvolvido para uso em inventários nacionais, o conceito dos tiers também pode ser aplicado a estimativas regionais ou no nível do produtor rural. Neste sentido, esta ferramenta buscou adotar sempre que possível o Tier 2, ou seja, dados específicos a nível dos estados brasileiros. Somente na ausência de informações específicas, adotaram-se os valores default do IPCC (Tier 1).

Detalhamento maior das incertezas existente em cada nível definido podem ser verificados no *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, chapter 6, Quantifying Uncertainties In Practice.*<sup>7</sup>

## 5. TEMPO DE RESPOSTA DO CARBONO NO SOLO

Diversos experimentos no Brasil<sup>8</sup> têm identificado como é o comportamento do estoque de carbono no solo em tempos diferentes. No trabalho de Moraes et al 1996, comparando o estoque como isótopo <sup>13</sup>C da floresta e de pastagem a estabilização fica entre 13 a 20 anos.

---

<sup>7</sup> É possível acessar o detalhamento das metodologias adotadas pelo IPCC em

- [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0\\_Overview/V0\\_1\\_Overview.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0_Overview/V0_1_Overview.pdf)
- <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>

<sup>8</sup> Fontes:

Os diversos exemplos analisados nos trabalhos científicos deixam evidente que a estabilização do carbono começa a ocorrer entre 15 e 20 anos após a alteração de uso do solo. Levando em consideração esses resultados experimentais estabelecidos no Brasil, o tempo de 20 anos foi considerado na ferramenta de cálculo para a estabilização do carbono no solo em função do seu uso.

## 6. METODOLOGIAS DE CÁLCULO

Neste item são apresentadas as metodologias utilizadas na Ferramenta de Cálculo do GHG Protocol Agrícola. Tais metodologias são baseadas nas mesmas diretrizes utilizadas pelo Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatório de Referência da Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, publicado no ano de 2010 e que segue o relatório do IPCC Guidelines 2006<sup>9</sup>.

Conforme descrito a seguir, foi dada prioridade para a utilização de fatores de emissão adequados para a realidade brasileira, portanto fatores de emissão Tier 2 e, nos casos em que as métricas Tier 2 não estão disponíveis, foram utilizados fatores de emissão Tier 1, baseadas principalmente no IPCC Guidelines 2006. Todas as variáveis utilizadas nos cálculos são descritas e explicadas nos itens 6.1 ao 6.17.

- 
- MORAES, J.F.L.D., VOLKOFF, B., CERRI, C. BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondonia, Brazil. *Geoderma*, v.70, p63-81, 1996
  - Alves, B.J.R.; Urguiaga, S.; Aita, C.; Boddey, R.M.; Jantalia, C.P., Camargo, F.A.O. in: Manejo de sistemas agrícolas, Impacto no sequestro de C e nas emissões de Gases de efeito estufa. Porto Alegre, Genesis, 2006, 216 p. Embrapa Agrobiologia.
  - Campos, D.V.B.; Uso da técnica de 13C e fracionamento físico da matéria orgânica nos solos sob cobertura de pastagens e cana de açúcar na região da Mata atlântica. Tese de doutorado UFRRJ, Seropédica . 2003
  - Salton, Julio Cesar . Matéria orgânica e agregação do solo na rotação da lavoura-pastagem em ambiente tropical. Porto Alegre Tese de doutorado, UFRGS, 158p. 2005.
  - Urquiaga, S.; Cadish, G.; Alves, B.J.R.; Boddey, R.M.; Giller, K.E.; Influence of decomposition of roots of tropical forage species on the availability of nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, v.30. n.14, p2099-2106, 1998. Embrapa Agrobiologia.

<sup>9</sup> Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

[http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/310922/Segundo\\_Inventario\\_Brasileiro\\_de\\_Emissoes\\_e\\_Remocoes\\_Antropicas\\_de\\_Gases\\_de\\_Efeito\\_Estufa.html](http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/310922/Segundo_Inventario_Brasileiro_de_Emissoes_e_Remocoes_Antropicas_de_Gases_de_Efeito_Estufa.html)

Não foram utilizados fatores de emissão Tier 3, pois esses são muito específicos para cada tipo de clima, sistema de manejo, entre outros fatores. Portanto, a utilização desses fatores de emissão não está de acordo com o objetivo da Ferramenta de Cálculo, que visa ser utilizada em todo o território brasileiro.

### 6.1. Aplicação de fertilizantes orgânicos

A equação utilizada para calcular as emissões de óxido nitroso proveniente do uso de fertilizantes orgânicos se encontra abaixo:

$$N_2O_{AD.ORG} = Q_{ORG} \times N_{ad} \times (1 - FRAC_{GASM}) \times EF_1$$

Onde,

$N_2O_{AD.ORG}$  é a emissão de óxido nitroso associada à aplicação de fertilizantes orgânicos (Kg  $N_2O$ -N / Kg de adubo aplicado);

$Q_{ORG}$  é a quantidade de adubo orgânico aplicado (Kg);

$N_{ad}$  é o percentual de nitrogênio do adubo orgânico (%);

$FRAC_{GASM}$  é a fração do N aplicado que volatiliza na forma de  $NH_3$  e  $NO_x$  (%);

$EF_1$  é o fator de emissão (%).

As Tabela 2 e Tabela 3 apresentam alguns dos parâmetros utilizados para o cálculo de emissões associadas ao uso de fertilizantes orgânicos.

Tabela 2. Parâmetros para aplicação de fertilizantes orgânicos<sup>10</sup>

Parâmetro	Valor
-----------	-------

<sup>10</sup> Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 106 pp. 2010.

FRAC <sub>GASM</sub> (%)	0,2 (Tier 1)
EF <sub>1</sub> (%)	0,1 (Tier 2)

Tabela 3. Percentual de N e coeficientes de composto para adubos orgânicos<sup>11</sup>

Adbos orgânicos	% de N	Coeficiente composto (t / CO <sub>2</sub> e) <sup>*12</sup>
Esterco (bovino, equino, suíno, ovinos)	1,60	0,00003968
Esterco de Aves	3	0,0000744
Composto orgânico	1,4	0,00003472
Geral	1,8	0,00004464
Adbos orgânicos - Cana	g de N <sub>2</sub> O/ha/ano	Coeficiente composto (t / CO <sub>2</sub> e)
Vinhaça	269	0,0796 <sup>13</sup>
Torta de filtro	2357	0,6977 <sup>14</sup>

## 6.2. Aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos

A equação utilizada para calcular as emissões de óxido nitroso proveniente do uso de fertilizantes sintéticos se encontra abaixo:

<sup>11</sup> Fonte: IPCC, 2006

<sup>12</sup> Coeficientes compostos representam o valor unificado de todos os parâmetros envolvidos nas estimativas das emissões de GEE, incluindo as conversões de quilograma para tonelada e o potencial de aquecimento global de cada gás.

<sup>13</sup> Fonte:

- Rocha, F.R. Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar submetida a diferentes doses de vinhaça. Tese de Doutorado, ESALQ, 2013.
- Prada, S.M.; Guekezian, M.; Suarez-Iha, M.E.V. Metodologia analítica para a determinação de sulfato em vinhoto. Química Nova, v. 21, n.3, p. 249-252, 1998.
- Camargo, J.A.; Pereira, N.; Cabello, P.R.; Teran, F.J.C. Viabilidade da aplicação do método respirométrico de bartha para a análise da atividade microbiana de solos sob a aplicação de vinhaça. Engenharia Ambiental, v.6, n.2, p.264-271, 2009.

<sup>14</sup> Fonte: FIRME, L.P. Cinética de degradação microbológica de torta de filtro no solo na presença de cádmio e níquel. (Dissertação de Mestrado). Piracicaba, 2005, 74 p.

$$N_2O_{FERT} = N_{FERT} \times (1 - FRAC_{GASF}) \times EF_1$$

Onde,

$N_2O_{FERT}$  é a emissão de óxido nitroso associada à aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Kg  $N_2O-N$  / Kg de adubo aplicado);

$N_{FERT}$  é a quantidade de N aplicado como fertilizante nitrogenado (Kg);

$FRAC_{GASF}$  é a fração do N aplicado que volatiliza na forma de  $NH_3$  e  $NO_x$  (%);

$EF_1$  é o fator de emissão (%).

Tabela 4. Tabela fatores de emissão fertilizantes nitrogenados sintéticos<sup>15</sup>

PAG do $N_2O$		298
$EF_1$	0,30%	0,003
$FRAC_{GASF}$	10%	0,9 (1 - 0,1)
<b>Coefficiente composto (t / <math>CO_2</math> eq)</b>		<b>0,000837</b>

### 6.3. Aplicação de calcário

A emissão de  $CO_2$  na calagem é calculada utilizando-se a equação abaixo:

$$CO_2_{CALCÁRIO} = (Q_{Calcítico} \times FE_{Calcítico} + Q_{Dolimítico} \times FE_{Dolimítico}) \times 44/12$$

Onde,

$CO_2_{CALCÁRIO}$  é a emissão de  $CO_2$  associada à aplicação de calcário no solo (kg  $CO_2$ );

---

<sup>15</sup> Fonte: IPCC, 2007

$Q_{\text{CALCÍTICO}}$  é a quantidade anual de calcário calcítico ( $\text{CaCO}_3$ ) aplicado ao solo por ano<sup>16</sup> (kg);

$Q_{\text{DOLOMÍTICO}}$  é a quantidade anual de calcário dolomítico ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) (Mg) aplicado ao solo por ano<sup>17</sup> (kg);

FE é o fator de emissão – conteúdo de carbono no calcário (%);

44/12 é o fator de conversão de C para  $\text{CO}_2$  (adimensional).

A Tabela 5 mostra quais são os fatores de emissão para uso do calcário. Esses fatores de emissão são Tier 1.

Tabela 5. Fatores de emissão do calcário<sup>18</sup>

Tipo de Calcário	Fator de Emissão (%)
Calcítico	0,12
Dolomítico	0,13

#### 6.4. Aplicação de ureia

A emissão de  $\text{CO}_2$  na aplicação de ureia é calculada utilizando-se a equação abaixo:

$$CO_2 \text{ UREIA} = Q_{\text{Ureia}} \times FE_{\text{Ureia}} \times \frac{44}{12}$$

Onde,

$CO_2 \text{ UREIA}$  é a emissão de  $\text{CO}_2$  associada à aplicação de ureia no solo (kg  $\text{CO}_2$ );

$Q_{\text{UREIA}}$  é a quantidade de ureia aplicada ao solo<sup>19</sup> (kg);

<sup>16</sup> Q deve incluir todo o calcário calcítico aplicado no solo, inclusive a proporção aplicada por meio de mistura de fertilizantes.

<sup>17</sup> Q deve incluir todo o calcário dolomítico aplicado no solo, inclusive a proporção aplicada por meio de mistura de fertilizantes.

<sup>18</sup> Fonte: IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Hayama, Japan

$FE_{UREIA}$  é o fator de emissão – conteúdo de carbono no calcário (%);

44/12 é p fator de conversão de C para  $CO_2$  (adimensional).

A Tabela 6 mostra quais são os fatores de emissão para uso de ureia no solo. Esses fatores de emissão são Tier 1.

Tabela 6. Fatores de emissão da ureia<sup>20</sup>

Fertilizante	Fator de Emissão (%)
Ureia	0,20

### 6.5. Aplicação de defensivos agrícolas

Os fatores de emissão dos defensivos agrícolas são associados à fase de produção e transporte desses químicos, também conhecido como a pegada de carbono do produto até a entrada na unidade rural. O uso destes produtos não acarretam emissões de GEE diretas na fazenda, e, portanto devem ser reportados como emissões indiretas de escopo 3, considerada como Tier 1.

O cálculo de emissões de aplicação de defensivos agrícolas é realizado a partir de:

$$E_{DA} = Q_{Herbicida} \times FE_{Herbicida} + Q_{Inseticida} \times FE_{Inseticida} + Q_{Fungicida} \times FE_{Fungicida}$$

Onde,

$E_{DA}$  é a emissão de GEE associada à aplicação de defensivos agrícolas no solo (kg  $CO_2e$ );

$Q_{HERBICIDA}$  é a quantidade de herbicida aplicado no solo (kg);

<sup>19</sup> Q deve incluir toda a ureia aplicada no solo, inclusive a proporção aplicada por meio de mistura de fertilizantes.

<sup>20</sup> Fonte: IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Hayama, Japan.



$FE_{\text{HERBICIDA}}$  é o fator de emissão de herbicida (kg CO<sub>2</sub>e /kg produto);

$Q_{\text{INSETICIDA}}$  é a quantidade de inseticida aplicado no solo (kg);

$FE_{\text{INSETICIDA}}$  é o fator de emissão de inseticida (kg CO<sub>2</sub>e /kg produto);

$Q_{\text{FUNGICIDA}}$  é a quantidade de fungicida aplicado no solo (kg);

$FE_{\text{FUNGICIDA}}$  é o fator de emissão de fungicida (kg CO<sub>2</sub>e /kg produto).

A Tabela 7 mostra os fatores de emissão para o uso de defensivos agrícolas. Esses fatores de emissão são Tier 1.

Tabela 7. Tabela com os fatores de emissão para uso de defensivos agrícolas<sup>21</sup>

Defensivo agrícola	Fator de emissão (kg CO <sub>2</sub> e /kg produto)
Herbicidas	10,2610
Inseticidas	16,6750
Fungicidas	10,1140

## 6.6. Cultivo de arroz

As emissões devido ao cultivo no arroz são calculadas multiplicando-se um fator de emissão pela área colhida anual levando-se em consideração o tipo de ecossistema do arroz, a presença de alagamento antes e durante o cultivo e incrementos orgânicos. De acordo com a relação abaixo:

$$CH_4_{\text{ARROZ}} = FE_i \times A$$

Onde,

$CH_4_{\text{ARROZ}}$  é a emissão de metano associada à produção de arroz (g CH<sub>4</sub>);

<sup>21</sup> Fonte: Ecoinvent DataBase. Disponível em <http://www.ecoinvent.org/database/>



FEi é o fator de emissão integrado para a estação e para uma dada área colhida (g CH<sub>4</sub> /m<sup>2</sup>/ano);

A é a área colhida (m<sup>2</sup>).

O fator de emissão é calculado a partir da equação:

$$FEi = FEc \times SFw \times SFo \times SFs$$

Onde,

FEc é o fator de emissão integrado para a estação para campos continuamente inundados sem acréscimos orgânicos -padrão (g CH<sub>4</sub> /m<sup>2</sup>/ano);

SFw é o fator de escala para levar em conta as diferenças em ecossistemas e regimes de manejo de água (adimensional);

SFo é o fator de escala que varia para ambos os tipos e quantidades de acréscimos orgânicos aplicados (adimensional);

SFs é o fator de escala para o tipo de solo, se disponível (adimensional).

O fator de emissão integrado para a estação para campos continuamente inundados e sem acréscimos orgânicos (FEc) foi baseado em IPCC, 2006 (Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories), na qual é utilizado o valor de 20 g CH<sub>4</sub> /m<sup>2</sup>/ano.

Os fatores de escala são adimensionais e são eles que adaptam o fator de emissão padrão (FEc) para as práticas específicas adotadas na fazenda. Por exemplo, em um sistema que permanece continuamente inundado o fator de escala é 1. Se o sistema é intermitentemente inundado com uma única aeração o fator é de 0,5, ou seja, 50% da emissão do sistema referência (continuamente inundado).

Os ecossistemas de arroz são:

1. **Sequeiro (ou Terra Firme):** os campos nunca são inundados por um período significativo de tempo;

2. **Terras Baixas:** os campos são inundados por um período significativo de tempo;
  - 2.1. **Irrigado:** o regime de água é totalmente controlado;
    - 2.1.1. Continuamente inundado: os campos apresentam uma lâmina de água ao longo da estação de crescimento de arroz e podem estar secos somente para a colheita;
    - 2.1.2. Intermitentemente inundado: os campos apresentam pelo menos um período de aeração de mais de 3 dias durante a estação de cultivo;
      - 2.1.2.1. Aeração única: os campos de arroz são submetidos a apenas uma aeração durante a estação de cultivo em qualquer estágio de crescimento;
      - 2.1.2.2. Múltiplas aerações: os campos são submetidos a mais de um período de aeração durante a estação de cultivo;
  - 2.2. **Alimentado por Chuva:** o regime de água depende exclusivamente da precipitação pluviométrica;
    - 2.2.1. Várzea úmida: o nível de água pode subir até 50 cm durante a estação de crescimento;
    - 2.2.2. Várzea seca: períodos de ausência de chuva (seca) ocorre durante cada estação de cultivo;
  - 2.3. **Arroz de água profunda:** a água de inundação sobe a mais de 50 cm por um período significativo de tempo durante a estação de crescimento;
    - 2.3.1. Campos inundados com profundidade de água de 50-100 cm;
    - 2.3.2. Campos inundados com profundidades de água maiores que 100 cm.

Os fatores de escala estão descritos nas Tabela 8 e Tabela 9. Esses fatores de escala são Tier 1.

Tabela 8. Fatores de escala dos diferentes ecossistemas de arroz<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> Fonte: IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Hayama, Japan.

Regime de água	Fator de escala (adimensional)	Intervalo
1. Sequeiro (ou Terra Firme)	0	-
2. Terras Baixas		
2.1. Irrigado		
2.1.1. Continuamente inundado	1	-
2.1.2. Intermitentemente inundado		
2.1.2.1. Aeração Única	0,5	0,2 - 0,7
2.1.2.2. Múltiplas aerações	0,2	0,1 - 0,3
2.2. Alimentado por Chuva		
2.2.1. Várzea úmida	0,8	0,5 - 1,0
2.2.2. Várzea seca	0,4	0 - 0,5
2.3. Água profunda		
2.3.1. Profundidade entre 50 e 100 cm	0,8	0,6 - 1,0
2.3.2. Profundidades maiores que 100 cm	0,6	0,5 - 0,8

Tabela 9. Fatores de escala para incrementos orgânicos<sup>15</sup>

Quantidade de matéria seca aplicada (t/ha)	Fator de escala – SFo (adimensional)	Intervalo
1-2	1,5	1-2
2-4	1,8	1,5-2,5
4-8	2,5	1,5-3,5
8-15	3,5	2-4,5
15+	4	3-5

Para usar a Tabela 9 para acréscimos orgânicos fermentados, dividir a quantidade aplicada por seis.

### 6.7. Dejetos de animais em pastagens

A equação utilizada para calcular as emissões de óxido nitroso proveniente de animais em pastagens se encontra abaixo:

$$N_2O_{PAST} = NA \times N_{EX} \times FRAC_{PRP} \times EF_3$$

Onde,

$N_2O_{PAST}$  é a emissão de óxido nitroso associada aos dejetos de animais em pastagens (Kg  $N_2O-N$  / Kg de dejetos depositado);

NA é o número de animais (por rebanho);

$N_{EX}$  é o total de N excretado anualmente por animal de cada categoria (Kg N/ animal / ano); Os valores do N excretado são Tier 1 Guidelines IPCC, 2006

$FRAC_{PRP}$  é a fração do N total excretado pelos animais diretamente em pastagens (%);

$EF_3$  é o fator de emissão (%);

Tabela 10. Fator de emissão para dejetos de animais em pastagens<sup>23</sup>

Dejetos	Fator de Emissão
Dejetos de animais	0,007

\*

<sup>23</sup> Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 106 pp. 2010.

*Lessa, A.C.R.; Madari, B.E.; Paredes, D.S.; Boddey, R.M.; Urquiaga, S.; Jantalia, C.P.; Alves, B.J.R.; Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. Agriculture, Ecosystems and Environment. 2014*

## 6.8. Fermentação entérica

O cálculo de emissões devido à fermentação entérica é realizado a partir de:

$$CH_{4\text{FERMENTAÇÃO}} = NA \times FE_{CH_{4\text{FERMANTAÇÃO}}}$$

Onde,

$CH_{4\text{FERMENTAÇÃO}}$  = emissão de metano associada à fermentação entérica (kg de  $CH_4$ /ano)

NA é o número de animais;

$FE_{CH_{4\text{FERMENTAÇÃO}}}$  = fator de emissão de  $CH_4$  para fermentação entérica (kg de  $CH_4$ /cabeça/ano).

Os fatores de emissão de metano para fermentação entérica da pecuária ( $FE_{CH_{4\text{FERMENTAÇÃO}}}$ ) são apresentados na

Tabela 11 e Tabela 12 abaixo. Esses fatores de emissão são Tier 2 e Tier 1 respectivamente.

Tabela 11. Fatores de emissão de metano para fermentação entérica de gado de corte, machos e jovens, fêmeas e vacas leiteiras<sup>24</sup>

Estado	Fator de emissão (kg $CH_4$ /cabeça/ano)			
	Gado de corte			Vaca leiteira <sup>25</sup>
	Macho <sup>26</sup>	Jovem <sup>27</sup>	Fêmea <sup>28</sup>	
Rondônia	55	42	61	63

<sup>24</sup> Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 120 pp. 2010.

<sup>25</sup> Período de 2006

<sup>26</sup> Período de 2002 até 2006

<sup>27</sup> Período de 2002 até 2006

<sup>28</sup> Período de 2006



GREENHOUSE  
GAS PROTOCOL

Acre	55	42	60	62
Amazonas	55	42	60	61
Roraima	55	42	56	58
Pará	55	42	60	62
Amapá	55	42	60	61
Tocantins	55	42	59	60
Maranhão	57	44	63	62
Piauí	57	44	60	59
Ceará	57	44	65	64
Rio Grande do Norte	57	44	67	66
Paraíba	57	44	65	64
Pernambuco	57	44	73	71
Alagoas	57	44	74	73
Sergipe	57	44	71	70
Bahia	57	44	62	61
Minas Gerais	56	43	74	70
Espirito Santo	56	43	69	65
Rio de Janeiro	56	43	70	66
São Paulo	56	43	69	65
Paraná	58	45	82	69
Santa Catarina	58	45	85	72
Rio Grande do Sul	58	45	84	71
Mato Grosso do Sul	55	42	66	65
Mato Grosso	55	42	68	67
Goiás	55	42	68	67
Distrito Federal	55	42	74	73



Tabela 12. Fatores de emissão de metano por fermentação entérica por outras categorias animais<sup>29</sup>

Categoria	Fator de emissão (kg CH <sub>4</sub> /cabeça/ano)
Suínos	1
Asininos	10
Muares	10
Bubalinos	55
Caprinos	5
Equinos	18
Ovinos	5

### 6.9. Manejo de dejetos de animais (exceto animais em pastagem)

A equação utilizada para calcular as emissões de óxido nitroso do manejo de dejetos proveniente de animais exceto pastagens se encontra abaixo:

$$N_2O_{DEJ} = NA \times N_{EX} \times (1 - FRAC_{PRP}) \times EF_3$$

Onde,

$N_2O_{DEJETOS}$  é a emissão de óxido nitroso associada ao manejo de dejetos (Kg N<sub>2</sub>O-N / Kg de dejetos depositado);

NA é o número de animais (por rebanho);

<sup>29</sup> Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 120 pp. 2010.

$N_{EX}$  é o total de N excretado anualmente por animal de cada categoria (Kg N/ animal / ano );

$FRAC_{PRP}$  é a fração do N total excretado pelos animais diretamente em pastagens (%);

$EF_3$  é o fator de emissão (%).

Tabela 13. Valores default para fator de emissão de  $N_2O$  de manejo de dejetos animal por tipo de manejo

Sistema	Descrição	$EF_3$ (%)	Variação
Lagoa anaeróbica	O sistema de lagoa anaeróbica é caracterizado como o transporte de dejetos através da água para lagoas. O esterco permanece na lagoa por um período de 30 dias até 200 dias. A água da lagoa pode ser utilizada para irrigar e fertilizar os campos.	0,001	-
Armazenamento sólido	O esterco e a urina são coletados e armazenados empilhados por um longo tempo (meses) antes de serem eliminados, com ou sem escoamento de água de chuva para um sistema de fossa.	0,02	-
Dry lot	Em clima seco os animais podem ser mantidos em confinamento não pavimentado, onde o esterco seca até ser periodicamente removido. Após a remoção, o esterco pode ser distribuído nos campos.	0,02	-
Pastagem	Este dejetos é depositado diretamente no solo pela pecuária. Portanto, não possui tratamento.	0,02	-
Esterqueira	Este sistema é caracterizado por combinar o armazenamento de esterco e urina em tanques. Para facilitar a manipulação, água pode ser adicionada ao material armazenado.	0,001	-
Biodigestor	Esterco e urina são anaerobicamente digeridos produzindo $CH_4$ .	0,001	-
Outros sistemas	Sistemas não definidos	0,005	-

A emissão também pode ser calculada a partir do tipo de animal. Neste caso, o fator de emissão é Tier 1 e estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Valores default para fator de emissão de N<sub>2</sub>O de manejo de dejetos animal por tipo de animal<sup>30</sup>

Sistema	Descrição	EF <sub>3</sub> (%)	Variação
Gado (leiteiro, não leiteiro e búfalos), aves e porcos	Fator de emissão (DEFAULT) IPCC, 2006	0,02	0,007-0,06
Ovinos e outros animais	Fator de emissão (DEFAULT) IPCC, 2007	0,01	0,003-0,03

### 6.10. Manejo de dejetos

A equação utilizada para calcular as emissões de metano do manejo de dejetos proveniente de animais é:

$$CH_{4\text{DEJETOS}} = NA \times EF_{CH_{4\text{DEJETOS}}}$$

Onde,

CH<sub>4DEJETOS</sub> é a emissão do metano associada ao manejo de dejetos (kg CH<sub>4</sub>/ano);

NA é o número de animais;

FE<sub>CH<sub>4</sub>.DEJETOS</sub> = fator de emissão de CH<sub>4</sub> para manejo de dejetos (kg CH<sub>4</sub>/cabeça/ ano).

Os fatores de emissão de metano para manejo de esterco da pecuária são apresentados nas

<sup>30</sup> Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 106 pp. 2010.

Tabela 15 e Tabela 16.

Tabela 15. Fatores de emissão de metano para manejo de esterco de bovinos e suínos<sup>25</sup>

Estado	Fator de emissão <sup>31</sup> (kg CH <sub>4</sub> /cabeça/ano)				
	Bovino de corte			Suíno	Vaca leiteira
	Macho	Fêmea	Jovem		
Rondônia	1,8	1,6	2,2	1,1	0,6
Acre	1,8	1,6	2,1	1,1	0,4
Amazonas	1,8	1,6	2,1	1,1	0,5
Roraima	1,9	1,7	1,8	1,2	0,4
Pará	1,8	1,6	2,1	1,1	0,5
Amapá	1,8	1,6	2,4	1,1	0,5
Tocantins	1,8	1,6	2,1	1,1	0,6
Maranhão	1,7	1,5	2,1	1	0,9
Piauí	1,7	1,5	2,1	1,1	0,6
Ceará	1,7	1,5	2,1	1	1,1
Rio Grande do Norte	1,7	1,5	2,1	1,1	0,8
Paraíba	1,7	1,5	2,2	1,1	0,8
Pernambuco	1,7	1,5	2,1	1	0,7
Alagoas	1,9	1,7	2,7	1,2	1,9
Sergipe	1,7	1,5	2,1	1,1	1,2
Bahia	1,3	1,2	1,6	0,8	0,7
Minas Gerais	1,5	1,4	1,8	0,9	2,5

<sup>31</sup> Ano base 2006



Minas Gerais (grandes propriedades)	-	-	-	-	8,6
Espírito Santo	1,4	1,3	1,8	0,9	2,1
Espírito Santo (grandes propriedades)	-	-	-	-	5,9
Rio de Janeiro	1,5	1,3	1,6	0,9	5,9
São Paulo	1,5	1,4	2	0,9	2,2
São Paulo (grandes propriedades)	-	-	-	-	6,4
Paraná	1,6	1,5	2,4	1	3,6
Paraná (grandes propriedades)	-	-	-	-	6
Santa Catarina	1,8	1,6	2,3	1,1	5,8
Santa Catarina (grandes propriedades)	-	-	-	-	6,5
Rio Grande do Sul	1,5	1,3	2	0,9	3,9
Rio Grande do Sul (grandes propriedades)	-	-	-	-	10
Mato Grosso do Sul	1,3	1,2	1,9	0,8	2,7
Mato Grosso do Sul (grandes propriedades)	-	-	-	-	9,7
Mato Grosso	1,3	1,2	1,6	0,8	3,3
Mato Grosso (grandes propriedades)	-	-	-	-	8,5
Goiás	1,4	1,2	1,6	0,8	1,9
Goiás (grandes propriedades)	-	-	-	-	7,7
Distrito Federal	3,2	2,8	1,4	1,9	8,8



Tabela 16. Fatores de emissão de metano para manejo de esterco de asininos, muares, bubalinos, caprinos, equinos, ovinos e aves<sup>32</sup>

Estado	Fator de emissão (kg CH <sub>4</sub> /cabeça/ano)						
	Asininos	Muares	Bubalinos	Caprinos	Equinos	Ovinos	Aves
Rondônia	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Acre	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Amazonas	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Roraima	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Pará	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Amapá	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Tocantins	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Maranhão	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Piauí	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Ceará	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Rio Grande do Norte	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Paraíba	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Pernambuco	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Alagoas	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Sergipe	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Bahia	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,018
Minas Gerais	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,117

<sup>32</sup> Fonte:

- JENSEN, B.B. Methanogenesis in monogastric animals. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 42, n. 1-2, p.99-112, 1996.
- MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 120 pp. 2010.

Espírito Santo	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,018
Rio de Janeiro	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,117
São Paulo	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,117
Paraná	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,117
Santa Catarina	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,117
Rio Grande do Sul	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,117
Mato Grosso do Sul	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,018
Mato Grosso	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,018
Goiás	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,018
Distrito Federal	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,018

Para os rebanhos de búfalos, ovinos, caprinos, equinos, muares, asininos e aves foi adotado o Tier 1. As diferenças entre os fatores de emissão de cada estado acontece pois os fatores de emissão do Tier 1 são definidos para faixas climáticas.

### 6.11. Fontes secundárias de N<sub>2</sub>O (deposição atmosférica e lixiviação ou escoamento superficial)

As emissões secundárias de N<sub>2</sub>O foram calculadas considerando duas fontes principais: a deposição atmosférica de NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub>, a lixiviação e o escoamento superficial. Para tanto, foram utilizados os dados referentes ao uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos (N<sub>FERT</sub>) e à quantidade de N contida tanto nos resíduos adicionados ao solo (N<sub>RESÍDUOS</sub>). Parte-se do princípio que parte do N aplicado ao solo é volatilizada na forma de NH<sub>3</sub> e NO<sub>x</sub> e retorna ao solo pela deposição atmosférica, ficando novamente passível de ser emitida na forma de N<sub>2</sub>O.

#### A. Emissão de N<sub>2</sub>O proveniente de deposição atmosférica

$$N_2O_{(G)} = [(N_{FERT} + FRAC_{GASF}) + (N_{RESÍDUOS} \times FRAC_{GASM})] \times EF_3$$

Onde,

$N_{2O(G)}$  é a emissão de óxido nitroso associada à deposição atmosférica (kg  $N_2O-N$ );

$N_{FERT}$  é a quantidade de N aplicada na forma de fertilizante sintético (kg de N/ano);

$FRAC_{GASF}$  é a fração do N aplicada na forma de fertilizante sintético que volatiliza como  $NH_3$  e  $NO_x$  (kg [ $NH_3-N$  e  $NO_x-N$ ]/kg N aplicado);

$N_{RESÍDUOS}$  é a quantidade de N contido nos resíduos aplicados aos solos como fertilizante (kg de N/ano);

$FRAC_{GASM}$  é a fração do N aplicada como resíduos que volatiliza como  $NH_3$  e  $NO_x$  (kg [ $NH_3-N$  e  $NO_x-N$ ]/kg N excretado);

$EF_3$  é o fator de emissão para a deposição atmosférica (kg  $N_2O-N$ /kg [ $NH_3-N$  e  $NO_x-N$ ] emitido). (IPCC, 2006)

Os valores de  $FRAC_{GASF}$ ,  $FRAC_{GASM}$  e  $EF_3$  são apresentados na tabela 17.

Tabela 17. Parâmetros para o cálculo de emissões de  $N_2O$  provenientes de deposição atmosférica

Parâmetro	Valor
$FRAC_{GASF}$	0,1
$FRAC_{GASM}$	0,2
$EF_3$	0,01

Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 106 pp. 2010.

#### B. Emissão de $N_2O$ proveniente de lixiviação ou escoamento superficial

Para calcular a quantidade de N passível de lixiviação ou escoamento superficial, também foram utilizados os dados referentes ao uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos ( $N_{FERT}$ ), da quantidade de N contida em resíduos aplicados aos solos como fertilizante ( $N_{resíduos}$ ).

$$N_{2O(L)} = (N_{FERT} + N_{RESÍDUOS}) \times FRAC_{LEACH} \times EF_4$$

Onde,

$N_2O_{(L)}$  é a emissão de óxido nitroso associada à lixiviação ou escoamento superficial (kg  $N_2O-N$ );

$N_{FERT}$  é a quantidade de N aplicada na forma de fertilizante sintético (kg de N/ano);

$N_{resíduos}$  é a quantidade de N contido nos resíduos aplicados aos solos como fertilizante (kg de N/ano);

$FRAC_{LEACH}$  = fração do N adicionado ao solo que é perdida por lixiviação ou escoamento superficial (kg N lixiviado ou escoado/kg de fertilizante ou esterco);

$EF_4$  = fator de emissão de  $N_2O$  para lixiviação/escoamento (kg  $N_2O-N$ /kg N lixiviado/escoado).

A Tabela 18 indica os parâmetros para o cálculo de emissões de  $N_2O$  provenientes da lixiviação ou escoamento superficial.

Tabela 18. Parâmetros para o cálculo de emissões de  $N_2O$  provenientes de lixiviação ou escoamento superficial

Parâmetro	Valor
$FRAC_{LEACH}$	0,3
$EF_4$	0,025

Fonte: Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 106 pp. 2010.

## 6.12. Mudança de uso do solo e sistemas de manejo

O cálculo de emissões referente à mudança de uso do solo e diferentes sistemas de manejo é feito utilizando as taxas de alteração de carbono em cada tipo de modificação. A Tabela 19 mostra as taxas de alterações das mudanças de uso do solo.

Tabela 19. Taxas de alteração (Mg C/ha/ano) para os principais sistemas de manejo do solo<sup>33</sup>

Mudança de uso do solo	Taxa de alteração (Mg C/ha/ano)
PD para ILP	0,280
CC para PD demais regiões do país	0,480
CC para PD na região sul	0,350
Pastagem para PD	0,190
VN para PD no Cerrado	0,120
VN para PD na Floresta Amazônica	-0,240
VN para CC em solos com baixo teor de argila	-0,250
VN para CC em solo com alto teor de argila	-0,044
Cerrado para Cana com queima	- 0,851
Agricultura convencional (culturas anuais) para Cana com queima	0,570
Pastagem para cana com queima	- 0,257

<sup>33</sup> Fonte:

- Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Pavinato, A., Dieckow, J., 2006. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research* 86, 237-245.
- Cerri, CC., Galdos, MV., Maia, SMF., Bernoux, M., Feigl, BJ., Powlson, D., Cerri, CEP., 2011. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. *European Journal of Soil Science*, 62, 23–28.
- Maia, SMF., Carvalho, JLN., Cerri, CEP., Lal, R., Bernoux, M., Galdos, MV., Cerri, CC., 2013. Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. *Soil & Tillage Research* 133, 75-84.
- Mello, FFC. Estoques de carbono do solo na mudança de uso da terra para o cultivo de cana-de-acucar na região centro Sul do Brasil., 2012. Tese de Doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 102p.
- MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de dióxido de carbono no setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 100 pp. 2010.

Cana com queima para cana sem queima	0,613
VN para pastagem degradada	- 0,177
VN para pastagem nominal	0,306
VN para pastagem melhorada	0,378
Pasto para ILP/ILPF	0,708
Vegetação nativa para ILP	0,708
Cultivo convencional para ILP	0,708
PD para CC	-0,917
Pasto para CC	-0,917

Legenda para a Tabela 19:

- VN = Vegetação natural
- PD = Plantio direto
- CC = Cultivo convencional
- ILP = Integração lavoura pecuária
- ILPF = Integração lavoura pecuária floresta

### 6.13. Mudança de Carbono no Solo

Neste item, para efeito de cálculo de emissão considerando a mudança de vegetação nativa para pastagem e de vegetação nativa para área agrícola será considerada a seguinte equação:

$$ES_i = A_i * C_{solo} * [fc(t0) - fc(tf)] * (T/2)/20$$

Onde,

ES<sub>i</sub> = Emissão líquida associada ao polígono i no período T devido a variação do C no solo em t de carbono;

A<sub>i</sub> = Área do polígono i em hectares;

fc(t0) = fator de alteração de C no solo para floresta;

$f_c$  (tf) = fator de alteração de C no solo para pastagem ou área agrícola;

T = Período em anos

C solo = C médio do solo sob vegetação primária (Tabela 20).

Fator de alteração de C no solo é indicado na Tabela 20:

Tabela 20. Fator de alteração de C no solo

	Fator de alteração
Floresta não manejada	1
Pastagem	0,97
Área agrícola	0,612

A metodologia para estimativa da variação no carbono no solo toma como referência o valor de carbono médio no solo sob vegetação primária (Tabela 21). De acordo com o Good Practice Guidance LULUCF 2003 adotou-se que o ganho ou perda de carbono no solo é resultado da mudança do uso da terra que ocorre durante o período de 20 anos.

Os valores considerados por tipo de vegetação e por tipo de solo estão na Tabela 21.

Tabela 21. Estoque de carbono no solo<sup>34</sup>

Categorias	
<b>Vegetação</b> <sup>35</sup>	<b>Solo</b> <sup>36</sup>

<sup>34</sup> MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia. 2010. Segunda comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

<sup>35</sup> Classes de Vegetação: Floresta Amazônica Aberta (V1), Floresta Amazônica Densa (V2), Mata Atlântica (V3), Floresta Estacional Decidual (V4), Floresta Estacional Semi-decidual (V5), Floresta Ombrófila Mista (V6), Savana Sul (V7), Savana Amazônica (V8), Cerrado (V9), Estepe do Sul (V10), Estepe Nordeste (Caatinga) (V11), Estepe Oeste (Pantanal) (V12), Refúgios Ecológicos de Montanhas e Terras Altas (V13), Áreas de Formação Pioneira (V14) e Áreas Arenosas e Vegetação Lenhosa Oligotrófica de Áreas Pantanosas (V15).



	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	kg C/m <sup>2</sup>					
V1	5,09	4,75	4,89	4,11	4,36	-
V2	3,22	5,19	4,69	5,06	5,27	4,81
V3	5,83	5,23	4,29	6,33	3,58	41,78
V4	4,67	3,08	4	2,59	3,27	3,18
V5	4,09	4,43	3,74	2,7	5,36	3,16
V6	9,88	10,25	5,68	-	8,54	-
V7	6,42	9,09	5,16	-	7,42	3,28
V8	4,8	1,98	3,81	4,37	3,46	2,9
V9	2,44	4,31	3,6	1,92	6,65	3,29
V10	6,6	4,66	6,12	-	3,38	4,99
V11	2,42	2,58	2,62	1,51	2,51	2,09
V12	3,38	-	3,52	3,54	10,52	2,17
V13	3,41	5,04 <sup>37</sup>	3,99	-	-	-
V14	7,3	4,13 <sup>38</sup>	3,31	5,02	5,92	3,72

<sup>36</sup> Tipos de solos: Solos com argila de atividade alta (S1), Latossolos com argila de atividade baixa (S2), Não-Latossolos com argila de atividade baixa (S3), Solos arenosos (S4); Solos hidromórficos (S5) e Outros Solos (S6).

<sup>37</sup> Valor único relatado.

<sup>38</sup> Valor único relatado.



V15	5,09	4,68	4,81	6,17	9,05	12,09
-----	------	------	------	------	------	-------

O usuário pode inserir como entrada o valor real de C no solo da floresta (analisado em laboratório) ou informar o tipo de solo e a classe de vegetação conforme as especificações abaixo:

#### 6.14. Queima de Resíduos Agrícolas

Para a estimativa das emissões de GEE devido à queima de resíduos a metodologia adotada baseia-se no carbono total liberado, taxas de emissão de CH<sub>4</sub> e CO para o total de carbono liberado e de N<sub>2</sub>O e NO<sub>x</sub> para o total de nitrogênio liberado.

Para emissão de CH<sub>4</sub> e CO foi utilizada a equação abaixo:

$$CH_{4RES} = [(CROP * FRAC_{DMcrop}) * (RES_{DM}/CROP_{DM}) * FRAC_{CRes} * Eq_{RES}] * EF_1$$

Onde,

CROP é a produção anual de cada cultura (tonelada);

FRAC<sub>DMcrop</sub> é a fração da matéria seca do produto colhido (comercializado) de cada cultura (%);

Res<sub>DM</sub> / CROP<sub>DM</sub> é a razão entre resíduo seco e produto seco, para cada cultura;

FRAC<sub>CRes</sub> é o conteúdo de C da parte aérea de cada cultura (%);

EF<sub>1</sub> é o fator de emissão para cada gás;

Eq<sub>RES</sub> é a eficiência de queima do resíduo (%).

Já para a emissão de N<sub>2</sub>O e NO<sub>x</sub> para o total de nitrogênio liberado foi utilizada a seguinte equação:

$$N_2O_{res} = (CROP * FRAC_{DMcrop}) * (RES_{DM}/CROP_{DM}) * FRAC_{CRes} * REL_{N/C} * Eq_{RES}] * EF_1$$

Onde:

$CROP$  é a produção anual de cada cultura (tonelada);

$FRAC_{DMcrop}$  é a fração da matéria seca do produto colhido (comercializado) de cada cultura (%);

$Res_{DM} / CROP_{DM}$  é a razão entre resíduo seco e produto seco, para cada cultura;

$FRAC_{CRes}$  é o conteúdo de C da parte aérea de cada cultura (%);

$REL_{N/C}$  é a relação nitrogênio / carbono da parte aérea de cada cultura;

$EF_1$  é o fator de emissão para cada gás.

$Eq_{RES}$  é a eficiência de queima do resíduo (%);

As taxas de emissão são apresentadas na tabela 18, enquanto que os demais parâmetros necessários aos cálculos se encontram na tabela 19. Nos cálculos considera-se ainda a conversão de C e N para  $CH_4$ , CO,  $N_2O$  e  $NO_x$ , usando para tal, os respectivos fatores de conversão: 16/12; 28/12; 44/28 e 46/14.

Tabela 22. Taxa de emissão de gases liberados durante a queima de resíduos agrícolas para o cálculo de emissões<sup>39</sup>

	$CH_4$	CO	$N_2O$	$NO_x$	Coeficiente composto (t $CO_2e$ )
Cana-de-açúcar	0,005	0,06	0,007	0,121	0,119
Algodão	0,005	0,06	0,007	0,121	2,198
Milho	0,005	0,06	0,007	0,121	0,833
Soja	0,005	0,06	0,007	0,121	2,339
Feijão	0,005	0,06	0,007	0,121	1,760
Arroz	0,005	0,06	0,007	0,121	0,386836764
Trigo	0,005	0,06	0,007	0,121	0,410221944

<sup>39</sup> Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de gases de efeito estufa na queima de resíduos agrícolas. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 65 pp. 2010.

Tabela 23. Parâmetros para queima de resíduos vegetais<sup>40</sup>

Cultura	Parâmetros			
	Teor médio de carbono (FRAC <sub>CRes</sub> ) (%)	Relação N/C (REL <sub>N/C</sub> )	Razão entre resíduo seco e produto seco (Res <sub>DM</sub> /CROP <sub>DM</sub> )	Eficiência de queima (Eq <sub>RES</sub> ) (%)
Cana-de-açúcar	42,4	0,0299	0,169	79,0
Algodão	45,0	0,042	1,9	90,0
Milho	47,0	0,02	1,49	80,0
Soja	44,0	0,05	1,98	80,0
Feijão	44,0	0,05	1,49	80,0
Arroz	41,4	0,014	1,05	80,0
Trigo	44,0	0,012	1,05	90,0

Com exceção da cana-de-açúcar, a queima dos resíduos não é mais uma prática comum no Brasil, de toda forma, foi colocada na ferramenta para ficar alinhada com o inventário, e oferecer ao usuário esta possibilidade.

### 6.15. Resíduos de colheitas

Os resíduos das culturas normalmente se referem às palhadas que ficam após a colheita e a decomposição dessa palha gera emissão de GEE. Esses resíduos podem se decompor ou serem queimados, emitindo N<sub>2</sub>O. Atualmente a prática de queima de resíduos acontece muito raramente com o aumento do plantio direto.

As equações utilizadas para calcular as emissões de óxido nitroso provenientes dos resíduos da soja, milho, feijão, arroz, trigo e cana se encontram abaixo:

<sup>40</sup> Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 106pp, 2010.

$$N_2O_{RES} = \left[ (CROP \times FRAC_{DMcrop} \times Res_{DM} / CROP_{DM} \times FRAC_{NRes}) \right] \times FE_1$$

Onde,

CROP é a produção anual de cada cultura;

FRAC<sub>DMcrop</sub> é a fração da matéria seca do produto colhido (comercializado) de cada cultura;

Res<sub>DM</sub> / CROP<sub>DM</sub> é a razão entre resíduo seco e produto seco, para cada cultura;

FRAC<sub>NRes</sub> é o conteúdo de N da parte aérea de cada cultura;

FE<sub>1</sub> é o fator de emissão.

$$N_2O_{RES} = \left[ (CROP \times FRAC_{DMcrop} \times Res_{DM} / CROP_{DM} \times FRAC_{NRes} \times (1 - FRAC_{BURN})) \right] \times FE_1$$

Onde,

FRAC<sub>BURN</sub> é a fração da biomassa que é queimada antes ou após a colheita.

Os parâmetros para o cálculo de emissões de resíduos de colheitas estão descritos na Tabela 24.

Tabela 24. Fatores utilizados para a determinação do N<sub>2</sub>O provenientes de resíduos das culturas<sup>4129</sup>

Cultura	ResDM/CROPDM	FRACNCRes	FRACDMcrop	
Soja	1,98	0,009	0,87	Tier 2
Milho	1,49	0,008	0,87	Tier 2
Feijão	1,49	0,017	0,87	Tier 2
Arroz	1,05	0,008	0,87	Tier 2
Trigo *	-	0,013	0,87	Tier 2
Cana	0,169	0,006	-	Tier 2

A cultura do trigo deve ter sua produção multiplicada pela FRACDM (simplificada).

### 6.16. Operações Mecanizadas

O cálculo de emissões de GEE das operações mecanizadas pode ser feito de duas maneiras. É importante que seja feita uma única escolha, para que não ocorra dupla contagem de emissões.

#### A. Consumo de combustível

Uma das abordagens fornecidas pela ferramenta de cálculo é o cálculo das emissões de GEE a partir do consumo de óleo diesel total na produção, o que elimina a necessidade de regionalizar as operações mecanizadas. Neste caso, o cálculo é realizado utilizando os fatores de emissão apresentados na Tabela 25 e a partir da relação abaixo:

$$CO_{2\text{DIESEL}} = Q_{\text{DIESEL}} \times FE_{\text{DIESEL}}$$

Onde,

$CO_{2\text{DIESEL}}$  é a emissão de  $CO_2$  associada ao consumo de óleo diesel (Kg  $CO_2e$ );

$Q_{\text{DIESEL}}$  é a quantidade de óleo diesel consumida (L);

$FE_{\text{DIESEL}}$  é o fator de emissão do óleo diesel (kg  $CO_2/L$ ).

Analogamente a esta relação são calculadas as emissões dos outros GEE, além das emissões do biodiesel.

Tabela 25. Fatores de emissão para queima de óleo diesel<sup>42</sup>

Fatores de Emissão (kg CO <sub>2</sub> /L)			
Combustível	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Diesel	2,681	0,0003	0,00002
Biodiesel	2,499	-	-

Todo o óleo diesel comercializado no país desde 1º de janeiro de 2010 contém 5% de biodiesel. O cálculo das emissões é feito separadamente, para o diesel e sua fração renovável. É importante salientar que as emissões de CO<sub>2</sub> provenientes da combustão, tanto de diesel e biodiesel são consideradas neutras.

A alocação das emissões nos escopos é feita da seguinte maneira:

Tabela 26. Tabela da alocação de emissões nos escopos.

Alocação de emissões	Diesel			Biodiesel		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Escopo 1	x	x	x		x	x
Carbono Biogênico				x		

<sup>42</sup> Fontes:

- Programa Brasileiro Greenhouse Gas Protocol 2010.
- IPCC, 2006.
- 2009/2010 Guidelines to Defra's GHG Conversion Factors: Methodology Paper for Transport Emission Factors.

## B. Estimativas sobre as operações

Como abordagem alternativa, as operações mecanizadas são calculadas segundo as planilhas de necessidade de operação por atividade, por hectare. Com essa planilha é possível estimar o consumo médio de diesel nas operações e calcular as emissões de GEE. Esta abordagem tem como vantagem a baixa necessidade de dados complexos. Por conta da alta taxa de estimativas, esta abordagem apresenta um erro implícito que é a diferença de consumo e de necessidade de horas de cada máquina em tipo de solo, umidade de solo, cultura a ser cultivada, quantidade de adubo a ser aplicado etc.

As tabelas abaixo apresentam as médias de hora máquina por hectare médio em cada tipo de lavoura.

Tabela 27. Operações mecanizadas para a cultura de algodão<sup>35</sup>

Operação	Hora máquina por hectare
Distribuição calcário	0,25
Preparo do solo	1,61
Incorporação milheto	0,39
Semeadura/adubação	0,4
Adubação cobertura	1,4
Aplicação de defensivos	2,05
Colheita	7
Destruição soqueira	0,3

Tabela 28. Operações mecanizadas para a cultura de arroz<sup>35</sup>

Operação	Hora máquina por hectare
Distribuição do calcário	0,4

Gradagem aradora	1
Gradagem niveladora	0,5
Reforma de taipas	0,8
Plantio	1
Transporte interno	0,28
Aplicação adubo cobertura	0,12
Controle de plantas daninhas	0,20
Aplicação de herbicida pré-emergente	0,22
Colheita mecanizada	2

Tabela 29. Operações mecanizadas para a cultura de feijão<sup>35</sup>

Operação	Hora máquina por hectare
Distribuição mecanizada de calcário	2
Aração convencional	4
Gradagem niveladora	4
Plantio mecanizado	2
Transporte interno de insumos para plantio	1
Adubação de cobertura	1,5
Aplicação de herbicida pós-emergente	2
Aplicação de fungicida	2
Trilha com batedeira de cereais	5
Transporte interno da produção	1

Tabela 30. Operações mecanizadas para a cultura de milho<sup>35</sup>

Operação	Hora máquina por hectare
----------	--------------------------

Distribuição calcário	0,125
Gradagem aradora	1,6
Gradagem niveladora	0,4
Plantio com adubação	0,8
Transporte interno plantio	0,3
Adubação de cobertura	0,6
Aplicação herbicida	0,3
Aplicação inseticida	0,6
Colheita mecânica	0,85
Transporte interno colheita	0,3

Tabela 31. Operações mecanizadas para a cultura de soja<sup>35</sup>

Operação	Hora máquina por hectare
Roçada (limpeza)	0,9
Dessecação pré-emergente	0,28
Calagem (Aplicação e Incorporação)	0,18
Adubação e Semeadura	0,36
Aplicação Herbicida pós-emergente	0,56
Aplicação inseticida	0,84
Aplicação Fungicida	0,56

Tabela 32. Operações mecanizadas para a cultura de trigo<sup>35</sup>

Operação	Hora máquina por hectare
Semeadura	0,7
Aplicação herbicida	0,15

Aplicação inseticida	0,3
Aplicação fungicida	0,15
Colheita mecânica	0,8

Tabela 33. Operações mecanizadas para a cultura de cana-de-açúcar<sup>43</sup>

Operação	Hora máquina por hectare
Dessecação	0,6
Gradagem	1,6
Calagem	0,9
Terraceamento	1,2
Aração	1,7
Gradagem niveladora	1
Sulcação	1,8
Cobrição	0,77
Pulverização	0,6

<sup>30</sup>Fontes:

- *Embrapa. Sistemas de Produção.*
- *FURLANETO, F. P. B.; RECO, P. C.; KANTHACK, R. A. D.; CIMONETTI, D.; MASSUD, J. R. G., OLIMA, A. L. R. O., ESPERANCINI, M. S. T. Análise comparativa de estimativas de custo de produção e de rentabilidade entre as culturas de soja convencional e transgênica na região de Assis, Estado de São Paulo, safra 2006/07. Informações Econômicas, São Paulo, v. 37, n. 12, 2007b. p. 7-16.*
- *KANEKO, F.H.; TARSITANO, M.A.A.; RAPASSI, R.M.A.; CHIODEROLI, C.A.; NAKAYAMA, F.T. 2009 Análise econômica da produção de cana-de-açúcar considerando-se a terceirização das operações agrícolas: o caso de um produtor. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, 39(3): 266-270.*
- *RICHETTI, A.; LAZZAROTTO, C. Estimativa de custo de produção de trigo, safra 2009, em Dourados, MS. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009. 7 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 154). Embrapa Dourados.*

A equação para o cálculo do consumo de óleo diesel, no uso de máquinas é:

$$Q_{DIESEL} = HM_{ha} \times A_p \times 20$$

Onde,

$HM_{ha}$  é hora máquina da operação por hectare (hr/ha);

$A_p$  é a área plantada (ha);

20 é o consumo médio de diesel por hora máquina (litros/hr).

### 6.17. Energia Elétrica

Os fatores de emissão médios de CO<sub>2</sub> para energia elétrica a serem utilizados em inventários têm como objetivo estimar a quantidade de CO<sub>2</sub> associada a uma geração de energia elétrica determinada. É calculada a média das emissões da geração, levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia e não somente aquelas que estejam funcionando na margem. Se todos os consumidores de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) calculassem as suas emissões multiplicando a energia consumida por esse fator de emissão, o somatório corresponderia às emissões do SIN. Nesse sentido, ele deve ser usado quando o objetivo for quantificar as emissões da energia elétrica que está sendo gerada em determinado momento. Ele serve, portanto, para inventários em geral, corporativos ou de outra natureza.

Os fatores de emissão para o cálculo associado ao consumo de energia elétrica é Tier 2.

Tabela 34. Fatores de emissão médios mensais e anuais entre 2006 à 2013<sup>44</sup>

Fator Médio Mensal (t CO<sub>2</sub>/MWh)

<sup>44</sup> Fonte: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora>

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Médio
2006	0,0322	0,0346	0,0337	0,0275	0,0317	0,0306	0,0351	0,0336	0,0383	0,036	0,0265	0,028	0,0323
2007	0,0229	0,0195	0,0195	0,0197	0,0161	0,0256	0,031	0,0324	0,0355	0,0377	0,0406	0,0496	0,0293
2008	0,0584	0,0668	0,0599	0,0453	0,0459	0,0521	0,0437	0,0425	0,0411	0,0438	0,0334	0,0477	0,0484
2009	0,0281	0,0237	0,0247	0,0245	0,0405	0,0369	0,0241	0,0199	0,0162	0,0179	0,0181	0,0194	0,0246
2010	0,0211	0,028	0,0243	0,0238	0,0341	0,0506	0,0435	0,0774	0,0907	0,0817	0,0869	0,0532	0,0512
2011	0,0262	0,0288	0,0208	0,0198	0,027	0,0341	0,0308	0,0301	0,0273	0,035	0,0356	0,0349	0,0292
2012	0,0294	0,0322	0,0405	0,0642	0,062	0,0522	0,0394	0,046	0,0783	0,0984	0,1247	0,1168	0,0653
2013	0,1151	0,109	0,0981	0,0959	0,1151	0,1079	0,0838	0,0833	0,084	0,0831	0,093		

A fórmula utilizada para o cálculo das emissões provenientes do uso de energia elétrica é:

$$CO_{2EE} = EE \times FE$$

Onde,

CO<sub>2EE</sub> é a emissão de CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>);

EE é o consumo de energia elétrica (MWh);

FE é o fator de emissão nacional (t CO<sub>2</sub>/MWh).

