



COMUNICAÇÃO NACIONAL DO  
BRASIL À CONVENÇÃO-QUADRO  
DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE  
**MUDANÇA DO CLIMA**

MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA  
E INOVAÇÕES



**PROJETO BRA/16/G31**

**QUARTA COMUNICAÇÃO NACIONAL E RELATÓRIOS DE ATUALIZAÇÃO  
BIENAL DO BRASIL À CONVENÇÃO-QUADRO DAS NAÇÕES UNIDAS  
SOBRE MUDANÇA DO CLIMA**

**QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES  
ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

**RELATÓRIO DE REFERÊNCIA**

**SETOR AGROPECUÁRIA  
SUBSETOR QUEIMA DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS**

*Versão de janeiro de 2021*

## **QUARTO INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

### **SETOR AGROPECUÁRIA**

#### **SUBSETOR QUEIMA DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS**

##### **Coordenadora Técnica da Quarta Comunicação Nacional**

Danielly Godiva Santana Molleta (PNUD/MCTI)

##### **Supervisor do Quarto Inventário Nacional**

Mauro Meirelles de Oliveira Santos (PNUD/MCTI)

##### **Analista Técnica do Setor Agropecuária do Quarto Inventário Nacional**

Giovanna Lunkmoss de Christo (PNUD/MCTI)

##### **Analista Técnica do Quarto Inventário Nacional**

Mayra Braga Rocha (PNUD/MCTI)

##### **Coordenador Técnico-Científico do Quarto Inventário Nacional pela Rede Clima**

Eduardo Delgado Assad (Embrapa)

##### **Coordenador Técnico-Científico do Setor Agropecuária pela Rede Clima**

Stoécio Maia (IFAL)

##### **Coordenadora Técnico-Científica do Subsetor Queima de Resíduos Agrícolas**

Ana Paula C. Packer (Embrapa Meio Ambiente)

##### **Autores**

Danilo Francisco Trovo Garofalo (Consultor)

Vitor Yukio Kondo (Consultor)

Ana Paula C. Packer (Embrapa Meio Ambiente)

Joaquim Ernesto Bernardes Ayer (Bolsista DTI - CNPq)

Luiz Eduardo Vicente (Embrapa Meio Ambiente)

Nilza Patrícia Ramos (Embrapa)

Marília Ieda da Silveira Folegatti (Embrapa)

Marcelo Gomes da Silva (Bolsista DTI - CNPq)

##### **Instituições colaboradoras**

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

IAC - Instituto Agronômico de Campinas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

RIDESA - Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucreenergético

## **Aviso**

---

Este documento compreende atualizações das estimativas de emissões com base na aplicação das diretrizes metodológicas de 2006 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC no acrônimo em inglês) que servirão de subsídios para elaboração futura do capítulo do “Inventário Nacional de Emissões Antrópicas e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal”, parte integrante da Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção do Clima. Neste trabalho, foram consideradas, na medida do possível, informações oficiais públicas para o período de 1990 a 2016.

Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações ou o(s) autor(es) não podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.

Os resultados, as interpretações, as recomendações, as estimativas e as conclusões expressas neste estudo são de responsabilidade dos autores, não refletindo a opinião do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, nem de outros órgãos do governo participantes e consultados para elaboração deste estudo. O Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações e outros órgãos governamentais se eximem da responsabilidade de implementar quaisquer dos resultados, interpretações, recomendações, estimativas ou conclusões contidos neste estudo.

## Sumário

	<b>Página</b>
<b>Sumário Executivo</b> _____	<b>13</b>
<b>1. Introdução</b> _____	<b>15</b>
1.1 <i>O cultivo de cana-de-açúcar no Brasil</i> _____	16
1.2 <i>Prática de queima de resíduos de cana-de-açúcar no Brasil</i> _____	17
<b>2. Metodologia</b> _____	<b>19</b>
2.1. <i>Dados de atividade</i> _____	23
2.1.1. Biomassa disponível para combustão (MB) _____	23
2.1.2. Valores da fitomassa de palha e colmo _____	43
2.1.3 Área Queimada (A) _____	49
2.2.1 Fator de Combustão (Cf) _____	52
2.2.2 Fatores de emissão (Gef) _____	52
<b>3. Resultados</b> _____	<b>54</b>
3.1 <i>Emissões provenientes da queima de palha de cana-de-açúcar</i> _____	55
<b>4. Diferenças em relação ao Terceiro Inventário</b> _____	<b>62</b>
<b>5. Análise de incerteza</b> _____	<b>66</b>
5.1 <i>Metodologia</i> _____	66
5.2 <i>Resultados</i> _____	68
5.2.1 Incerteza dos dados de atividade _____	68
5.2.2 Incerteza dos fatores de emissão _____	69
5.2.3 Incerteza da relação palhicho/colmo _____	69
<b>6. Referências Bibliográficas</b> _____	<b>71</b>
<b>APÊNDICE A - Detalhamento metodológico</b> _____	<b>76</b>
A.1. <i>DADOS DE ATIVIDADE</i> _____	76
A.2. <b>FATORES DE EMISSÃO E OUTROS PARÂMETROS</b> _____	<b>87</b>
A.2.1 <i>RESUMO METODOLÓGICO</i> _____	87
<b>APÊNDICE B - Resultados detalhados</b> _____	<b>88</b>

## Lista de Tabelas

	Página
Tabela 1. Emissões de CH <sub>4</sub> , CO, N <sub>2</sub> O e NO <sub>x</sub> proveniente da queima de resíduos agrícolas no Brasil. ....	14
Tabela 2. Legislações estaduais referentes à prática da queima de cana-de-açúcar e resíduos agrícolas. ....	18
Tabela 3. Resumo dos parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissão do subsetor Queima de Resíduos Agrícolas. ....	19
Tabela 4. Resumo dos dados de atividade, parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissão de queima de palha da cana-de-açúcar. ....	22
Tabela 5. Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar no Brasil. ....	24
Tabela 6. Área cultivada com cana, área recenseada, proporção de recenseamento e número de unidades recenseadas, por estado, na safra 2016 na região Centro-Sul do Brasil. ....	43
Tabela 7. Área de cultivo das variedades de cana no Brasil, na safra 2017. ....	44
Tabela 8. Proporção das variedades cultivadas nos estados recenseados no Censo Varietal (BRAGA <i>et al.</i> , 2017) na safra 2016/2017. ....	44
Tabela 9. Proporção das variedades cultivadas nos estados recenseados no Censo Varietal (RIDESA, 2018) na safra 2017. ....	45
Tabela 10. Estimativas de biomassa seca, biomassa fresca e relação produção de palhicho/produção de colmos estimadas para as principais variedades de cana-de-açúcar plantadas no Brasil. ....	47
Tabela 11. Relação média palhicho/colmo dos estados segundo o censo varietal do IAC e da Ridesa. ....	48
Tabela 12. Percentual de colheita manual e estimativa da área queimada em cultivos de cana-de-açúcar. ....	50
Tabela 13. Fatores de emissão (Gef) de CH <sub>4</sub> , CO, NO <sub>x</sub> e N <sub>2</sub> O proveniente da matéria seca queimada (g kg <sup>-1</sup> ). ....	53
Tabela 14. Estimativas das emissões totais de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos de cana-de-açúcar e algodão no Brasil de 1990 a 2016. ....	54
Tabela 15. Diferença entre os dados, parâmetros e fatores empregados no Terceiro e Quarto Inventários. ....	63
Tabela 16. Incertezas dos dados de atividade de cana-de-açúcar. ....	68
Tabela 17. Incertezas dos fatores de emissão de CO. ....	69

## Lista de Figuras

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.</b> Emissões de CH <sub>4</sub> , CO, N <sub>2</sub> O e NO <sub>x</sub> provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil. ....	14
<b>Figura 2.</b> Fluxograma para identificação do <i>Tier</i> adequado para estimar as emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos (IPCC, 2006). ....	20
<b>Figura 3.</b> Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar no Brasil. ....	26
<b>Figura 4.</b> Produtividade da cana-de-açúcar no Brasil para o período de 1990 a 2016. ....	26
<b>Figura 5.</b> Evolução da área colhida e produção de cana-de-açúcar nos estados do Brasil. ....	27
<b>Figura 6.</b> Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar na região Norte. ....	28
<b>Figura 7.</b> Evolução da produtividade do cultivo de cana-de-açúcar na região Norte. ....	29
<b>Figura 8.</b> Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Norte. ....	30
<b>Figura 9.</b> Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar na região Nordeste. ....	31
<b>Figura 10.</b> Evolução produtividade do cultivo de cana-de-açúcar na região Nordeste. ....	32
<b>Figura 11.</b> Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Nordeste. ....	33
<b>Figura 12.</b> Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana na região Sudeste. ....	34
<b>Figura 13.</b> Evolução da produtividade do cultivo de cana-de-açúcar na região Sudeste. ....	35
<b>Figura 14.</b> Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Sudeste. ....	36
<b>Figura 15.</b> Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar na região Sul. ....	37
<b>Figura 16.</b> Evolução da produtividade do cultivo de cana-de-açúcar na região Sul. ....	38
<b>Figura 17.</b> Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Sul. ....	39
<b>Figura 18.</b> Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste. ....	40
<b>Figura 19.</b> Evolução da produtividade do cultivo de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste. ....	41
<b>Figura 20.</b> Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Centro-Oeste. ....	42
<b>Figura 21.</b> Proporção das variedades cultivadas nos estados recenseados nos censos varietais (BRAGA <i>et al.</i> , 2017; RIDESA, 2018). ....	46
<b>Figura 22.</b> Percentual da colheita de cana-de-açúcar realizada de modo manual. ....	50
<b>Figura 23.</b> Mapeamento do percentual de colheita manual de cana-de-açúcar. ....	51
<b>Figura 24.</b> Evolução das emissões totais de GEE provenientes da queima de resíduos de cana-de-açúcar no Brasil de 1990 a 2016. ....	55

<b>Figura 25.</b> Evolução da produção da cana-de-açúcar e das emissões referentes à queima de palha de cana-de-açúcar no Brasil, em relação aos valores de 1990 .....	56
<b>Figura26.</b> Contribuições estaduais nas emissões de GEE por queima de resíduos de cana-de-açúcar no Brasil para os anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	57
<b>Figura27.</b> Mapa das estimativas das emissões estaduais de CO decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	58
<b>Figura 28.</b> Mapa das estimativas de emissões estaduais de CH <sub>4</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	59
<b>Figura 29.</b> Mapa das estimativas de emissões estaduais de N <sub>2</sub> O decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	59
<b>Figura 30.</b> Mapa das estimativas de emissões estaduais de NO <sub>x</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	60
<b>Figura 31.</b> Estimativas de emissão de CO apresentadas no Terceiro e Quarto Inventários.....	64
<b>Figura 32.</b> Estimativas de emissão de CH <sub>4</sub> apresentadas no Terceiro e Quarto Inventários. ....	64
<b>Figura 33.</b> Estimativas de emissão de N <sub>2</sub> O apresentadas no Terceiro e Quarto Inventários. ....	65
<b>Figura 34.</b> Estimativas de emissão de NO <sub>x</sub> apresentadas no Terceiro e Quarto Inventários. ....	65



## Lista de Apêndices

	<b>Página</b>
Apêndice A.1.1. Dados anuais de área colhida (mil ha) de cana-de-açúcar em nível nacional, grande região e estadual, no período de 1990 a 2016. ....	76
Apêndice A.1.2. Dados anuais de produção (mil t.) de cana-de-açúcar em nível nacional, grande região e estadual, no período de 1990 a 2016. ....	78
Apêndice A.1.3. Dados anuais de produtividade (mil t/ha) de cana-de-açúcar em nível nacional, grande região e estadual, no período de 1990 a 2016. ....	79
Apêndice A.1.4. Percentual de colheita manual em nível nacional, regional e estadual. ....	80
Apêndice A.1.5. Estimativa da área queimada em cultivos de cana-de-açúcar (ha) em nível nacional, regional e estadual. ....	81
Apêndice A.1.6. Estimativa da área colhida queimada em cultivos de cana nos municípios da região Norte. ....	82
Apêndice A.1.7. Estimativa da área colhida queimada em cultivos de cana nos municípios da região Nordeste. ....	83
Apêndice A.1.8. Estimativa da área colhida queimada em cultivos de cana nos municípios da região Sudeste. ....	84
Apêndice A.1.9. Estimativa da área colhida queimada em cultivos de cana nos municípios da região Sul. ....	85
Apêndice A.1.10. Estimativa da área colhida queimada em cultivos de cana nos municípios da região Centro-Oeste. ....	86
Apêndice 11. Estimativas das emissões (Gg) regionais e estaduais de CH <sub>4</sub> provenientes da queima de resíduos de cana-de-açúcar de 1990 a 2016. ....	89
Apêndice 12. Estimativas das emissões (Gg) regionais e estaduais de N <sub>2</sub> O provenientes da queima de resíduos de cana-de-açúcar de 1990 a 2016. ....	90
Apêndice 13. Estimativas das emissões (Gg) regionais e estaduais de NO <sub>x</sub> provenientes da queima de resíduos de cana-de-açúcar de 1990 a 2016. ....	91
Apêndice 14. Mapa das estimativas de emissões municipais de CO decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Norte nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016...	92
Apêndice 15. Mapa das estimativas de emissões municipais de CH <sub>4</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Norte nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016...	93
Apêndice 16. Mapa das estimativas de emissões municipais de N <sub>2</sub> O decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Norte nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016...	94
Apêndice B17. Mapa das estimativas de emissões municipais de NO <sub>x</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Norte nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016...	95
Apêndice 18. Mapa das estimativas de emissões municipais de CO decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Nordeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	96

Apêndice 19. Mapa das estimativas de emissões municipais de NO <sub>2</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Nordeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	98
Apêndice 20. Mapa das estimativas de emissões municipais de NO <sub>x</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Nordeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	99
Apêndice 21. Mapa das estimativas de emissões municipais de CO decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sudeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	100
Apêndice 22. Mapa das estimativas de emissões municipais de CH <sub>4</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sudeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	101
Apêndice 23. Mapa das estimativas de emissões municipais de N <sub>2</sub> O decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sudeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	102
Apêndice 24. Mapa das estimativas de emissões municipais de NO <sub>x</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sudeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	103
Apêndice 25. Mapa das estimativas de emissões municipais de CO decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sul nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	104
Apêndice 26. Mapa das estimativas de emissões municipais de CH <sub>4</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sul nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	105
Apêndice 27. Mapa das estimativas de emissões municipais de N <sub>2</sub> O decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sul nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	106
Apêndice 28. Mapa das estimativas de emissões municipais de NO <sub>x</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sul nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	107
Apêndice 29. Mapa das estimativas de emissões municipais de CO decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	108
Apêndice 30. Mapa das estimativas de emissões municipais de CH <sub>4</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	109
Apêndice 31. Mapa das estimativas de emissões municipais de N <sub>2</sub> O decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	110
Apêndice 32. Mapa das estimativas de emissões municipais de NO <sub>x</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. ....	111

## Siglas

CH<sub>4</sub> - gás metano

CO - monóxido de carbono

CO<sub>2</sub> - dióxido de carbono

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

FAO - *Food and Agriculture Organization* (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura)

FAOSTAT - *Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database*

GEE - gases de efeito estufa

Gg - gigagrama

IAC - Instituto Agronômico de Campinas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEMA - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MCTIC - Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

N - nitrogênio

N<sub>2</sub>O - óxido nitroso

NO<sub>x</sub> - óxido de nitrogênio

OCDE - *Organisation for Economic Co-operation and Development* (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico PAM - Produção Agrícola Municipal

PAM - Produção Agrícola Municipal

PROÁLCOOL - Programa Brasileiro de Álcool

RIDESA - Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucreenergético

UF - Unidade Federativa

ZAE - Zoneamento Agroecológico

## Sumário Executivo

Neste relatório são apresentadas as estimativas de emissão de metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) originados da queima de resíduos agrícolas para o período de 1990 a 2016. O documento foi elaborado com base nas Diretrizes de 2006 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC 2006 (em inglês, *2006 IPCC Guidelines for National Green House Gas Inventories*), publicado em 2006. As culturas agrícolas consideradas no presente relatório são a cana-de-açúcar e o algodão herbáceo, esse último estimado até o ano de 1994.

A queima de resíduos da cana-de-açúcar ainda é amplamente aplicada no Brasil como método de despalha pré-colheita. A magnitude das emissões de GEE decorrentes da queima da palha da cana-de-açúcar está fortemente associada aos dados de produção e fatores de emissão e combustão empregados.

Os dados de produção de cana-de-açúcar, bem como as estimativas de emissões a partir da queima de seus resíduos, são apresentados em nível nacional, regional, estadual e municipal. Utilizaram-se: dados de produção, área colhida e rendimento, provenientes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (IBGE, 2018); dados do percentual de colheita manual empregada no cultivo de cana-de-açúcar, da Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (CONAB, 2018); dados das variedades de cana-de-açúcar mais cultivadas por unidade da federação, obtidos de censos varietais de cana-de-açúcar (BRAGA *et al.*, 2017; RIDESA, 2018); e o relatório de referência de 2015 (PACKER *et al.*, 2015). Além de dados extraídos da literatura sobre a relação produção de palhicho/produção de colmos e fatores de emissão específicos para a queima de resíduo de cana-de-açúcar.

Em 2016, as emissões de CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O e NO<sub>x</sub> geradas durante a queima de palha de cana-de-açúcar no Brasil foram estimadas, respectivamente, em 11,5 Gg, 498,3 Gg, 0,86 Gg e 18,5 Gg. De 2005 a 2016 observou-se uma redução de 76% nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) derivadas da queima de resíduos de cana-de-açúcar no país, apesar de o aumento na área colhida de cana-de-açúcar ter sido de 76%. Para o período de 2010 a 2016, também se observa essa redução de emissão, com um decréscimo de 72,8%. Tais constatações devem-se principalmente ao processo de transição, ainda em curso, do cultivo manual, o qual faz uso do fogo, para o cultivo mecanizado.

Segundo Packer *et al.* (2015), houve uma redução linear da prática de queima de algodão herbáceo entre 1990 até sua completa extinção em 1995, quando a prática de queima de resíduos de algodão herbáceo foi substituída por métodos mecânicos e químicos de erradicação dos resíduos após a colheita.

A Tabela 1 apresenta as estimativas de emissões de GEE para os anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016, juntamente com as variações entre 2005 e 2016 e 2010 e 2016, provenientes da queima de resíduos agrícolas. A Figura 1 apresenta a evolução das emissões no período considerado.

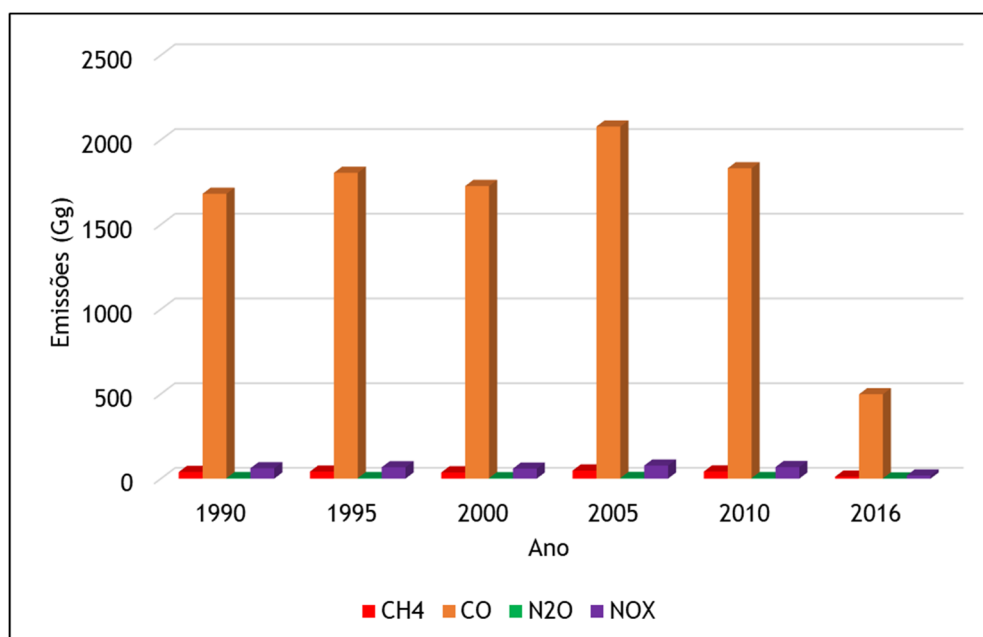
**Tabela 1.** Emissões de CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O e NO<sub>x</sub> proveniente da queima de resíduos agrícolas no Brasil.

Fonte	Emissões de GEE decorrentes da queima de palha de cana-de-açúcar (3.F.1)							Variação 2005-2016	Variação 2010-2016
	1990	1995	2000	2005	2010	2016			
	----- Gg -----						----- % -----		
CH <sub>4</sub>	35,8	41,7	36,8	48,0	42,3	11,5	-76,0%	-72,8%	
CO	1.553,4	1.805,6	1.596,2	2.078,4	1.832,1	498,3			
N <sub>2</sub> O	2,69	3,13	2,76	3,60	3,17	0,86			
NO <sub>x</sub>	57,6	67,0	59,2	77,1	68,0	18,5			
Fonte	Emissões de GEE decorrentes da queima de resíduos de algodão (3.F.2)							Variação 2005-2016	Variação 2010-2016
	1990*	1995*	2000*	2005*	2010*	2016*			
	----- Gg -----						----- % -----		
CH <sub>4</sub>	3,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	N.A.	N.A.	
CO	128,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
N <sub>2</sub> O	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
NO <sub>x</sub>	3,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			

\* Dados extraídos do Terceiro Inventário Nacional (PACKER *et al.*, 2015).

N.A. - não aplicável (*not applicable*).

**Figura 1.** Emissões de CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O e NO<sub>x</sub> provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil.



## 1. Introdução

O relatório *Agricultural Outlook 2019-2028* (OECD/FAO, 2019) aponta o Brasil como o maior exportador agrícola da América Latina, com taxa média de crescimento de 4,1% entre 1991 e 2015. De acordo com os dados divulgados pela pesquisa *Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes - 2016*, realizada pelo IBGE (2017), a área total cultivada no Brasil no ano de 2016 atingiu 75,3 milhões de hectares, com valor total de produção de R\$ 317,5 bilhões, superando em 20,0% o ano precedente, tendo as culturas de soja, milho e cana-de-açúcar concentrado 61,2% do valor de produção nacional (IBGE, 2017).

O material excedente das culturas agrícolas, não contabilizado na quantidade produzida, é denominado de resíduos agrícolas. Conforme EPE (2014), esses resíduos são constituídos basicamente pelas folhas e hastes das plantas, comumente chamados de palha. Quando mantidos no local de plantio, os resíduos agrícolas exercem uma importante função agrícola, protegendo os solos do impacto direto das chuvas; e diminuem a velocidade do escoamento pluvial superficial, reduzindo assim a ocorrência de processos erosivos entre os períodos de colheita e novo plantio, em que os solos se apresentam expostos. Ainda os resíduos agrícolas, quando incorporados ao solo, retêm a umidade por mais tempo, protegem a microfauna e contribuem para a restauração dos nutrientes que foram extraídos pelas plantas (EPE, 2014).

A mensuração dos resíduos agrícolas pode ser realizada a partir dos “índices de colheita”, que expressam a relação percentual entre a quantidade total de biomassa gerada por hectare plantado de determinada cultura e a quantidade de produto economicamente aproveitável (EPE, 2014).

De acordo com Packer *et al.* (2015), historicamente, o fogo sempre foi utilizado na agricultura para suprimir os resíduos agrícolas, a fim de limpar lavouras e facilitar colheitas, além de combater pragas. A queima de resíduos agrícolas, realizada diretamente no local de colheita, produz emissões de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), que não são consideradas emissões líquidas, pois o CO<sub>2</sub> emitido é reabsorvido pela cultura através da fotossíntese (IPCC, 2006; Packer *et al.*, 2015; MCTI, 2016). Todavia, durante o processo de combustão, outros gases são produzidos, os quais têm suas taxas de emissões dependentes do tipo de biomassa e das condições da queima. Na fase de combustão com chama, são gerados os gases N<sub>2</sub>O (óxido nitroso) e NO<sub>x</sub> (óxidos de nitrogênio), sendo que os gases CH<sub>4</sub> (metano) e CO (monóxido de carbono) são formados sob condições de queima com predomínio de fumaça (IPCC, 2006; PACKER *et al.*, 2015; MCTI, 2016).

Atualmente, a queima de resíduos agrícolas ocorre principalmente na cultura da cana-de-açúcar, sendo responsável por cerca de 98% das emissões de gases de efeito estufa no Brasil, oriundas da queima de resíduos agrícolas (LIMA, 1999). Praticada como um método alternativo de controle fitossanitário, a queima de resíduos de algodão deixou de ser praticada no Brasil no início da década de 1990 (LIMA *et al.*, 2010), uma vez que os avanços tecnológicos na cultura do algodão acarretaram

a substituição da prática de queima por métodos mecânicos e químicos dos resíduos da colheita e pela adoção de outras medidas para controle de pragas e doenças (PACKER *et al.*, 2015).

Neste contexto, este Relatório de Referência apresenta as estimativas de emissão de GEE decorrentes da queima de palha de cana-de-açúcar e resíduos de algodão no Brasil.

## 1.1 O cultivo de cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar apresenta grande importância na economia nacional, sendo um dos principais produtos comercializados desde o período colonial. Na década de 1970, com a crise petrolífera, países dependentes da importação de combustíveis derivados do petróleo foram forçados a buscar fontes energéticas alternativas (CARVALHO *et al.*, 2013). O governo brasileiro, em parceria com o setor empresarial, propôs a criação do Programa Nacional do Álcool, o PROÁLCOOL, em 1975, para incentivar a produção de álcool combustível (NOCELLI *et al.*, 2017).

Desde a década de 1970 até os dias de hoje, a demanda global pela produção de biocombustíveis tem aumentado a cada ano, alavancada principalmente pela necessidade da segurança do suprimento de energia e da mitigação de gases de efeito estufa (GEE) (FRANÇA, 2013). Desde então, os biocombustíveis têm sido cada vez mais vistos e comercializados como uma alternativa "verde" aos combustíveis fósseis, aumentando-se a demanda global pela sua produção (FRANÇA, 2013).

Atualmente, no Brasil, a cultura da cana-de-açúcar ocupa cerca de 10,2 milhões de hectares, tornando o país o maior produtor mundial de cana e seus derivados (CONAB, 2018). De acordo com dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, acrônimo em inglês para *Food and Agriculture Organization of the United Nations*), em 2016 o Brasil respondeu por aproximadamente 40% da produção mundial de cana-de-açúcar (FAOSTAT, 2018), concentrando a produção sobretudo nas regiões Centro-Sul e Nordeste.

Contudo, apesar de a indústria da cana no Brasil apresentar características de um sistema de produção sustentável de energia a partir da biomassa e reduzir a taxa de liberação de CO<sub>2</sub> por meio da substituição de gasolina por etanol e de óleo combustível por bagaço, a atual expansão da área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil tem gerado outros problemas de ordem ambiental e socioeconômica, atraindo a atenção da sociedade para essa cultura (RONQUIM, 2010). Entre esses problemas, Ronquim (2010) destaca a prática da queima precedente à colheita da cana-de-açúcar, ainda utilizada por grande parte dos países produtores.

A colheita da cana-de-açúcar pode ser realizada de forma mecanizada ou manual. Na primeira, as máquinas cortam a planta inteira acima do solo pela sua base e os colmos são mecanicamente separados das folhas, geralmente sem o uso do fogo (FRANÇA, 2013). Já o sistema de colheita



manual pode ser realizado de duas maneiras, com queima prévia ou não, sendo esta última a mais utilizada (CONAB, 2018). Quando empregada a queima prévia, as folhas são suprimidas pelo fogo, aumentando o rendimento do corte manual, viabilizando a colheita manual (FRANÇA, 2013).

## 1.2 Prática de queima de resíduos de cana-de-açúcar no Brasil

A queima da cana como prática agrícola encontra-se prevista no art. 2º do Decreto nº 2.661/1998 (BRASIL, 1998). Esse decreto prevê ainda, em seu art. 16, “o emprego do fogo, como método despalhador e facilitador do corte de cana-de-açúcar em áreas passíveis de mecanização da colheita, será eliminado de forma gradativa, não podendo a redução ser inferior a um quarto da área mecanizável de cada unidade agroindustrial ou propriedade não vinculada à unidade agroindustrial, a cada período de cinco anos, contados da data de publicação deste Decreto” (BRASIL, 1998).

De acordo com os preceitos contidos no inciso I do art. 38 da Lei Federal nº 12.651/2012, a aprovação da utilização do uso do fogo em práticas agropastoris é de competência do órgão ambiental competente de cada estado. A Tabela 2 apresenta uma síntese das legislações estaduais referente à prática da queima de cana-de-açúcar e resíduos agrícolas como prática agrícola. Conforme o Zoneamento Agroecológico de Cana-de-Açúcar (ZAE) (MANZATTO *et al.*, 2009), o cultivo de cana-de-açúcar não está previsto em áreas correspondentes ao Bioma Amazônia. Diante disso, na região Norte, o cultivo de cana-de-açúcar só pode ser realizado no estado do Tocantins, embora o IBGE (2017) aponte o cultivo da cana em todos os estados da região Norte.

**Tabela 2.** Legislações estaduais referentes à prática da queima de cana-de-açúcar e resíduos agrícolas.

	<b>Lei/norma</b>	<b>Referência</b>
<b>Nordeste</b>		
AL	Lei Estadual nº 7.454/2013	ALAGOAS (2013)
	Instrução Normativa IMA/AL nº 02/2017	ALAGOAS (2017)
PE	Instrução Normativa CPRH nº 01/2013	PERNAMBUCO (2013)
PB	Decreto nº 24.419/2006	PARAIBA (2006)
RN	Resolução nº 02/2008	RIO GRANDE DO NORTE (2008)
MA	Portaria SEMA nº 45/2014	MARANHÃO (2014)
PI	Decreto nº 15.513/2014	PIAUI (2014)
BA	Decreto nº 15.180/2014	BAHIA (2014)
CE	Lei Complementar nº 175/2017	CEARÁ (2017)
<b>Norte</b>		
TO	Instrução Normativa NATURATINS nº 1/2017	TOCANTINS (2017)
<b>Sudeste</b>		
MG	Deliberação Normativa COPAM nº 133/2009	MINAS GERAIS (2009)
RJ	Lei Estadual nº 5.990/2011	RIO DE JANEIRO (2011)
ES	Lei Estadual nº 9.073/2008	ESPÍRITO SANTO (2008)
SP	Lei Estadual nº 11.241/2002	SÃO PAULO (2002)
<b>Centro-Oeste</b>		
MS	Lei Estadual nº 3.404/2007	MATO GROSSO DO SUL (2007)
MT	Lei Estadual nº 8.817/2008	MATO GROSSO (2008)
GO	Lei Estadual nº 15.834/2006	GOIÁS (2006)
<b>Sul</b>		
PR	Resolução SEMA nº 076/2010	PARANÁ (2010)

## 2. Metodologia

A metodologia utilizada para a obtenção das estimativas de emissões de metano (CH<sub>4</sub>), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) originados da queima de resíduos apresentadas neste relatório fundamenta-se nas diretrizes expostas nas Guias para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC (IPCC, 2006).

O cálculo proposto nas diretrizes inclui uma abordagem para *Tier 1*, *Tier 2* e *Tier 3* para as emissões dos gases de efeito estufa. A escolha do método apropriado para estimativa das emissões de gases de efeito estufa provenientes de queima de resíduos pode ser feita seguindo o fluxograma, apresentado na Figura 2, proposto no documento orientador (IPCC, 2006). No *Tier 1*, as emissões de não CO<sub>2</sub> são mais bem estimadas usando o consumo real de combustível fornecido e os fatores de emissão adequados. No *Tier 2*, os métodos empregam a mesma abordagem geral do *Tier 1*, mas fazem uso de fatores de emissão e/ou estimativas mais refinadas de densidades de combustível e fatores de combustão do que as previstas nas tabelas-padrão. No *Tier 3*, os métodos são mais abrangentes e incluem considerações sobre a dinâmica dos combustíveis (biomassa e matéria orgânica morta). Portanto, a abordagem adotada para os cálculos da queima de resíduos utilizará o *Tier 2*, no qual os fatores de emissão, a relação palhico/colmo e o fator de combustão são específicos para a cultura inventariada, e a biomassa disponível para combustão e área queimada são específicos para cada unidade da federação.

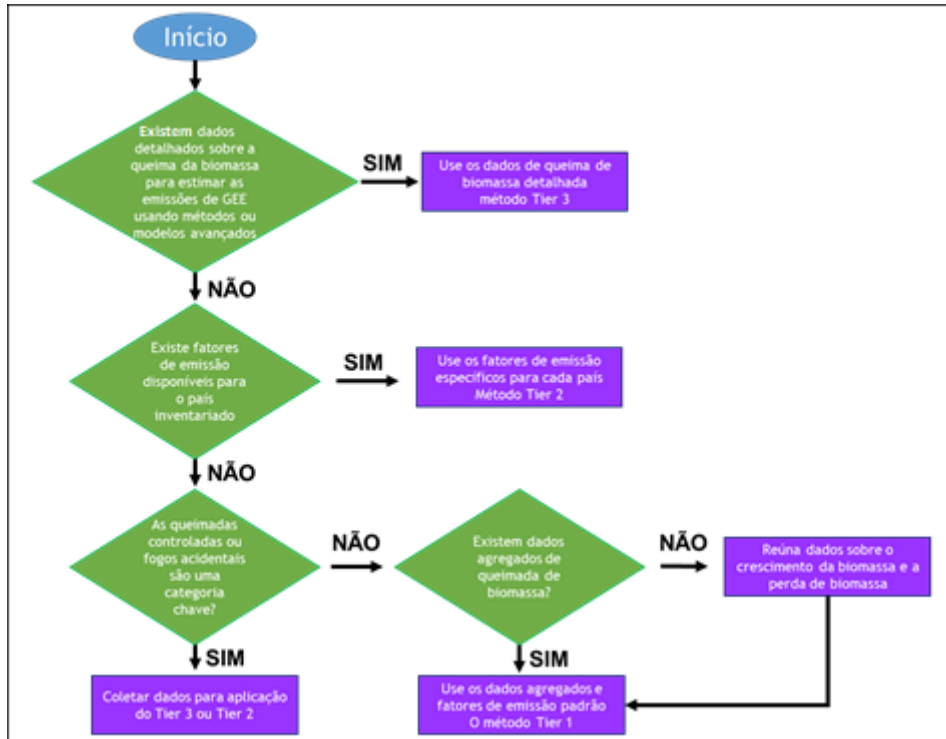
Na Tabela 3 são apresentadas as categorias IPCC 2006 que compõem o subsetor *Queima de resíduos agrícolas* para o Brasil, o *Tier* adotado e os gases inventariados.

**Tabela 3.** Resumo dos parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissão do subsetor Queima de Resíduos Agrícolas.

Subsetor / Categoria IPCC <sup>1</sup>		Gases e <i>Tiers</i> inventariados			
		CH <sub>4</sub>	CO	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>
3.F	Queima de resíduos agrícolas				
3.F.1	Cana-de-açúcar	2	2	2	2
3.F.2	Algodão	1	1	1	1

<sup>1</sup> A categorização e a nomenclatura das categorias de emissão do subsetor Queima de Resíduos Agrícolas foram baseadas no IPCC 2006, com algumas adequações pontuais para a realidade do país.

**Figura 2.** Fluxograma para identificação do *Tier* adequado para estimar as emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos (IPCC, 2006).



Fonte: Modificado de IPCC 2006.

As estimativas de emissões pela queima de resíduos agrícolas são calculadas basicamente pelo produto entre área queimada, biomassa disponível para combustão, fator de combustão e fator de emissão. Este produto é expresso pela Equação 2.27 do *Guidelines* 2006 (IPCC, 2006, volume 4, capítulo 2) (Equação 1):

$$L_{fire} = A * MB * Cf * Gef * 10^{-3} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

$L_{fire}$  = quantidade de emissões de gases de CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub> e N<sub>2</sub>O da queima de resíduos, em toneladas (t);

$A$  = área queimada, em hectares (ha);

$MB$  = biomassa disponível para combustão, em t/ha;

$Cf$  = fator de combustão, adimensional (valores *default*, Tabela 2.6, IPCC 2006, vol.4);

$Gef$  = fator de emissão, em g kg<sup>-1</sup> de matéria seca queimada (valores *default* IPCC 2006, vol.4; FRANÇA *et al.*, 2012).

A área queimada corresponde ao produto entre a área colhida vezes a porcentagem de colheita manual, uma vez que o emprego dela está vinculado ao emprego do fogo como prática agrícola na colheita de cana-de-açúcar. A biomassa disponível para combustão corresponde ao produto entre a produtividade com a relação palhico/colmo - a qual está relacionada com a variedade da cana-de-açúcar. O fator de combustão é a relação entre a matéria seca queimada pela matéria seca disponível para queima. Por fim, o fator de emissão se dá pela quantidade de gás emitido em relação à quantidade de matéria seca queimada (IPCC, 2006).

Assim, a contabilização das emissões de GEE provenientes da queima dos resíduos da cana-de-açúcar é precedida por um extensivo levantamento de parâmetros e fatores, os quais integram a Equação 1.

Na Tabela 4 é apresentado um resumo dos parâmetros e fatores que foram utilizados no cálculo final de emissão decorrentes da queima dos resíduos da cana-de-açúcar.

Uma vez que a queima de resíduos de algodão foi erradicada em 1995, as emissões de GEE provenientes da queima desta cultura agrícola não foram recalculadas, tendo sido empregados os valores de emissão apresentados no *Relatório de Referência - Setor Agropecuária, Queima de Resíduos Agrícolas*, do Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa (PACKER *et al.*, 2015).

**Tabela 4.** Resumo dos dados de atividade, parâmetros e fatores utilizados no cálculo de emissão de queima de palha da cana-de-açúcar.

Subsetor/Categoria IPCC	Dado/Fator/Parâmetro	Símbolo	Unid. Medida	Valor	Fonte
Queima de Resíduos Agrícola (3.F)	Massa disponível para combustão	MB	t/ha	Valor específico para cada município e ano de referência <sup>1</sup>	IBGE (2018) <sup>2</sup> ; Braga <i>et al.</i> (2017) <sup>3</sup> ; RIDESA (2018) <sup>3</sup> ; Hassuani <i>et al.</i> (2005) <sup>4</sup> ; Franco <i>et al.</i> (2007) <sup>4</sup> ; Tasso Junior <i>et al.</i> (2011) <sup>4</sup> ; Marques e Pinto (2013) <sup>4</sup> ; Ivo <i>et al.</i> (2015) <sup>4</sup> .
	Fator de combustão	Cf	-	0,8	IPCC (2006)
	Fator de emissão	CH <sub>4</sub>	g/kg de matéria seca queimada	0,933	Yokelson <i>et al.</i> (2008)
		CO		40,433	Yokelson <i>et al.</i> (2008); Lopes e Carvalho (2009); França <i>et al.</i> (2012)
		NO <sub>x</sub>		1,5	França <i>et al.</i> (2012)
N <sub>2</sub> O		0,07		IPCC (2006) - Andreae e Merlet (2001)	

<sup>1</sup> Aproximadamente 150.000 diferentes valores de Massa disponível para combustão, uma vez que este parâmetro é produto da produtividade do município em cada ano com a relação palhiço/colmo.

<sup>2</sup> Fonte consultada para dados de produtividade.

<sup>3</sup> Fontes consultadas para dados de variedades cultivadas.

<sup>4</sup> Fontes consultadas para dados de relação palhiço/colmo para cada variedade.

## 2.1. Dados de atividade

Compõem os dados de atividade os parâmetros: 1) Biomassa Disponível para Combustão e 2) Área Queimada.

### 2.1.1. Biomassa disponível para combustão (MB)

Sendo a biomassa disponível para combustão o produto entre a produtividade e a relação palha/colmo, foram levantados dados de: produtividade, porcentagem da variedade colhida e seus respectivos valores da fitomassa de palha e colmo (relação palha/colmo).

#### 2.1.1.1 Produtividade (produção/área colhida)

##### Bases de dados oficiais de cultivo de cana-de-açúcar no Brasil

A produtividade é o produto da razão entre produção e área colhida. No Brasil, são duas as principais instituições que fornecem dados oficiais de área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB).

O IBGE, por meio da pesquisa *Produção Agrícola Municipal (PAM)*, disponibiliza dados de área colhida, produção e produtividade em seis níveis de Unidade Territorial (Nacional, Grande Região, Unidade da Federação, Mesorregião Geográfica, Microrregião Geográfica e Município), com periodicidade anual, para os anos compreendidos no período de 1989 a 2017. As informações municipais para cada produto somente são prestadas a partir de um hectare de área ocupada com a cultura e uma tonelada de produção (IBGE, 2018).

A coleta das informações da PAM é realizada mediante aplicação de um questionário em cada município do país, o qual é preenchido pelo Agente de Coleta do IBGE. As estimativas obtidas pelos agentes resultam de contatos que eles mantêm com técnicos do setor agrícola, com produtores e ainda do próprio conhecimento que o agente possui sobre as atividades agrícolas dos municípios ou região onde atua (IBGE, 2018).

No levantamento realizado na PAM, a quantidade produzida das culturas temporárias de longa duração, cujos ciclos vegetativos ultrapassam doze meses, tais como a cana-de-açúcar, com períodos de colheita prolongados, são computadas as colheitas realizadas dentro de cada ano civil (IBGE, 2018).

A CONAB, com o objetivo de subsidiar o governo federal a gerir políticas públicas voltadas para o setor sucroalcooleiro, iniciou em 2007 um acompanhamento da safra de cana-de-açúcar no Brasil. Por meio de documentos *Boletins da Safra de Cana-de-Açúcar* (trimestral a partir do ano 2013) e

*Perfil do Setor Sucroalcooleiro* (anual, a partir de 2007 até 2014), a CONAB disponibiliza dados de área colhida, produção e produtividade para os anos compreendidos no período de 2007 a 2018, em três níveis territoriais: Nacional, Grande Região e Unidade da Federação<sup>2</sup>.

Uma vez que os dados da CONAB só são disponibilizados a partir de 2007, tendo como menor nível territorial as unidades federativas, foram utilizados dados do IBGE, os quais têm maior acompanhamento histórico, além de serem disponibilizados também em nível municipal. Além de tais colocações, nos inventários anteriores foram utilizados os dados do IBGE, de modo que o emprego de dados da mesma base mantém maior coerência na continuidade da análise.

Assim, as informações de área colhida e produção de cana-de-açúcar foram obtidas do IBGE para o período de 1990 a 2016, em nível nacional, regional, estadual e municipal. Para o cálculo das estimativas de emissões de GEE foram utilizados os dados de cana-de-açúcar em nível municipal.

### Dados de cultivo de cana-de-açúcar no Brasil

Na Tabela 5 são apresentados os dados de área colhida, produção e produtividade, respectivamente, para o Brasil, no período de 1990 a 2016, obtidos junto ao PAM (IBGE, 2018)<sup>2</sup>. Esses dados podem ser consultados em níveis regional e estadual nos apêndices de A.1.1 a A.1.3.

Posteriormente, é apresentada uma análise dos dados de cultivo de cana-de-açúcar no Brasil, em quatro níveis territoriais: Nacional, Regional, Estadual e Municipal. Essa análise é amparada por tabelas, gráficos e mapas.

**Tabela 5.** Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar no Brasil.

	Área colhida (mil ha)	Produção (mil t)	Produtividade (t/ha)
<b>1990</b>	4.272,60	262.674,2	61,5
<b>1991</b>	4.210,95	260.887,9	62,0
<b>1992</b>	4.202,60	271.474,9	64,6
<b>1993</b>	3.863,70	244.530,7	63,3
<b>1994</b>	4.345,26	292.101,8	67,2
<b>1995</b>	4.559,06	303.699,5	66,6
<b>1996</b>	4.750,30	317.106,0	66,8
<b>1997</b>	4.814,08	331.612,7	68,9
<b>1998</b>	4.985,82	345.255,0	69,2
<b>1999</b>	4.898,84	333.847,7	68,1
<b>2000</b>	4.804,51	326.121,0	67,9

<sup>2</sup> No levantamento realizado pela CONAB, os dados são coletados por técnicos da companhia em visita às unidades de produção (CONAB, 2018).

<sup>2</sup> Os dados de área colhida, produção e produtividade também são apresentados em nível municipal, em arquivo Planilha Eletrônica, encaminhada junto a este arquivo.

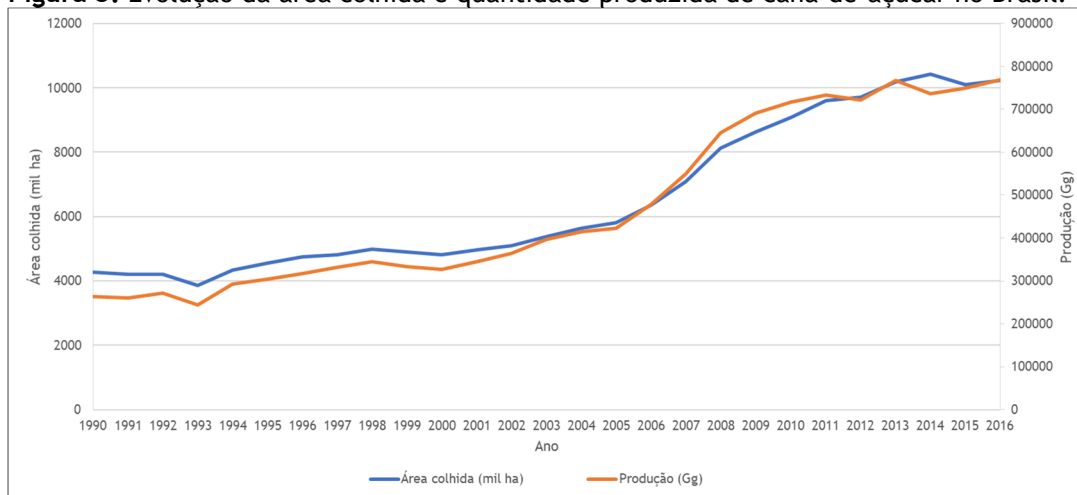


2001	4.957,90	344.292,9	69,4
2002	5.100,41	364.389,4	71,4
2003	5.371,02	396.012,2	73,7
2004	5.631,74	415.205,8	73,7
2005	5.805,52	422.956,6	72,9
2006	6.355,50	477.410,7	75,1
2007	7.080,92	549.707,3	77,6
2008	8.140,09	645.300,2	79,3
2009	8.617,56	691.606,1	80,3
2010	9.076,71	717.463,8	79,0
2011	9.601,32	734.006,1	76,4
2012	9.705,39	721.077,3	74,3
2013	10.195,17	768.090,4	75,3
2014	10.419,68	736.108,5	70,6
2015	10.111,38	750.290,3	74,2
2016	10.222,92	768.563,7	75,2

Fonte: Modificado de IBGE (2018) - Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras.

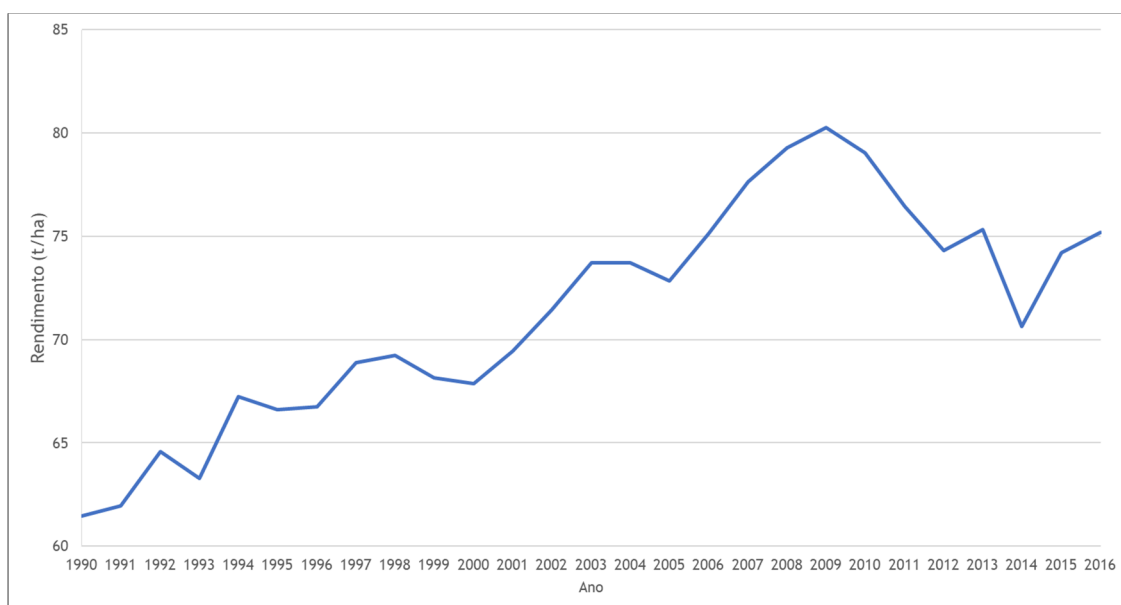
### **Análise dos dados de cultivo de cana-de-açúcar no Brasil**

Entre os anos de 1990 e 2016, a produção de cana-de-açúcar no Brasil passou de 4,27 milhões de hectares para 10,2 milhões de hectares colhidos, representando um aumento de 5,9 milhões de hectares, ou 139%, em termos de área colhida. Nesse mesmo intervalo, houve um aumento na produção de cana-de-açúcar de 505 milhões de toneladas, ou 192%, passando de 262,7 milhões de toneladas em 1990 para 768,5 milhões no final do período (IBGE, 2018), conforme ilustrado na Figura 3.

**Figura 3.** Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar no Brasil.

Fonte: Modificado de IBGE (2018).

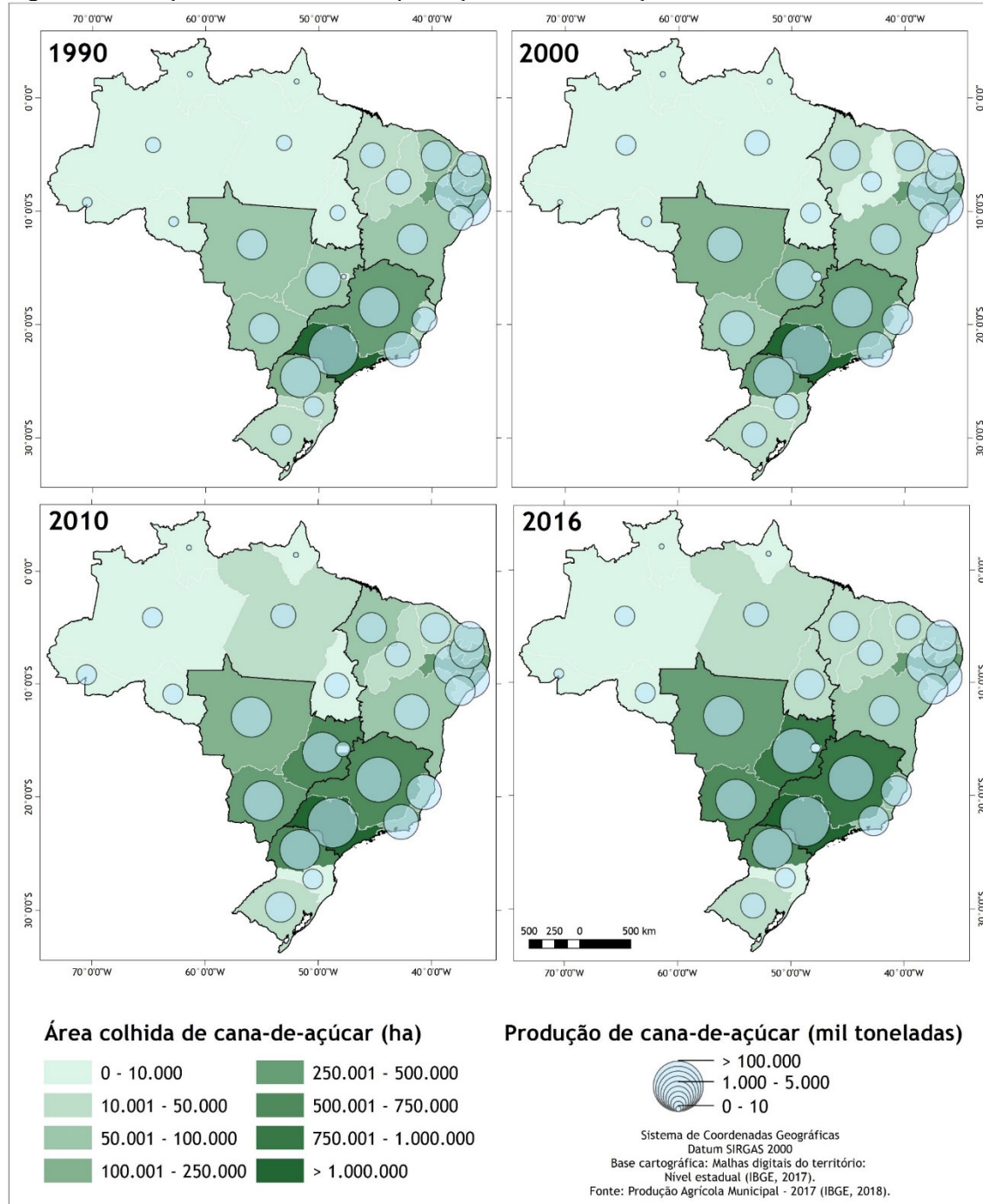
Durante o período de 1990 a 2016, o rendimento médio brasileiro da cana-de-açúcar saltou de 61,5 t/ha em 1990 para 75,2 t/ha, representando um aumento de 22,3% ou 13,7 t/ha na produção. O pico do rendimento foi no ano de 2009, quando a produtividade atingiu 80,2 t/ha, tendo apresentado queda posteriormente, conforme ilustrado na Figura 4. Segundo a CONAB 2018, a redução da produtividade nas últimas safras pode estar relacionada com o envelhecimento das lavouras, baixa taxa de renovação, falta de investimento em algumas regiões, redução do pacote tecnológico, além da introdução da colheita mecanizada sem a adoção de práticas agrícolas corretas para esse tipo de colheita, causando danos como compactação do solo.

**Figura 4.** Produtividade da cana-de-açúcar no Brasil para o período de 1990 a 2016.

Fonte: Modificado de IBGE (2018).

A Figura 5 apresenta a área colhida e a quantidade produzida de cana-de-açúcar por estado brasileiro, nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016. Posteriormente, é apresentada uma análise mais detalhada do cultivo de cana-de-açúcar por região do Brasil.

**Figura 5.** Evolução da área colhida e produção de cana-de-açúcar nos estados do Brasil.



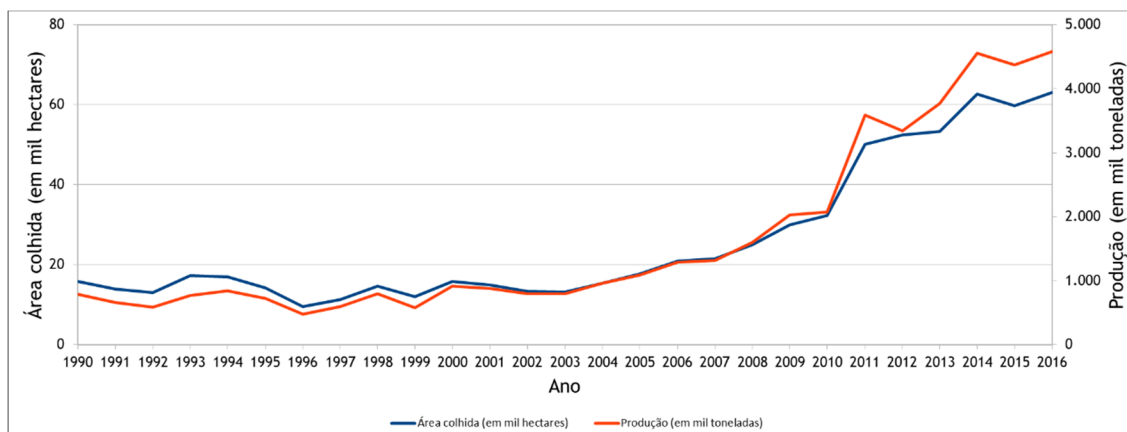
Fonte: Elaborado pelos autores.

## Região Norte

A área colhida de cana-de-açúcar na região Norte no ano de 2016 foi de apenas 63,15 mil hectares, muito aquém das demais regiões (Apêndice A.1.1). Esse baixo valor deve-se ao fato de o cultivo de cana-de-açúcar não ser permitido em áreas correspondentes à Amazônia Legal, tornando-o legalmente possível em apenas algumas áreas da região Norte, sendo o estado de Tocantins aquele com menor área correspondente à Amazônia Legal. Esse foi o estado com maior área colhida de cana nesse período, com 37,88 mil ha, seguido dos estados do Pará, Rondônia e Amazonas, os quais apresentaram área colhida de, respectivamente, 13,36 mil ha, 4,87 mil ha e 3,6 mil ha (Apêndice A.1.1 e Figura 5).

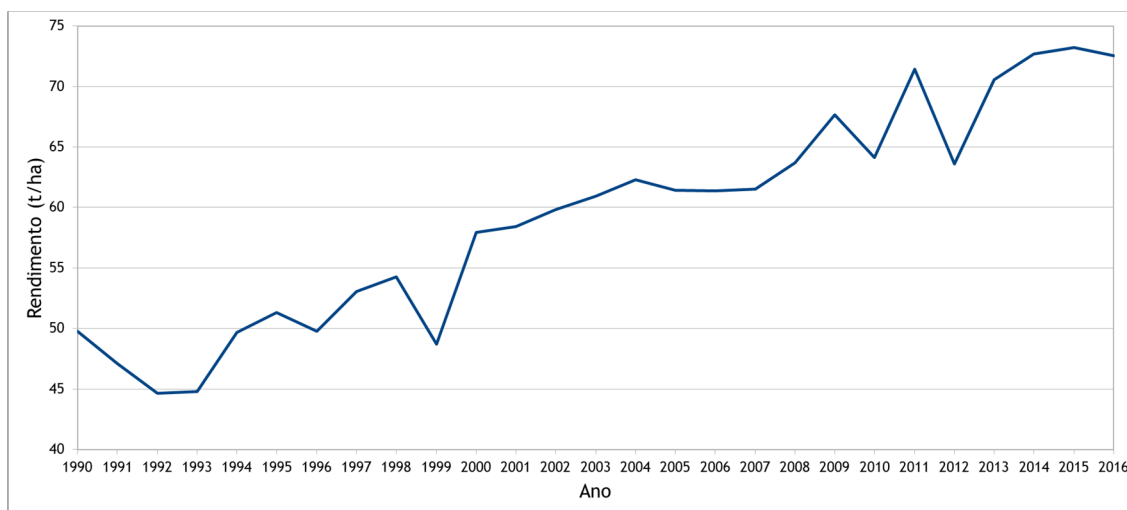
Todavia, quando analisada a evolução do cultivo de cana-de-açúcar na região Norte entre os anos de 1990 e 2016, observa-se um crescimento elevado (Figura 6), com uma variação de 300,9% da área cultivada, superior à variação média nacional no mesmo espaço de tempo. Nesse mesmo período, a produção de cana-de-açúcar na região Norte cresceu 484,3%, devido à expansão das áreas cultivadas e maior produtividade em áreas de primeiros cortes.

**Figura 6.** Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar na região Norte.



Fonte: Modificado de IBGE (2018).

Até o ano de 2010, a produtividade média na região Norte sempre foi inferior a 70 t/ha, sendo esse valor superado a partir do ano de 2011, quando alcança rendimentos semelhantes aos das regiões Sudeste e Centro-Oeste, passando de 64,13 t/ha no ano de 2010 para 72,5 t/ha no ano de 2016 (Figura 7).

**Figura 7.** Evolução da produtividade do cultivo de cana-de-açúcar na região Norte.

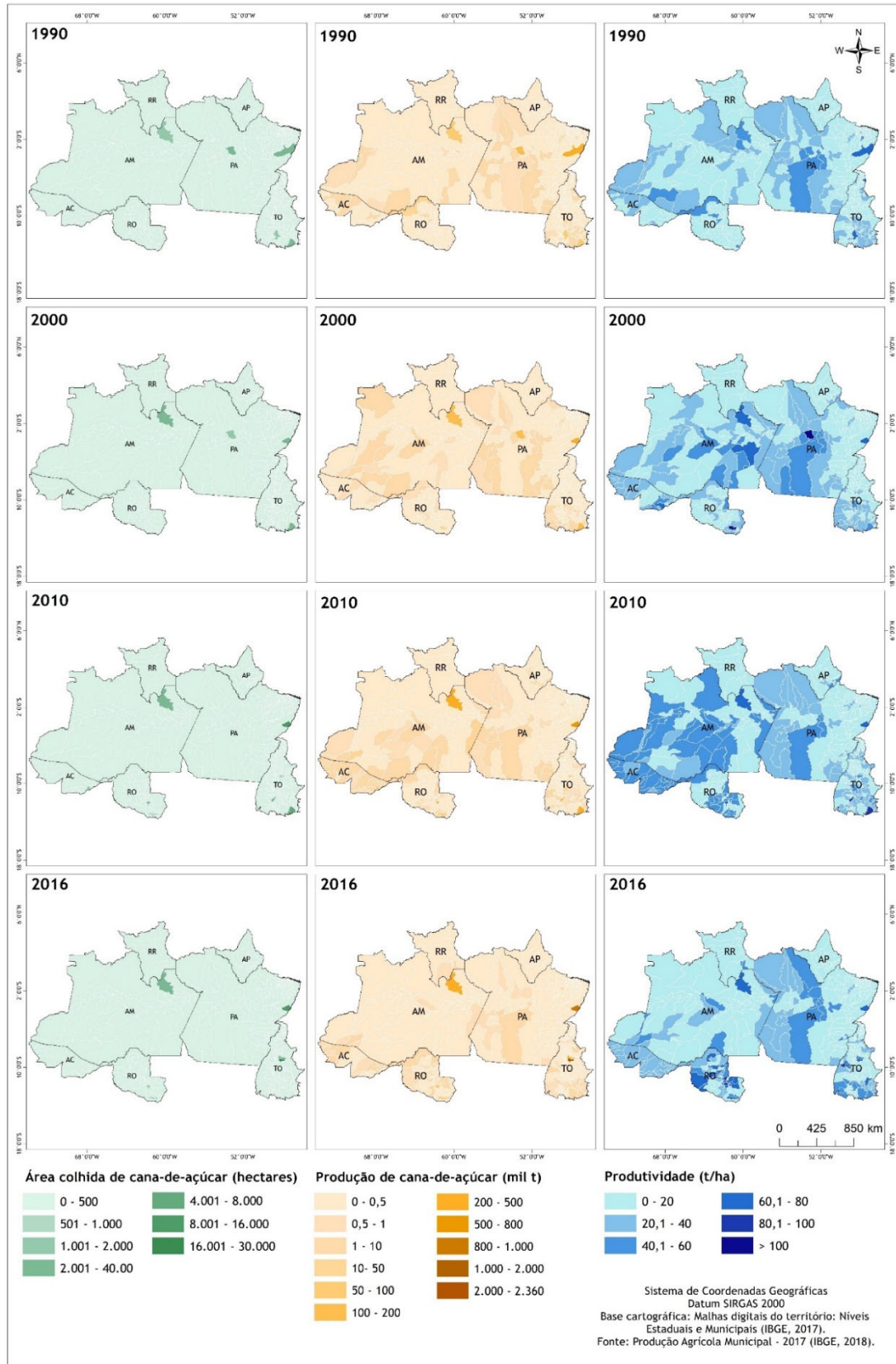
Fonte: Modificado de IBGE (2018).

Merecem destaque os municípios de Pedro Afonso - TO, Ulianópolis - PA e Tupirama - TO, os quais em 2016 apresentaram os maiores valores de área colhida (29.480 ha, 12.500 ha e 4.300 ha, respectivamente) (Figura 8) e produção (2.358.400 t, 890.000 t e 344.000 t, respectivamente) (Figura 8).

Contudo, os maiores valores de produtividade no ano de 2016 foram apresentados pelos municípios de Presidente Marianópolis do Tocantins - TO (110 t/ha), Urupá - RO (83,75 t/ha) e Bom Jesus do Tocantins - TO (80 t/ha) (Figura 8).

De modo geral, pode ser observado que os municípios que mais produzem cana-de-açúcar na região Norte estão localizados no Tocantins, Pará, Amazonas e Rondônia (Figura 8).

**Figura 8.** Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Norte.



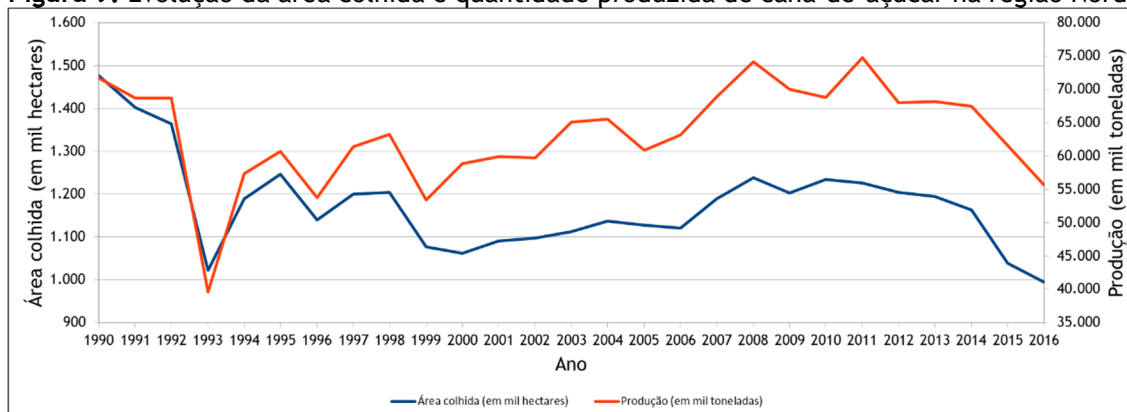
Fonte: Elaborado pelos autores.

## Região Nordeste

De acordo com dados de área colhida de cana (IBGE, 2018), em 2016 a região Nordeste apresentou uma área de 995,11 mil hectares. Entre os estados produtores da região, Alagoas ocupa o primeiro lugar em área colhida, com 311,64 mil ha. Em segundo lugar está Pernambuco (259,16 mil ha), seguido da Paraíba (122,74 mil ha). Bahia, Rio Grande do Norte, Sergipe, Maranhão, Ceará e Piauí apresentaram área colhida de, respectivamente, 108,3 mil ha, 60,42 mil ha, 55,74 mil ha, 45,6 mil ha, 16,12 mil ha e 15,35 mil ha.

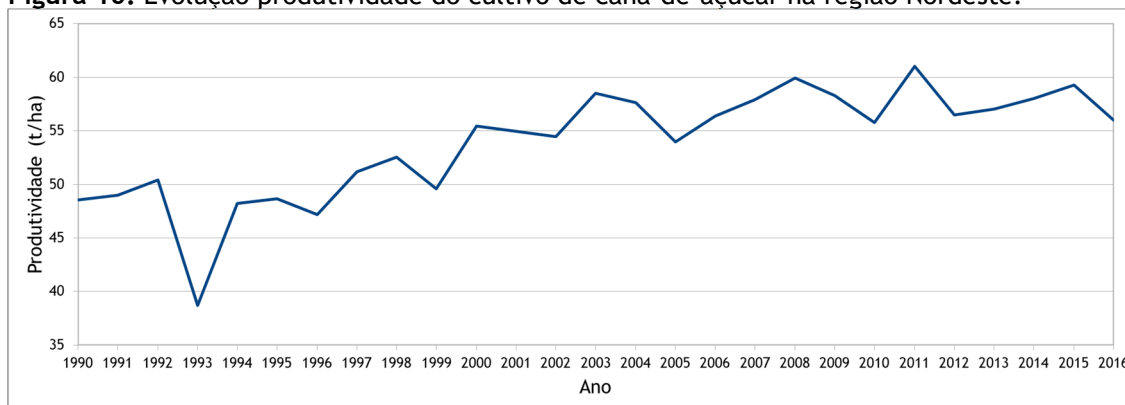
Na região Nordeste, devido às dificuldades financeiras que o setor sucroalcooleiro tem enfrentado nos últimos anos, a safra de cana vem sofrendo queda (CONAB, 2018). Conforme dados da PAM (Produção Agrícola Municipal - IBGE), em 2010 a área colhida na região foi de 1,2 mil ha, passando para 995 ha no ano de 2016, um decréscimo de 32,6% (Figura 9). Tal variação ocorre também para a quantidade produzida, a qual foi de 68,8 milhões de toneladas no ano de 2010 e de 55,7 milhões de toneladas no ano de 2016, com decréscimo de 22,3%.

**Figura 9.** Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar na região Nordeste.



Fonte: Modificado de IBGE (2018).

Diante dos dados supracitados, observa-se que a produtividade média na região Nordeste tem se mantido abaixo de 70 t/ha (Figura 10). No Nordeste, as chuvas se concentram principalmente entre os meses de março a agosto, período de baixa luminosidade, menores temperaturas e noites mais longas, com deficiência hídrica entre os meses de setembro a fevereiro, período da safra, com maior brilho solar, maiores temperaturas e dias longos (RIDESA, 2015). Esses fatores provocam menor fotossíntese da planta e refletem historicamente em menor produtividade agrícola (abaixo de 60 t/ha), quando comparado com a região Centro-Sul do país (RIDESA, 2015).

**Figura 10.** Evolução produtividade do cultivo de cana-de-açúcar na região Nordeste.

Fonte: Modificado de IBGE (2018).

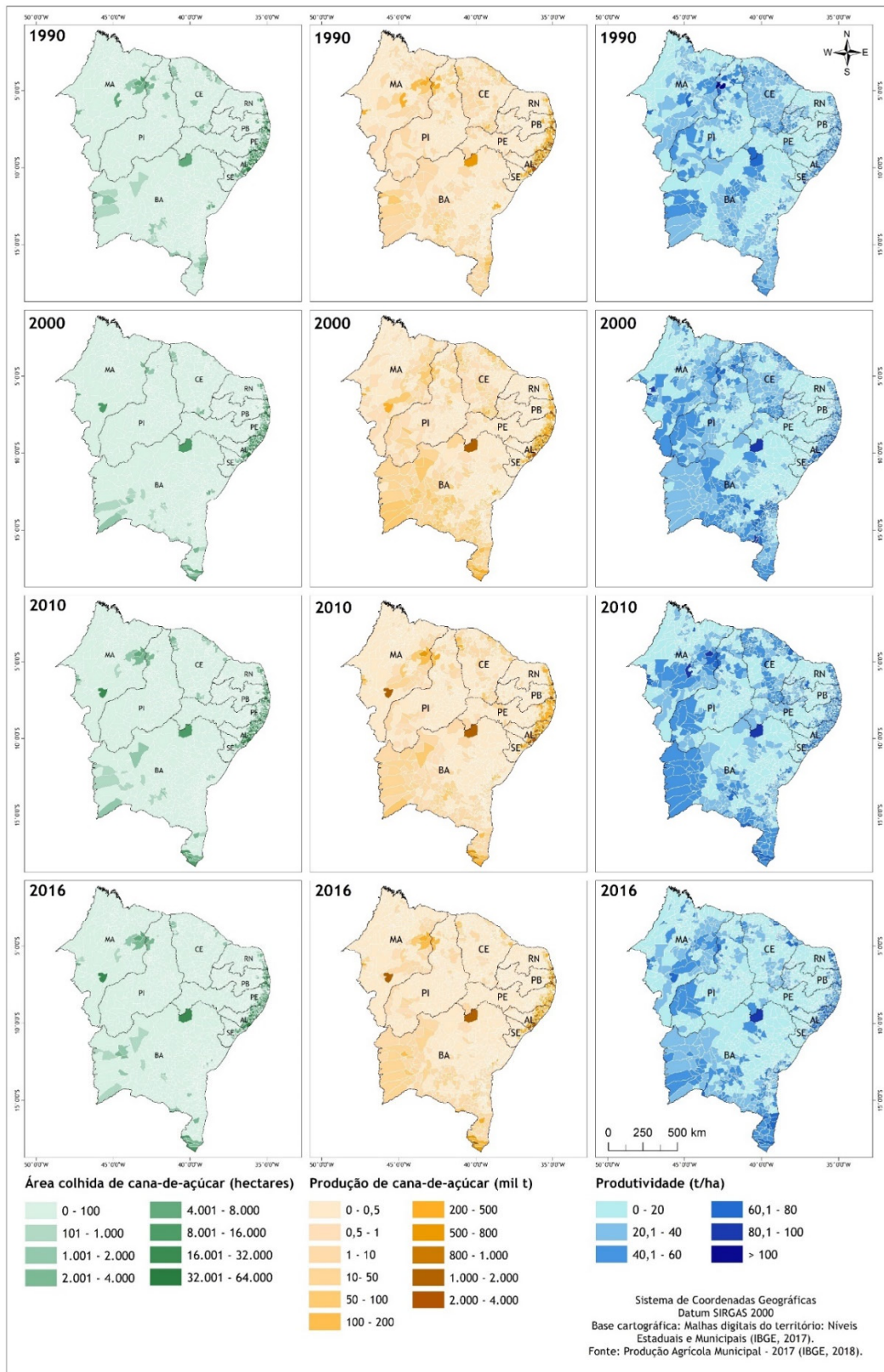
O município de Coruripe - AL, maior produtor de cana-de-açúcar do Nordeste, é um bom exemplo do declínio da produção de cana-de-açúcar na região, sobretudo na sub-região da Zona da Mata. No ano de 2000 a área colhida neste município foi de 43,1 mil hectares, passando para 32,6 mil hectares no ano de 2016, um decréscimo de 24,4% (Figura 10), refletindo assim uma queda de 34,5% da produção, a qual foi de 2,9 milhões de toneladas no ano de 2000 e de 1,9 milhão de toneladas em 2016. O decréscimo mais acentuado da produção em relação à área colhida deve-se à queda da produtividade no município, a qual era de 69,3 t/ha no ano de 2000, passando para 60 t/ha no ano de 2016, decréscimo de 13,4%.

Embora a região Nordeste venha apresentando queda de produção e produtividade, alguns municípios têm apresentado crescimento nesses quesitos (Figura 10). No município de Juazeiro - BA, em virtude do aprimoramento nos sistemas de irrigação e do cultivo de variedades de cana mais bem adaptadas às especificidades locais, tem sido observada uma tendência contrária ao restante da região Nordeste. A área colhida de 13 mil hectares no ano de 2000 passou para 16,3 mil hectares no ano de 2016, um crescimento de 25%. Nesse mesmo período, a produção de cana em Juazeiro passou de 1,2 para 1,4 milhão de toneladas (Figura 11).

De modo geral, a sub-região Zona da Mata se mantém como principal polo de produção de cana-de-açúcar do Nordeste. Todavia, os municípios de Juazeiro - BA e São Raimundo das Mangabeiras - MA (Sul Maranhense), municípios da mesorregião Sul Baiano e municípios das mesorregiões Leste Maranhense e Centro-Norte Piauiense têm se destacado dos demais municípios nordestinos (aqueles não localizados na Zona da Mata) na produção de cana-de-açúcar (Figura 10).



**Figura 11.** Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Nordeste.



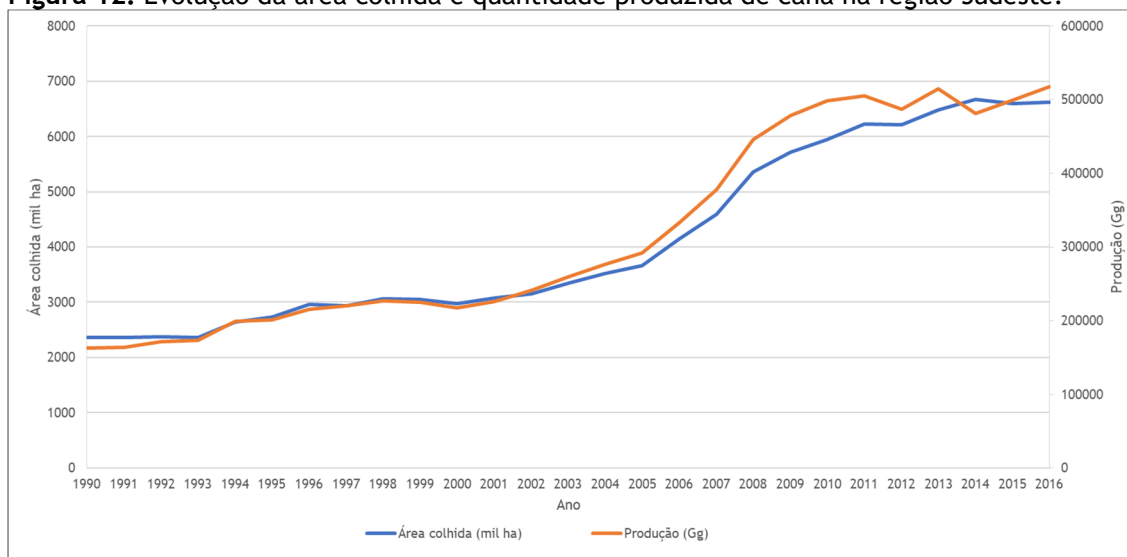
Fonte: Elaborado pelos autores.

## Região Sudeste

No período de 1990 a 2016, a área colhida na região Sudeste aumentou de 2,36 milhões de hectares para 6,62 milhões de hectares, representando um aumento de 4,26 milhões de hectares no período ou 180,9%. Já em termos de produção, durante o mesmo período, houve um aumento de 354,9 milhões de toneladas, com 162 milhões de toneladas produzidas em 1990 e 517 milhões de toneladas produzidas em 2016, correspondendo a um aumento de 218% da produção de 1990. A Figura 12 mostra a evolução temporal das variáveis.

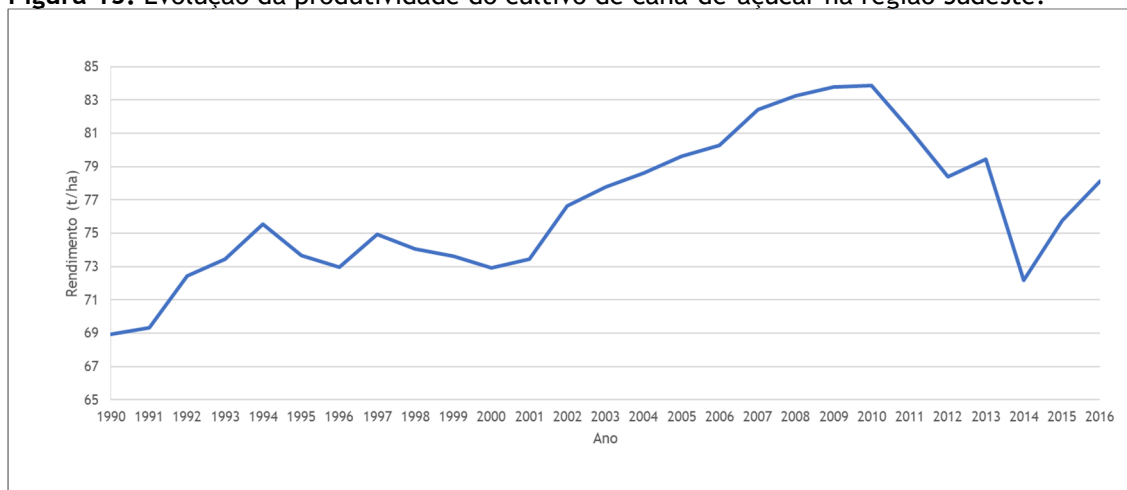
No mesmo período a produtividade na região passou de 68,9 t/ha em 1990 para 78,1 t/ha, aumento de 9,2 t/ha, ou 13,4% em termos percentuais. O pico de produtividade ocorreu em 2010, quando atingiu o valor de 83,9 t/ha. A Figura 12 ilustra a evolução temporal da produtividade da cana-de-açúcar na região Sudeste.

**Figura 12.** Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana na região Sudeste.



Fonte: Modificado de IBGE (2018).

O estado de São Paulo, maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, apresentou uma produção de 442,3 milhões de toneladas no ano de 2016, correspondente a 57,5% da produção nacional (IBGE, 2018), cultivados em uma área de 5,6 milhões de hectares, que correspondem a aproximadamente 22% da área do estado. No ano de 1990 os canaviais paulistas concentravam-se nas mesorregiões de Ribeirão Preto, Piracicaba, Araraquara e Campinas. No período de 1990 a 2016, os cultivos se estenderam para os municípios das mesorregiões de Araçatuba, Assis e Presidente Prudente, sendo o município de Morro Agudo o de maior produção no ano de 2016: área colhida de 96,9 mil hectares e produção de 7,9 milhões de toneladas (Figura 13).

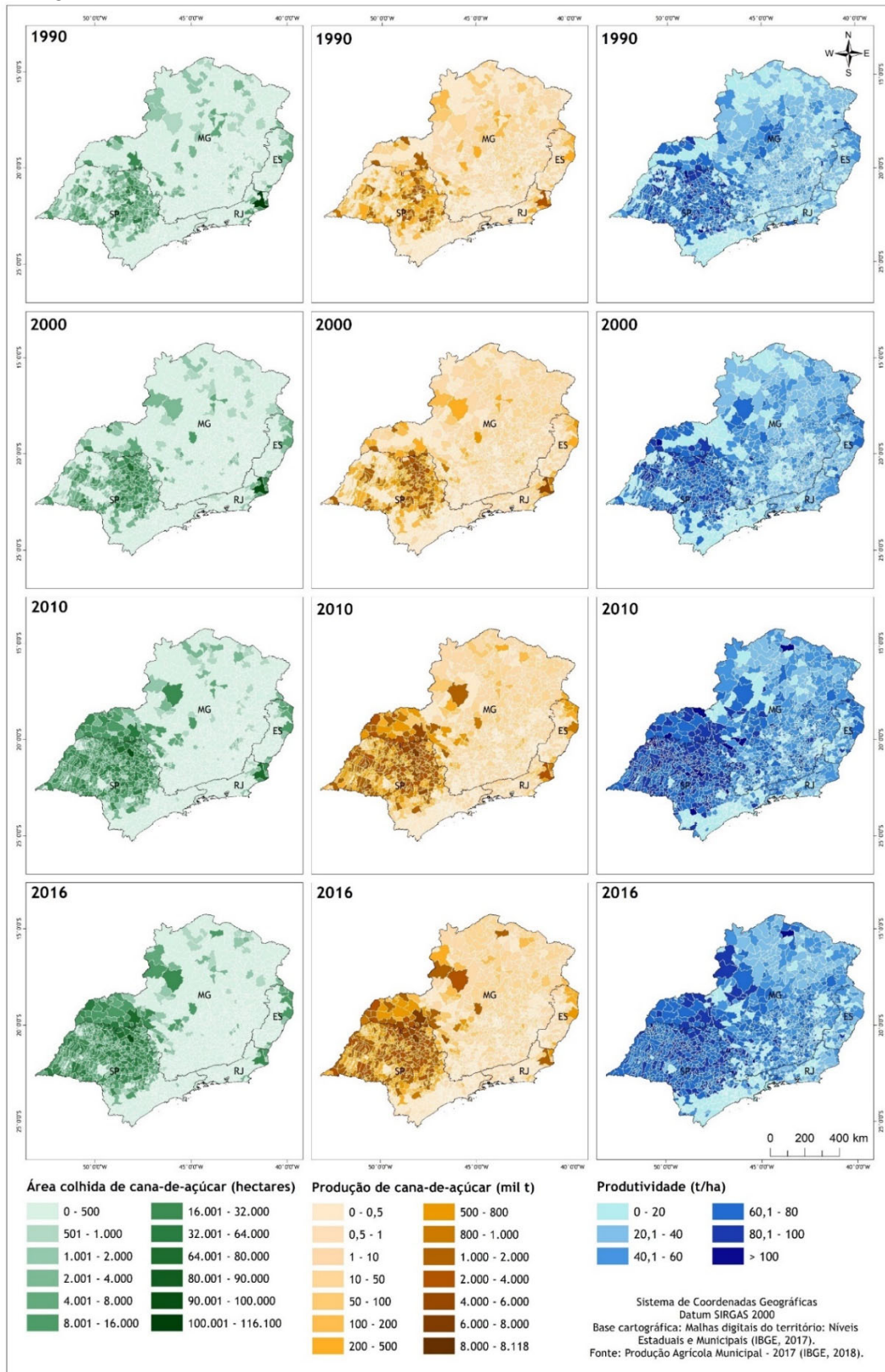
**Figura 13.** Evolução da produtividade do cultivo de cana-de-açúcar na região Sudeste.

Fonte: Modificado de IBGE (2018).

Neste mesmo período, a difusão da cana-de-açúcar ocorreu também em direção às mesorregiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Nordeste de Minas e Sul de Minas, tornando o estado de Minas Gerais um dos principais produtores de cana-de-açúcar no país, tendo apresentado no ano de 2016 uma produção de 70 milhões de toneladas, cultivados em uma área de 909 mil hectares, com uma produtividade média de 76,9 t/ha (Figura 14), valor superior à média nacional.

No ano de 1990, o município de Campos dos Goytacazes - RJ apresentou área colhida de 116 mil hectares, a maior da região Sudeste nesse ano (Figura 14). Contudo, com uma produtividade de apenas 25 t/ha no ano de 1990 (Figura 14), o município viu seus cultivos de cana-de-açúcar definharem, de modo que no ano de 2016 a área cultivada no município foi de 30 mil hectares, um decréscimo de 74%. Nesse mesmo ano, a produtividade aumentou 60% em relação ao ano de 1990, chegando a 40 t/ha no ano de 2016, valor aquém da média nacional. No estado do Espírito Santo, os principais municípios produtores de cana são aqueles localizados nas porções noroeste e litoral norte do estado, com destaque para o município de Linhares (Figura 14).

**Figura 14.** Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Sudeste.

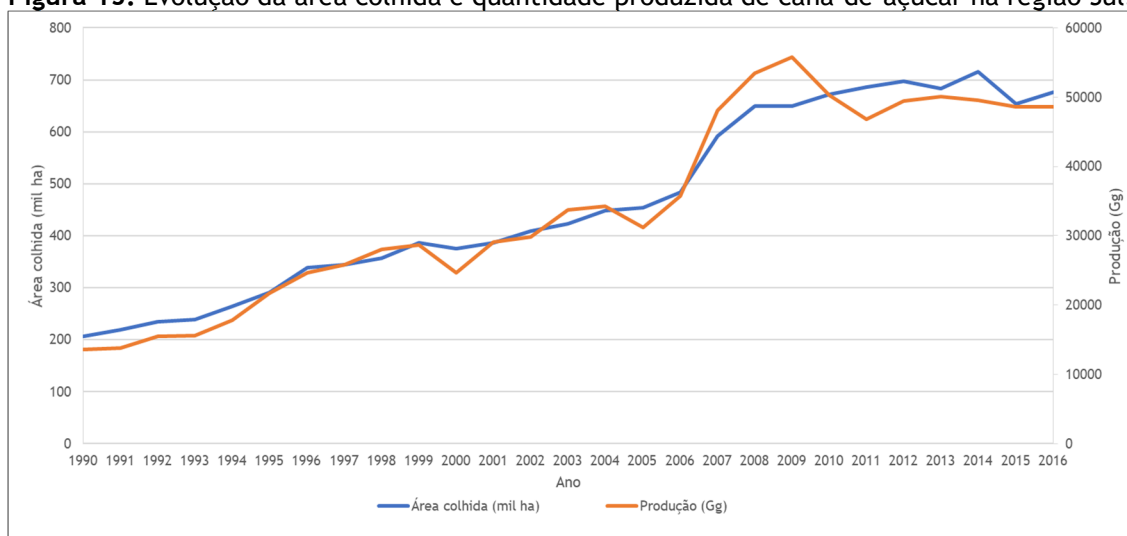


Fonte: Elaborado pelos autores.

## Região Sul

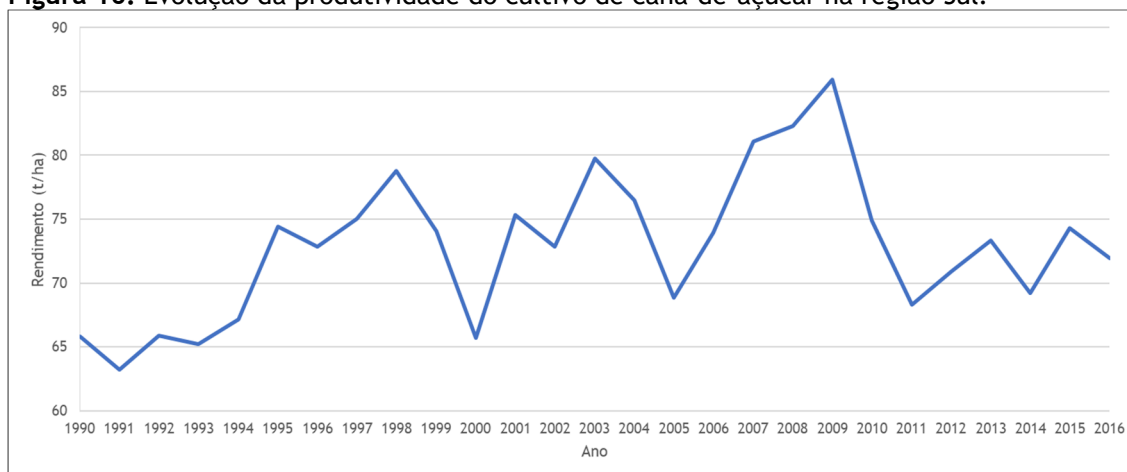
No período de 1990 e 2016, a área colhida de cana-de-açúcar na região Sul aumentou em 226,6% ou 469 mil hectares, passando de 207 mil hectares em 1990 para 676 mil hectares. No mesmo período, a produção aumentou 34,9 milhões de toneladas ou 256,7%, passando de 13,6 milhões de toneladas em 1990 para 48,6 milhões de toneladas em 2016. No ano de 2009, a produção nessa região atingiu seu maior nível com 55,8 milhões de toneladas produzidas. A Figura 15 ilustra a evolução temporal das duas variáveis.

**Figura 15.** Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar na região Sul.



Fonte: Modificado de IBGE (2017).

Durante o período de 1990 a 2016, o rendimento médio da cana-de-açúcar passou de 65,8 t/ha para 71,9 t/ha. A produtividade na região atingiu seu maior pico no ano de 2009, com rendimento médio de 85,9 t/ha, sendo considerada a região com maior rentabilidade naquele ano. A Figura 16 ilustra a variação temporal da variável na região Sul.

**Figura 16.** Evolução da produtividade do cultivo de cana-de-açúcar na região Sul.

Fonte: Modificado de IBGE (2017).

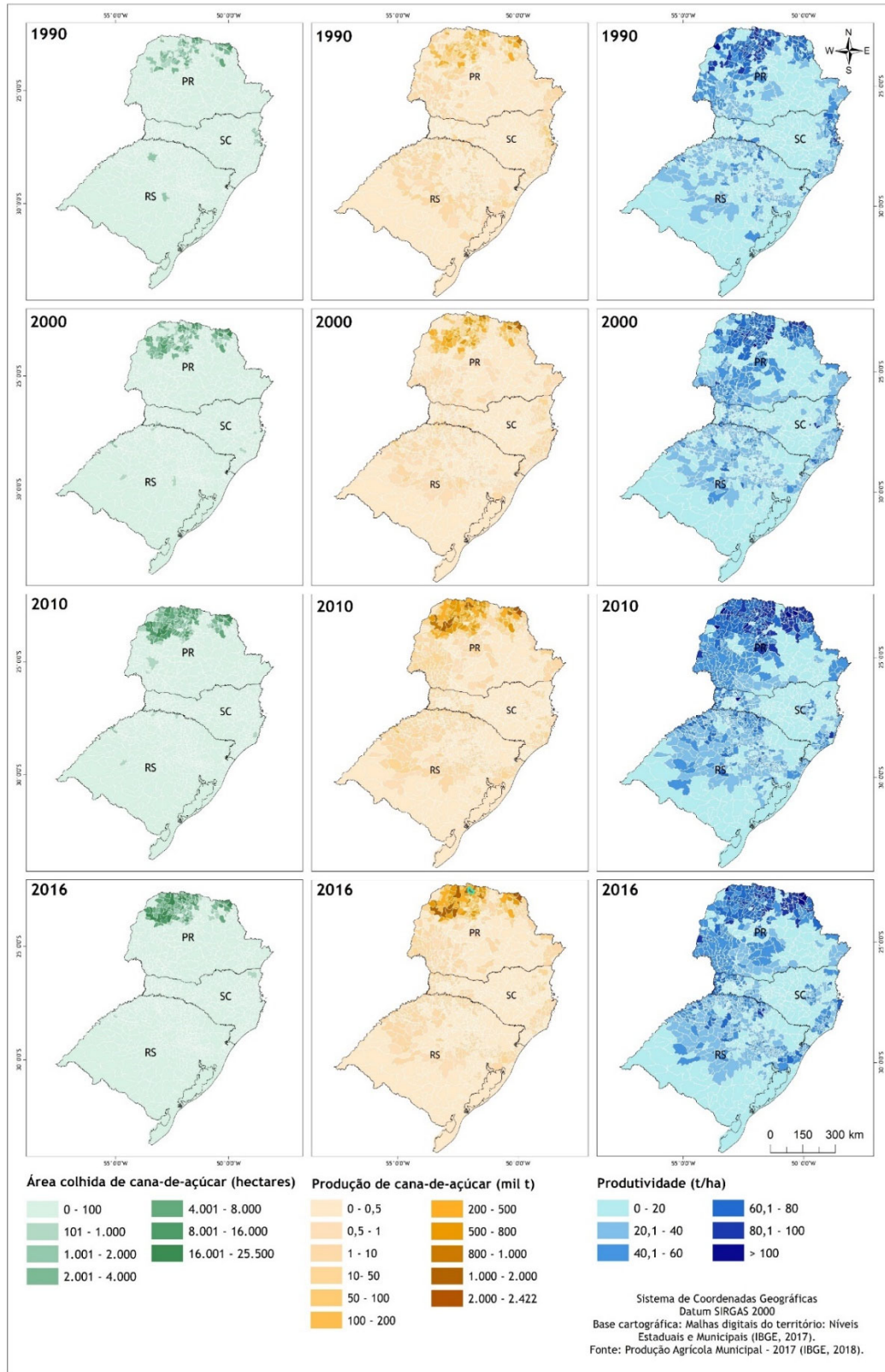
Dos 48,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar produzidos na região Sul no ano de 2016, 47,5 milhões de toneladas foram colhidos no estado do Paraná, representando assim 97,6% da produção da região.

No Paraná, os canaviais estão concentrados na porção noroeste do estado (Figura 17), sobretudo nos municípios correspondentes às mesorregiões Noroeste Paranaense, Norte Pioneiro Paranaense e Norte Central Paranaense. Dentre esses municípios, destacam-se Jacarezinho, Cianorte, Cambará, Paranacity e Colorado, os quais apresentaram no ano de 2016 produção de 1,4 a 2,4 milhões de toneladas (Figura 17).

Os municípios de maior produtividade no ano de 2016 foram aqueles localizados na porção norte, apresentando produtividade acima de 90 t/ha, a exemplo os municípios de Santo Antônio da Platina e São Pedro do Paraná, com produtividade de 110 e 104,6 t/ha, respectivamente (Figura 17).

O cultivo de cana-de-açúcar nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul é pouco significativo, de modo que somados representaram apenas 2,4% da produção da região Sul no ano de 2016.

**Figura 17.** Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Sul.

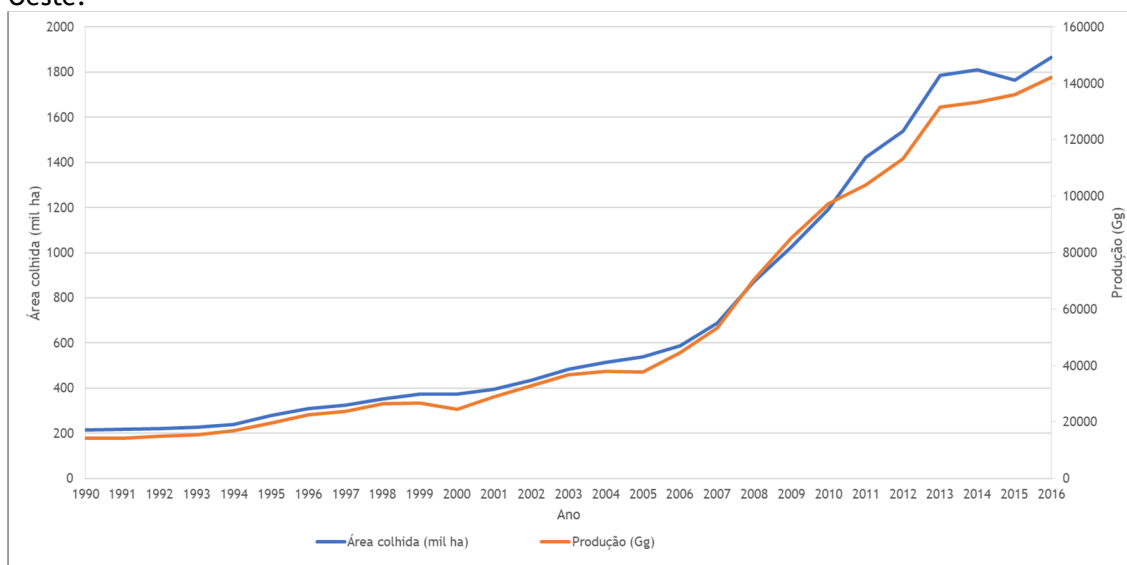


Fonte: Elaborado pelos autores.

## Região Centro-Oeste

Durante o período de 1990 a 2016, a região Centro-Oeste foi a que apresentou o maior aumento em termos de área colhida de cana-de-açúcar (1,65 milhão de hectares ou 764%), passando de 216 mil hectares em 1990 para 1,86 milhão de hectares em 2016. Neste intervalo o crescimento da produção foi de milhões de toneladas, com 14,1 milhões de toneladas produzidas em 1990 e 142 milhões de toneladas em 2016, aumento em termos percentuais de 906%, também sendo a região com maior aumento percentual nesse período. A Figura 18 ilustra a evolução dessas variáveis.

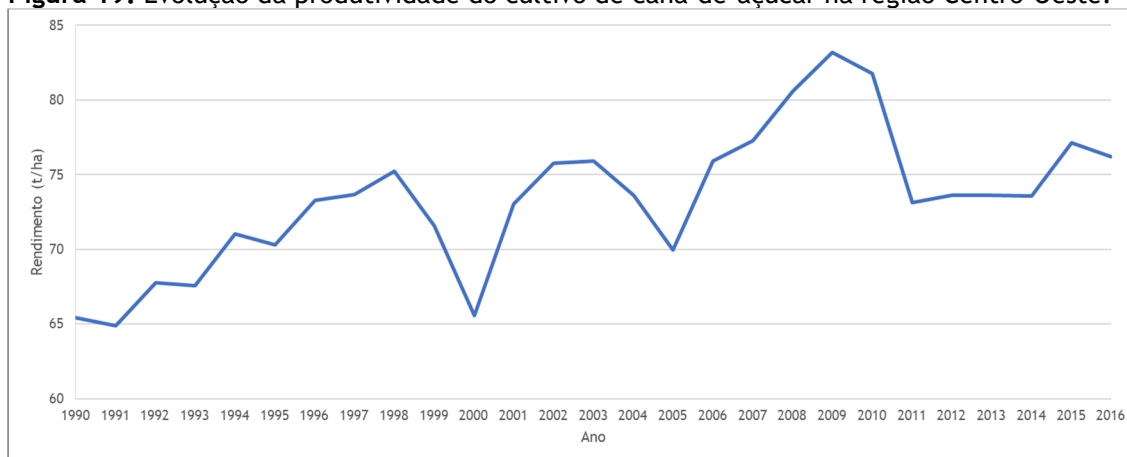
**Figura 18.** Evolução da área colhida e quantidade produzida de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste.



Fonte: Modificado de IBGE (2017).

No intervalo de 1990 a 2016, a produtividade aumentou de 65,4 t/ha em 1990 para 76,2 t/ha em 2016, aumento de 10,8 t/ha ou 16,5%. O pico da rentabilidade da cana-de-açúcar na região ocorreu em 2009, quando a produtividade foi de 83,2 t/ha. A Figura 19 ilustra a evolução temporal da rentabilidade da cana-de-açúcar na região.



**Figura 19.** Evolução da produtividade do cultivo de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste.

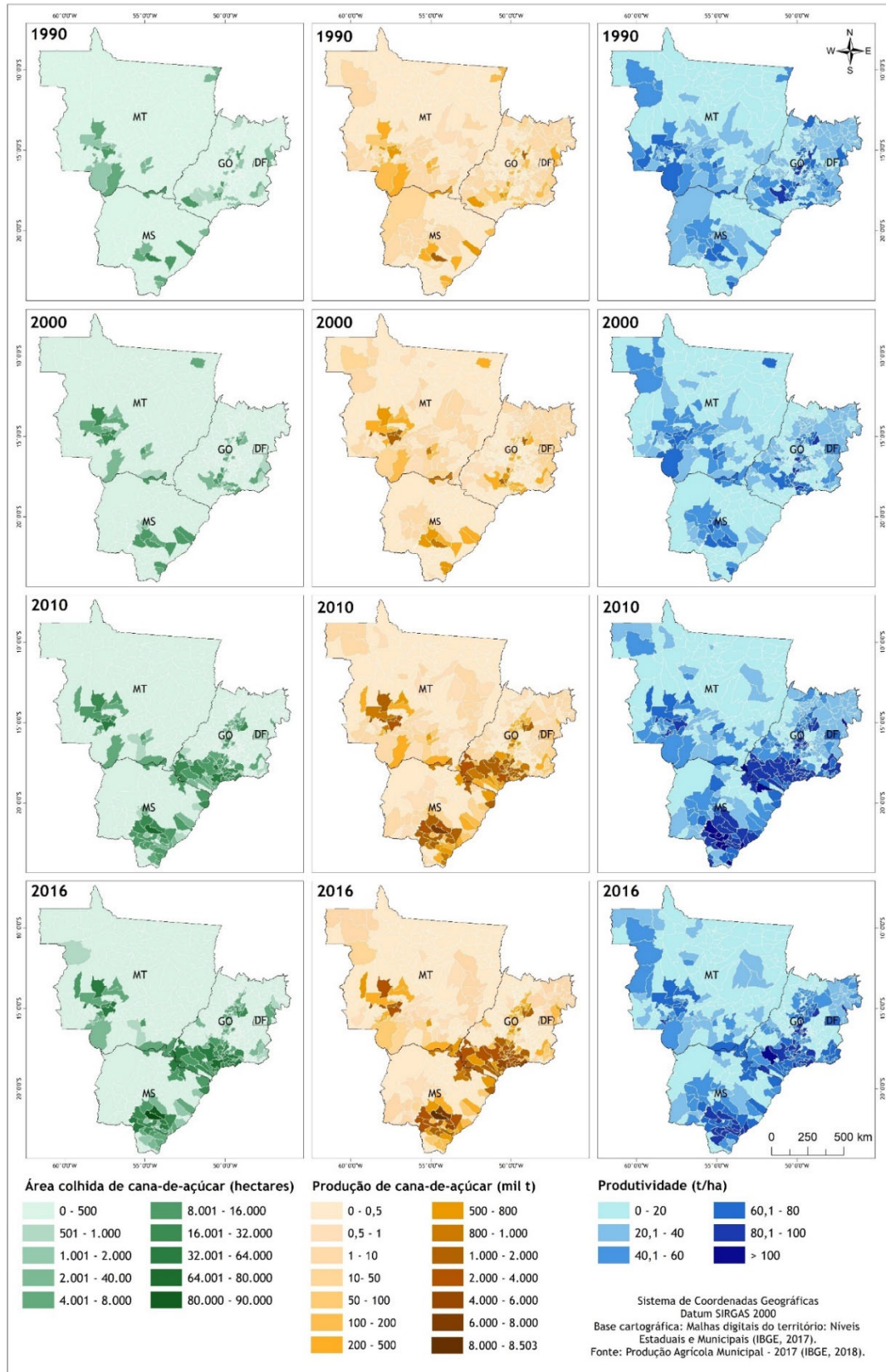
Fonte: Modificado de IBGE (2016).

De acordo com os dados da PAM - 2017 (IBGE, 2018), Goiás é o estado na região Centro-Oeste que mais contribuiu para a produção da cana-de-açúcar na região no ano de 2016, com uma produção de 71 milhões de toneladas. Em seguida, o estado de Mato Grosso do Sul é o mais representativo, com uma contribuição de 51,9 milhões de toneladas no mesmo ano. Já o estado de Mato Grosso produziu 19,2 milhões de toneladas e o Distrito Federal 20,7 mil toneladas, no mesmo período.

No estado de Mato Grosso do Sul os cultivos de cana-de-açúcar ocorrem principalmente nos municípios localizados na porção sudeste da mesorregião Sudoeste de Mato Grosso do Sul e nos localizados na porção nordeste da mesorregião Leste de Mato Grosso do Sul (Figura 20). No estado de Goiás, os canaviais se difundiram de Serranópolis sentido Goianésia e Itumbiara, de modo que no ano de 2016 os principais municípios produtores de cana estão localizados nas mesorregiões Sul Goiano e Centro Goiano (Figura 20). Já no estado de Mato Grosso, os cultivos de cana-de-açúcar acontecem nos municípios localizados na porção sudoeste da mesorregião Norte Mato-Grossense.

Os municípios sul-mato-grossenses Rio Brillante e Nova Alvorada do Sul apresentaram os maiores valores de área colhida no ano de 2016, 93 e 88,6 mil hectares respectivamente, seguidos dos municípios goianos Quirinópolis, Mineiros e Costa Rica, com área colhida de 66,2, 52 e 48 mil hectares, respectivamente. Em termos de produção no ano de 2016, destacam-se os municípios Rio Brillante (MS) e Nova Alvorada do Sul (MS), com produções de 8,5 e 6,4 milhões de toneladas, respectivamente. Todavia, nesse mesmo ano, as maiores produtividades foram observadas nos municípios goianos Jataí e Vila Boa, as quais foram de 120 e 99,8 t/ha (Figura 20).

**Figura 20.** Evolução da área colhida, produção e produtividade de cana-de-açúcar nos municípios da região Centro-Oeste.



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 2.1.2. Valores da fitomassa de palha e colmo

Os valores da fitomassa de palha e colmo oscilam em função da variedade de cana-de-açúcar cultivada. Em razão disso, foi realizado um levantamento das principais variedades cultivadas no Brasil. Posteriormente, realizou-se uma busca em trabalhos científicos da relação produção de palhico/produção de colmo para cada uma das variedades levantadas.

#### Variedades cultivadas

As variedades de cana-de-açúcar mais colhidas, em níveis nacional e estadual, foram obtidas através do *Censo Varietal IAC de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil - Safra 2016/17* (BRAGA *et al.*, 2017), para a região Centro-Sul, e do *Censo Varietal Brasil - 2017*, da Ridesa (2018), para os principais estados produtores.

O censo varietal realizado pelo IAC coletou informações de 241 unidades produtoras na região Centro-Sul do Brasil, que correspondem a 6,5 milhões de hectares recenseados, ou aproximadamente 75% da área plantada com cana-de-açúcar divulgada pelo CONAB dos estados pesquisados (Tabela 6). O levantamento apurou o percentual de área colhida das principais variedades de cana-de-açúcar na safra de 2016.

**Tabela 6.** Área cultivada com cana, área recenseada, proporção de recenseamento e número de unidades recenseadas, por estado, na safra 2016 na região Centro-Sul do Brasil.

Estado	CONAB (ha)	Censo IAC (ha)	Proporção (%)	Número de unidades recenseadas
Espírito Santo	50.055	38.738	77	2
Goiás	1.005.744	693.181	69	25
Mato Grosso	242.584	180.730	75	6
Mato Grosso do Sul	670.742	623.301	93	17
Minas Gerais	901.313	650.659	72	29
Paraná	653.776	633.055	97	27
Rio de Janeiro	32.984	-	0	0
Rio Grande do Sul	1.159	-	0	0
São Paulo	5.099.784	3.701.945	73	135
Região Centro-Sul	8.658.142	6.521.610	75	241

Fonte: Braga *et al.* (2017).

O censo varietal da Ridesa abrangeu os estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Piauí e Maranhão, na safra de 2017. O levantamento corresponde a 5,0 milhões de hectares recenseados (RIDESA, 2018). A Tabela 7 mostra a área de cultivo das 5 variedades mais plantadas no Brasil na safra 2017, conforme aponta o Censo realizado pela Ridesa.

**Tabela 7.** Área de cultivo das variedades de cana no Brasil, na safra 2017.

Variedade	Cultivo - 2017	
	Área (ha)	%
RB867515	1.250.023	24,7
RB966928	608.006	12,0
RB92579	491.753	9,7
CTC4	235.267	4,7
RB855156	233.575	4,6
Outros	2.235.218	44,2
<b>Total</b>	<b>5.053.842</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Modificado de Ridesa (2018).

A área de cultivo da variedade RB867515, lançada em 1997, representava 0,5% do total cultivado no Brasil no ano de 2000 (RIDESA, 2015), atingindo aproximadamente 24% no ano de 2016. Tal sucesso deve-se à adaptabilidade da variedade RB867515 a solos de baixa fertilidade, arenosos e com restrições, permitindo maior expansão da área de cultivo (RIDESA, 2015). Desse modo, a variedade RB867515 foi responsável pela maior área cultivada na região Centro-Sul, ocupando 27,1% da área cultivada, seguida das variedades RB966928 (9,1%), SP81-3250 (7,5%), RB92579 (6,1%) e RB855453 (5,0%) (BRAGA *et al.*, 2017).

A Tabela 8 contém os dados do censo varietal do IAC das 5 variedades de cana-de-açúcar mais cultivadas para os estados do Centro-Sul do Brasil (BRAGA *et al.*, 2017).

**Tabela 8.** Proporção das variedades cultivadas nos estados recenseados no Censo Varietal (BRAGA *et al.*, 2017) na safra 2016/2017.

Variedade	Proporção da variedade cultivada nos estados recenseados (%)						
	SP	MG	ES	PR	GO	MS	MT
CTC4	-	-	-	-	4,9	-	-
RB72454	-	-	4,6	-	-	-	-
RB835486	-	-	-	-	-	-	3,9
RB855156	-	-	-	3,7	-	6,4	-
RB855453	5,8	-	-	4,7	4,4	-	-
RB855536	-	-	-	-	-	7,5	4,8
RB867515	23,5	29,2	52,4	43,9	31,3	32,1	49,5

Variedade	Proporção da variedade cultivada nos estados recenseados (%)						
	SP	MG	ES	PR	GO	MS	MT
RB92579	6,8	10	6,7	-	-	-	7
RB955977	-	-	10,3	-	-	-	-
RB966928	11	-	-	12,9	4,6	5,8	-
SP80-1816	-	6,2	-	-	-	-	-
SP80-1842	-	3,9	5,6	-	-	-	-
SP81-3250	7,1	11,9	-	4,5	14,6	9,3	-
SP83-5073	-	-	-	-	-	-	7,5
Outras	45,8	38,8	20,4	30,3	40,2	38,9	27,3
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Modificado de (BRAGA *et al.*, 2017).

Na Tabela 9 são apresentados os dados do censo varietal da Ridesa das 5 variedades de cana-de-açúcar mais plantadas por estado na safra 2017 (RIDESA, 2018). Nos estados do Nordeste a variedade RB92579, desenvolvida exclusivamente para atender as demandas e especificidades da região Nordeste, tem sido a mais cultivada nos últimos anos. Essa variedade tem apresentado expressivas elevações de produtividade, superando de 30% a 40% a produtividade das variedades anteriormente mais cultivadas no Nordeste (RIDESA, 2015) (Tabela 9). Os dados apresentados pelos censos do IAC e do Ridesa, quando para os mesmos estados, são corroborativos, apresentando percentuais semelhantes.

**Tabela 9.** Proporção das variedades cultivadas nos estados recenseados no Censo Varietal (RIDESA, 2018) na safra 2017.

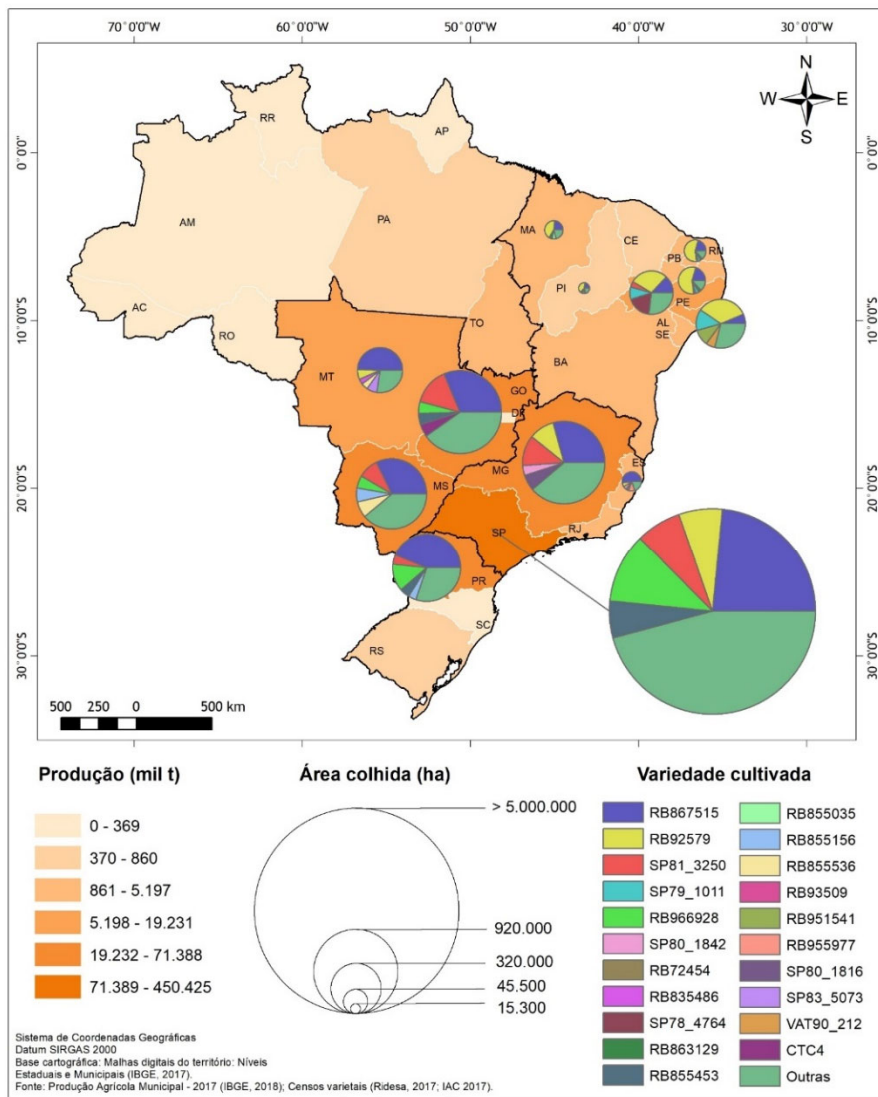
Variedade	Estado (%)								
	SP	MG	MS	AL	PI	MA	PB	RN	PE
CTC4	5,90	-	-	-	-	-	-	-	-
IAC91-1099	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RB72454	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RB835054	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RB835486	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RB855035	-	-	-	-	6,30	6,30	-	-	-
RB855156	5,60	-	6,00	-	-	-	-	-	-
RB855453	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RB855536	-	-	5,80	-	-	-	-	-	-
RB863129	-	-	-	-	5,46	5,46	3,26	3,26	-
RB867515	21,40	34,70	32,70	6,33	22,37	22,37	20,48	20,48	13,09
RB93509	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RB92579	8,40	12,00	-	34,06	41,08	41,08	56,45	56,45	28,22
RB951541	-	-	-	10,66	-	-	-	-	-
RB955977	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RB966928	14,10	4,30	10,90	-	-	-	-	-	-
SP78-4764	-	-	-	-	-	-	-	-	17,94

Variedade	Estado (%)								
	SP	MG	MS	AL	PI	MA	PB	RN	PE
SP79-1011	-	-	-	13,93	-	-	4,10	4,10	9,47
SP80-1816	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SP80-1842	-	5,70	-	-	-	-	-	-	-
SP81-3250	-	4,80	6,40	-	-	-	2,29	2,29	4,38
SP83-5073	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VAT90-212	-	-	-	5,91	4,19	4,20	-	-	-
Outras	44,60	38,50	38,20	29,12	20,59	20,59	13,43	13,43	26,89
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Ridesa, 2018.

Os dados dos censos varietais do IAC (BRAGA *et al.*, 2017) e da Ridesa (2018) são apresentados, espacialmente, na Figura 21, juntamente com os dados de produção e área colhida dos estados.

**Figura 21.** Proporção das variedades cultivadas nos estados recenseados nos censos varietais (BRAGA *et al.*, 2017; RIDESA, 2018).



Fonte: Elaborado pelos autores.

## Relação produção de palhiço/produção de colmo

A relação produção de palhiço/colmo é utilizada para o cálculo da estimativa da produção de biomassa seca disponível para a queima. Na Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (BRASIL; MCTI, 2016), foi calculado o valor da relação de 0,181. Para a obtenção desse valor, Packer *et al.* (2015) realizaram um levantamento das variedades de cana-de-açúcar mais cultivadas no Brasil e os valores de produção de biomassa seca e fresca. A partir dos valores encontrados, os autores calcularam a relação média palhiço/colmo, utilizando como peso o percentual da área colhida da cultura.

Para esta edição do Inventário, a partir de uma extensiva revisão bibliográfica, foram buscados os valores da relação palhiço/colmo para as variedades levantadas junto aos censos do IAC e da Ridesa (Tabela 10). Posteriormente, foi calculada a relação média palhiço/colmo da cana-de-açúcar para os estados recenseados a partir da média ponderada das relações palhiço/colmo das cinco variedades mais cultivadas, tendo como peso as áreas das variedades de cana-de-açúcar de cada estado (Tabela 11). Para as variedades que não foram encontradas na literatura, valores de produção de palhiço e de colmo, adotou-se um valor genérico de produção, seguindo Hassuani *et al.* (2005), valor adotado na Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2016). Os valores da relação média palhiço/colmo para os estados são apresentados na Tabela 11.

**Tabela 10.** Estimativas de biomassa seca, biomassa fresca e relação produção de palhiço/produção de colmos estimadas para as principais variedades de cana-de-açúcar plantadas no Brasil.

Variedade	Palhiço (t ha <sup>-1</sup> )	Colmo (t ha <sup>-1</sup> )	Relação palhiço/colmo*	Fonte
RB867515	17,400	82,600	0,211	Marques e Pinto, 2013
RB966928	14,100	77,200	0,183	Hassuani <i>et al.</i> 2005
RB92579	17,000	107,500	0,158	Ivo <i>et al.</i> 2015
CTC4	14,100	77,200	0,183	Hassuani <i>et al.</i> 2005
RB855156	14,100	77,200	0,183	Hassuani <i>et al.</i> 2005
SP79-1011	15,500	98,700	0,157	Hassuani <i>et al.</i> 2005
RB951541	14,100	77,200	0,183	Hassuani <i>et al.</i> 2005
VAT90-212	14,100	77,200	0,183	Hassuani <i>et al.</i> 2005
SP80-1842	15,973	113,602	0,141	Hassuani <i>et al.</i> 2005
SP81-3250	15,300	103,590	0,148	Tasso Junior <i>et al.</i> 2011
RB855536	12,200	113,000	0,108	Franco <i>et al.</i> 2007

Variedade	Palhiço (t ha <sup>-1</sup> )	Colmo (t ha <sup>-1</sup> )	Relação palhiço/colmo*	Fonte
RB863129	14,100	77,200	0,183	Hassuani <i>et al.</i> 2005
SP78-4764	14,100	77,200	0,183	Hassuani <i>et al.</i> 2005
RB855035	14,100	77,200	0,183	Hassuani <i>et al.</i> 2005
RB955977	14,100	77,200	0,183	Hassuani <i>et al.</i> 2005
RB72454	16,400	99,400	0,165	Hassuani <i>et al.</i> 2005
RB855453	13,400	90,000	0,149	Hassuani <i>et al.</i> 2005
SP83-5073	14,100	77,200	0,183	Hassuani <i>et al.</i> 2005
RB835486	14,100	77,200	0,183	Hassuani <i>et al.</i> 2005
SP80-1816	22,983	114,143	0,201	Hassuani <i>et al.</i> 2005
Outras	14,100	77,200	0,183	Hassuani <i>et al.</i> 2005

\* Valor adimensional.

Tabela 11. Relação média palhiço/colmo dos estados segundo o censo varietal do IAC e da Ridesa

Estado	IAC	Ridesa	Média
AL	-	0,172	0,172
ES	0,193	-	0,193
GO	0,185	-	0,185
MA	-	0,179	0,179
MG	0,184	0,185	0,185
MS	0,183	0,185	0,184
MT	0,193	-	0,193
PB	-	0,173	0,173
PE	-	0,175	0,175
PI	-	0,179	0,179
PR	0,192	-	0,192
RN	-	0,173	0,173
SP	0,183	0,187	0,185
<b>Brasil</b>	-	-	<b>0,187</b>



Os estados do Centro-Sul do Brasil apresentam maior percentual de área colhida da variedade RB867515, que apresenta a maior relação palhiço/colmo das variedades levantadas; em contrapartida, os estados do Nordeste têm como principal variedade RB92579, que apresenta uma das menores relações palhiço/colmo. A diferença dessas relações reflete-se na relação média de cada estado, onde os estados da região Centro-Sul apresentam relações palhiço/colmo maiores que dos estados do Nordeste. Ou seja, os estados do Nordeste apresentam menor produção de biomassa seca por produção de biomassa fresca em relação aos estados do Centro-Sul.

### 2.1.3 Área Queimada (A)

Embora a queimada em cultivos de cana-de-açúcar ainda ocorra no Brasil, não há dados oficiais da proporção dessa prática por área colhida. Contudo, o quinto volume do “Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar” (CONAB, 2018) apresenta o percentual de colheita mecanizada e manual, por regiões e estados, para os anos referentes ao período de 2007 a 2016.

Uma vez que a colheita manual sem queima prévia apresenta rendimento inferior à com queima prévia, o trabalho se torna mais oneroso, o que acaba por inviabilizar economicamente a operação (CONAB, 2018). Diante disso, o percentual da colheita realizada de forma manual apresentada no quinto volume do Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar (CONAB, 2018) pode ser tomado como um indicativo do percentual da área colhida com emprego da queima. Esse indício é corroborado pelo trabalho de Fernandes *et al.* (2013), o qual analisou os focos de queimadas no estado de Alagoas, no período de 2004 a 2009. Sobrepondo-se os pontos de foco de queimadas aos mapas de produções anuais de cana-de-açúcar dos municípios alagoanos, representados em campo contínuo, os autores observaram que os *clusters* mais densos de focos de queimada ocorrem na zona da mata nordestina, entre os meses de setembro e fevereiro, período da colheita da cana-de-açúcar, justamente nas manchas de maior produção de cana, sugerindo que tais focos sejam decorrentes da queima da cana, a qual ainda é colhida manualmente nessas áreas.

Na Tabela 12, são apresentados os valores percentuais obtidos junto à CONAB para os anos de 2007 a 2016. Para os anos de 1990 a 2006 foram incorporados os valores apresentados por Packer *et al.* (2015) no *Relatório de Referência - Setor Agropecuária, Queima de Resíduos Agrícolas*, do Terceiro Inventário Brasileiro de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Essas proporções foram aplicadas aos dados de área colhida apresentados na PAM (IBGE, 2018), tendo como produto uma estimativa da área queimada em cultivos de cana-de-açúcar (Tabela 12), dados utilizados no cálculo das estimativas de emissões de GEE. Os apêndices A.1.4 e A.1.5 apresentam esses dados para as grandes regiões e estados.

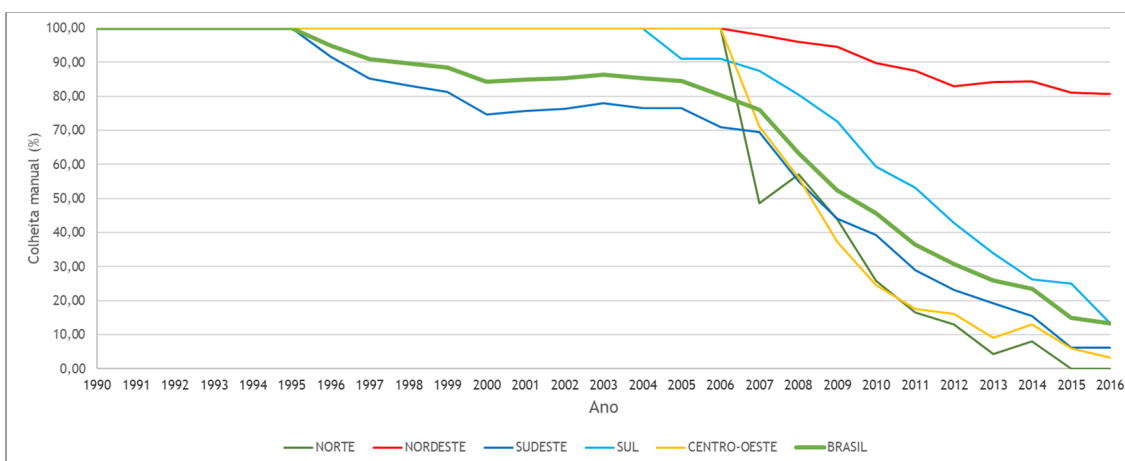
**Tabela 12.** Percentual de colheita manual e estimativa da área queimada em cultivos de cana-de-açúcar.

Ano	Colheita manual	Estimativa de área queimada
	----- % -----	----- mil ha -----
1990	100,00	4.272,60
1991	100,00	4.210,95
1992	100,00	4.202,60
1993	100,00	3.863,70
1994	100,00	4.345,26
1995	100,00	4.559,06
1996	94,75	4.500,98
1997	90,95	4.378,64
1998	89,71	4.472,83
1999	88,37	4.329,08
2000	84,23	4.046,65
2001	84,98	4.213,42
2002	85,39	4.355,34
2003	86,36	4.638,44
2004	85,32	4.805,24
2005	84,43	4.901,34
2006	80,34	5.106,13
2007	75,90	5.374,46
2008	63,38	5.158,98
2009	52,45	4.519,72
2010	45,59	4.138,24
2011	36,40	3.494,61
2012	30,78	2.987,06
2013	25,96	2.646,78
2014	23,39	2.436,79
2015	14,95	1.511,99
2016	13,27	1.356,41

Fonte: Modificado de CONAB (2018) e Packer *et al.* (2015).

Enquanto as regiões Norte e Centro-Sul têm apresentado uma queda significativa da colheita manual, resultado das políticas em prol do fim da queima da cana, na região Nordeste a colheita realizada manualmente representa ainda mais de 80% (Figura 22).

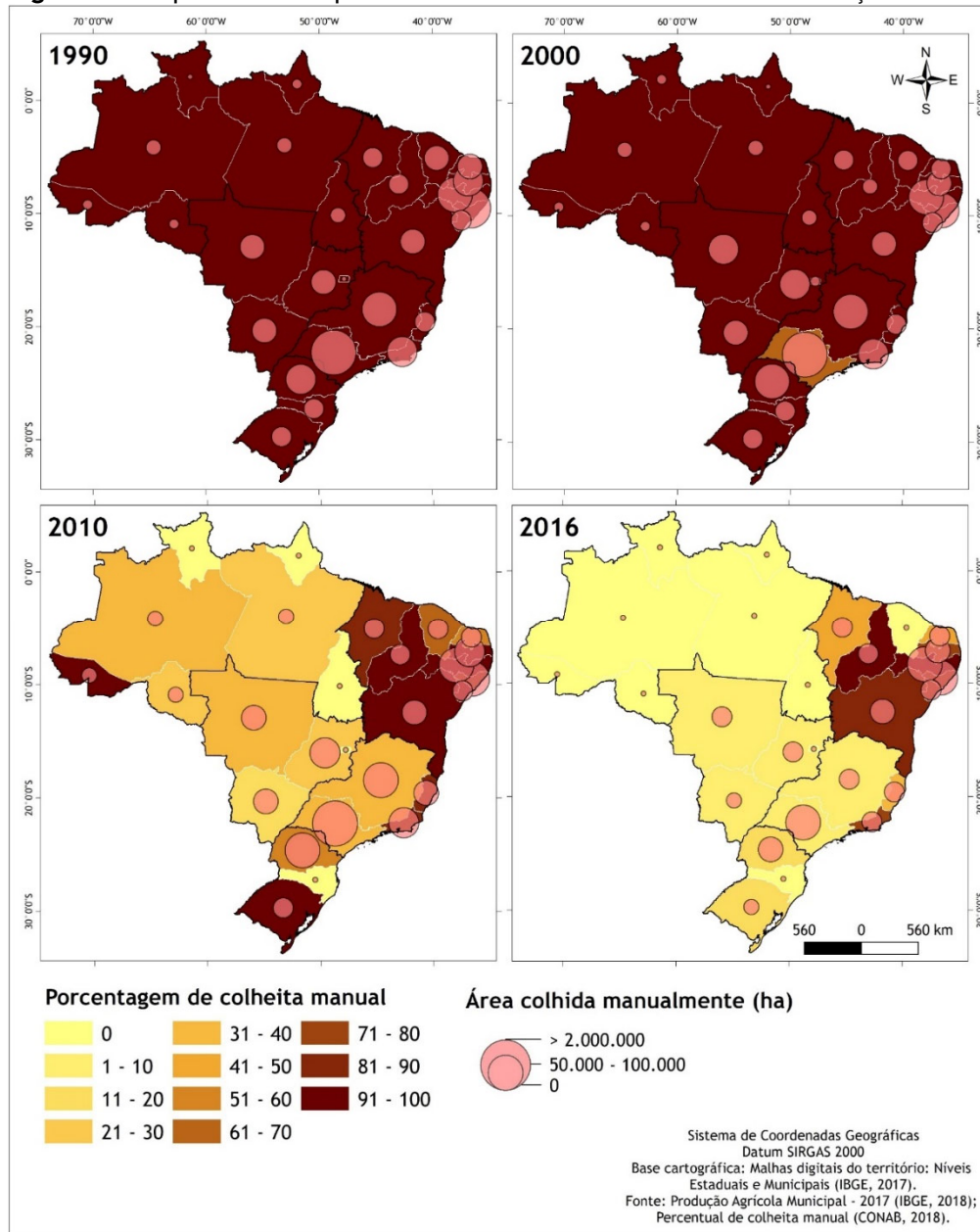
**Figura 22.** Percentual da colheita de cana-de-açúcar realizada de modo manual.



Fonte: Modificado de CONAB (2018) e Packer *et al.* (2015).

Na Figura 23 é apresentada uma coleção de mapas com os dados da CONAB (2018) referentes à evolução do percentual da colheita de cana-de-açúcar realizada de modo manual, entre os anos de 1990 e 2016.

Figura 23. Mapeamento do percentual de colheita manual de cana-de-açúcar.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os estados produtores da região Norte apresentaram redução do sistema de colheita manual, sendo que representa atualmente menos de 5% do modo de colheita na região. Deve-se destacar que a produção de cana-de-açúcar na região Norte (Tabela 4), muito inferior às demais regiões brasileiras, é realizada em áreas de relevo muito plano, propiciando a colheita mecanizada.

Após a região Norte, as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul apresentam as maiores reduções do emprego da colheita manual. Todavia, na região Nordeste, mais de 80% da cana-de-açúcar produzida ainda é colhida de forma manual, principalmente nos estados de maior produção (Apêndice A.1.4), em virtude dos relevos acidentados, os quais são de difícil mecanização.

Com base nos percentuais de colheita manual por estado, estimou-se ainda a área de cana-de-açúcar queimada por município, nos anos de 1990 a 2016, estando as estimativas dos anos 1990, 1995, 2000, 2007, 2010 e 2016 representadas em mapas, por Grandes Regiões (Apêndices de A.1.6 a A.1.10).

## 2.2. Fatores de emissão e outros parâmetros

### 2.2.1 Fator de Combustão (Cf)

O fator de combustão é a razão entre o total de biomassa queimada e o total de biomassa disponível para a queima. Para este relatório, além do valor definido pelo IPCC 2006, foram levantados dois estudos, um realizado no Brasil (FRANÇA *et al.*, 2012) e outro realizado na Tailândia (SORNPOON *et al.*, 2014). O valor obtido no estudo desenvolvido por França *et al.* (2012) foi de 0,09, enquanto no trabalho realizado por Sornpoon *et al.* (2014) foram determinados valores de fator de combustão de 0,64 quando o emprego do fogo é aplicado no período pré-colheita e de 0,83 no período pós-colheita. Já o valor apresentado pelo IPCC 2006 é de 0,8 no período pré-colheita.

A diferença entre esses estudos ocorre pela metodologia aplicada para o cálculo do fator. Em França *et al.* (2012), o experimento levou em conta como biomassa disponível para a queima a biomassa do caule da cana-de-açúcar e a biomassa do palhiço. No trabalho de Sornpoon *et al.* (2014), o cálculo do fator levou em consideração como biomassa disponível para a queima somente a biomassa do palhiço. No IPCC 2006, o valor é dado como uma avaliação de especialista pelos autores.

Como o valor obtido em França *et al.* (2012) é incompatível com a metodologia que está sendo aplicada, utilizou-se o valor *default* de 0,8 definido no IPCC 2006 para os cálculos das estimativas de emissão de gases de efeito estufa, conforme utilizado também no Terceiro Inventário.

### 2.2.2 Fatores de emissão (Gef)

Fatores de emissão de GEE são dependentes do tipo de biomassa e de combustão (FRANÇA *et al.*, 2013). Dessa maneira, para uma estimativa mais realista das emissões de GEE, é primordial que fatores de emissão específicos sejam determinados e usados por cada espécie vegetal.

Os valores de emissão de GEE não CO<sub>2</sub> (CH<sub>4</sub> - metano, CO - monóxido de carbono, NO<sub>x</sub> - óxidos de nitrogênio e N<sub>2</sub>O - óxido nitroso) por queima de resíduos agrícolas apresentados nos inventários brasileiros têm adotado como fatores de emissão valores de referência apresentados nos Guias IPCC-1996 (I e II inventários) e IPCC-2006 (III inventário). O *Guideline* IPCC-2006 toma como referência os valores propostos por Andreae e Merlet (2001). Todavia, além de serem valores *default*, são valores gerais para queima de resíduos agrícolas e não para uma cultura agrícola específica, como é o caso deste relatório, que trata principalmente da queima da palha da cana-de-açúcar.

Para este relatório, foi realizado um levantamento de estudos sobre fatores de emissão de GEE para a queima da palha de cana-de-açúcar, sendo encontrado um total de oito trabalhos, dos quais três foram realizados no Brasil (YOKELSON *et al.*, 2008; LOPES; CARVALHO, 2009; FRANÇA *et al.*, 2012) e os demais em outros países (MUGICA-ÁLVAREZ *et al.*, 2018; STOCKWELL *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2013; HALL *et al.*, 2012; ANDREA; MERLET, 2001).

Com relação aos estudos conduzidos no Brasil, do conjunto dos quatro GEE, os quais têm suas emissões e remoções antrópicas contabilizadas nos inventários nacionais, Yokelson *et al.* (2008), por meio de experimentos realizados em laboratório de combustão sob condições controladas, determinaram os fatores de emissão dos gases CH<sub>4</sub> e CO a partir da queima dos resíduos da cana-de-açúcar. Lopes e Carvalho (2009) apresentam um fator de emissão de CO decorrente da queima de cana-de-açúcar, obtido a partir de experimentos de queima da palha de cana-de-açúcar seca, realizados em um ambiente confinado. Já França *et al.* (2012) apresentaram fatores de emissão determinados para os gases CO e NO<sub>x</sub>, emitidos durante a queima da palha da cana-de-açúcar. Esses fatores de emissão foram obtidos com base em medidas contínuas realizadas em condições controladas de laboratório (FRANÇA *et al.*, 2012).

Desse modo, para o Brasil, foram adotados fatores de emissão nacionais para os gases CH<sub>4</sub>, CO e NO<sub>x</sub>, conforme apresentado na Tabela 13. Para o gás N<sub>2</sub>O, por não haver valores de fatores de emissão nacionais, adotou-se o valor *default* do IPCC 2006.

**Tabela 13. Fatores de emissão (Gef) de CH<sub>4</sub>, CO, NO<sub>x</sub> e N<sub>2</sub>O proveniente da matéria seca queimada (g kg<sup>-1</sup>).**

Referência	Tipo de biomassa queimada	CH <sub>4</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> O
Yokelson <i>et al.</i> (2008)	Cana-de-açúcar	0,933	28,3	-	-
Lopes e Carvalho (2009)	Cana-de-açúcar	-	28	-	-
França <i>et al.</i> (2012)	Cana-de-açúcar	-	65	1,5	-
<i>Default</i> IPCC (2006)	Resíduos agrícolas	2,7	92	2,5	0,07
<b>Valores adotados</b>	-	<b>0,933</b>	<b>40,43<sup>1</sup></b>	<b>1,5</b>	<b>0,07</b>

(-) Fator não estimado pelos autores no trabalho de referência; valores em negrito correspondem aos valores adotados.

<sup>1</sup> Média dos fatores de emissão apresentados por Yokelson *et al.* (2008), Lopes e Carvalho (2009) e França *et al.* (2012).

### 3. Resultados

As emissões de CH<sub>4</sub>, CO, N<sub>2</sub>O e NO<sub>x</sub> provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil (cana-de-açúcar e algodão), estimadas para os anos de 1990 a 2016, são apresentadas na Tabela 14. Observa-se que houve diminuição de 76% de 2005 a 2016 e 76% de 2010 a 2016, decorrente da transição da colheita manual para mecanizada no cultivo de cana-de-açúcar, a qual não faz uso do fogo.

**Tabela 14.** Estimativas das emissões totais de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos de cana-de-açúcar e algodão no Brasil de 1990 a 2016.

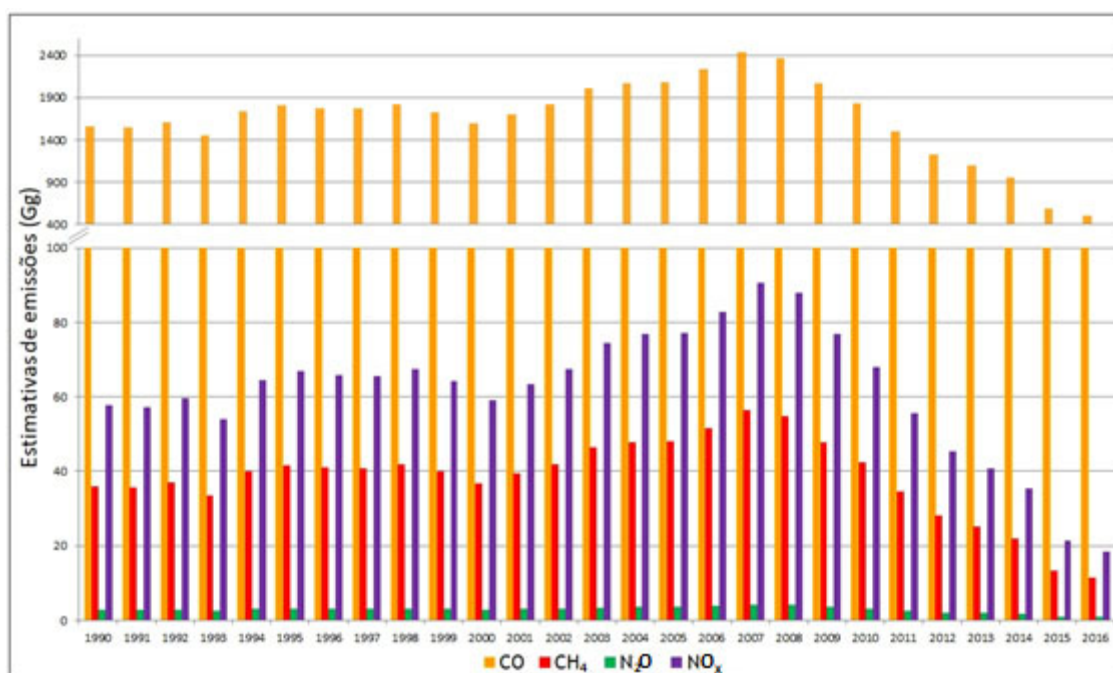
Ano	CO	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>
	----- Gg -----			
1990*	1.681,7	39,6	2,79	61,1
1991*	1.659,0	39,0	2,76	60,4
1992*	1.687,8	39,4	2,84	61,8
1993*	1.488,9	34,6	2,54	54,9
1994*	1.752,6	40,5	3,02	64,9
1995	1.805,6	41,7	3,13	66,9
1996	1.773,9	40,9	3,07	65,8
1997	1.767,22	40,8	3,06	65,6
1998	1.816,4	41,9	3,14	67,4
1999	1.727,6	39,9	2,99	64,1
2000	1.596,1	36,8	2,76	59,2
2001	1.705,5	39,3	2,95	63,3
2002	1.815,7	41,9	3,14	67,4
2003	2.006,5	46,3	3,47	74,4
2004	2.075,0	47,9	3,59	76,9
2005	2.078,4	47,9	3,60	77,1
2006	2.232,6	51,5	3,87	82,8
2007	2.444,9	56,4	4,23	90,7
2008	2.368,6	54,6	4,10	87,9
2009	2.072,9	47,8	3,59	76,9
2010	1.832,1	42,3	3,17	67,9
2011	1.499,8	34,6	2,60	55,6
2012	1.221,9	28,2	2,12	45,3
2013	1.095,8	25,3	1,90	40,6
2014	952,3	21,9	1,65	35,3
2015	577,3	13,3	1,00	21,4
2016	498,3	11,5	0,86	18,5

\* Anos com queima de algodão.

### 3.1 Emissões provenientes da queima de palha de cana-de-açúcar

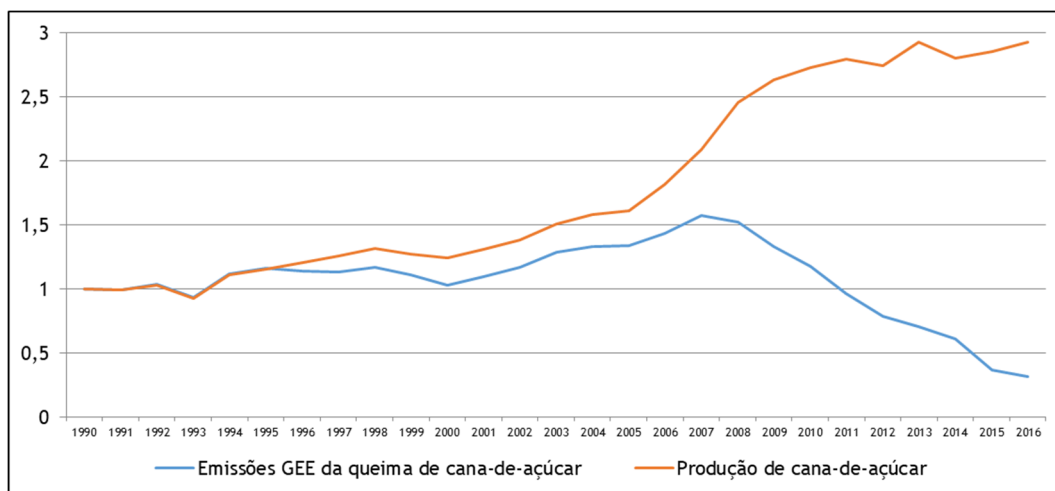
O pico das emissões totais de gases de efeito estufa provenientes da queima de palha de cana-de-açúcar no Brasil ocorreu no ano de 2007, apresentando queda nos anos seguintes (Figura 24). Tal fato está associado à transição do sistema de colheita manual para mecanizada, a qual se intensificou no ano de 2007, decorrente principalmente de um acordo voluntário, firmado nesse mesmo ano, por representantes do estado de São Paulo e integrantes da indústria sucroalcooleira, no qual assinaram o *Protocolo Agroambiental do Setor Sucroenergético do Estado de São Paulo*, antecipando os prazos para a eliminação gradual da queima de cana-de-açúcar de 2021 para 2014 nas áreas mecanizáveis e de 2031 para 2017 nas áreas não mecanizáveis.

**Figura 24.** Evolução das emissões totais de GEE provenientes da queima de resíduos de cana-de-açúcar no Brasil de 1990 a 2016.



A Figura 25 mostra a evolução da produção da cana-de-açúcar e das emissões referentes à queima de palha de cana-de-açúcar no Brasil, em relação aos valores de 1990. É evidente a influência da mecanização do processo de colheita, que começa a ocorrer a partir de 1996, o qual geralmente não faz uso do fogo, permitindo a diminuição das emissões de GEE. Todavia, de acordo com Nyko *et al.* (2013), a mecanização da colheita revelou certas deficiências do maquinário e implementos utilizados pelo setor, sobretudo pela compactação do solo pelo incremento do tráfego envolvido nas lavouras de cana-de-açúcar, o que acarreta aumento do pisoteio e consequente queda de produtividade, uma vez que as lavouras não estão totalmente sistematizadas para esse tipo de colheita.

**Figura 25.** Evolução da produção da cana-de-açúcar e das emissões referentes à queima de palha de cana-de-açúcar no Brasil, em relação aos valores de 1990

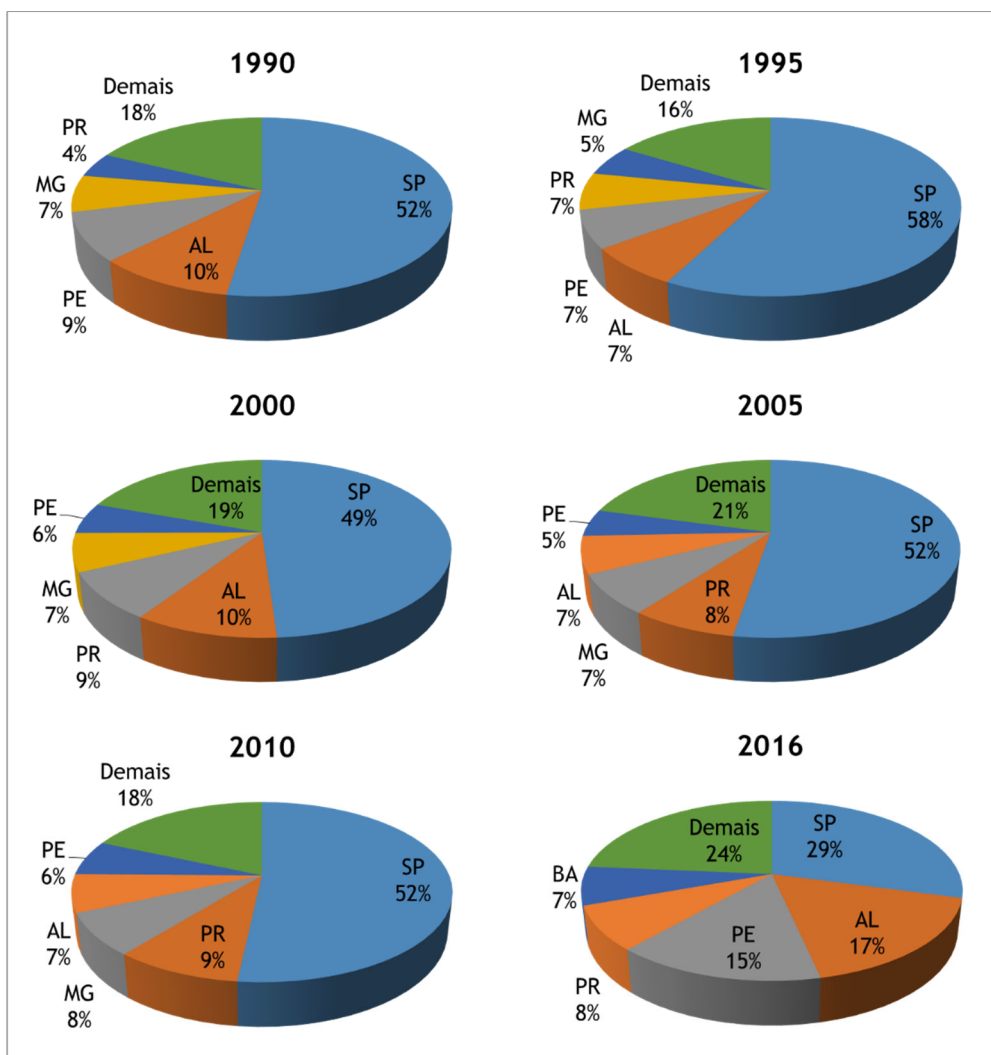


As estimativas de emissões de CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e NO<sub>x</sub> provenientes da queima de palha de cana-de-açúcar, em âmbitos regional e estadual, são apresentadas nos Apêndices B.1, B.2, B.3 e B.4, respectivamente.

A Figura 26 apresenta, em porcentagem, quanto cada estado foi responsável pelas emissões de GEE decorrentes da queima de palha de cana-de-açúcar. Merece destaque o fato de as emissões do estado de São Paulo representarem, até o ano de 2010, 50% das emissões nacionais. Já em 2016, devido à automatização da colheita da cana, as emissões do estado tiveram um decréscimo e corresponderam a 29%. Em contraste, as emissões dos estados de Alagoas e Pernambuco começaram a ter maior representatividade nas emissões nacionais, passando de 9% e 8% em 1999, para 17% e 15% em 2016, respectivamente. Isso se deve ao fato de a colheita manual representar na região Nordeste, atualmente, 80% do sistema de colheita, e nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, maiores produtoras de cana-de-açúcar do país, menos de 5% (CONAB, 2018).



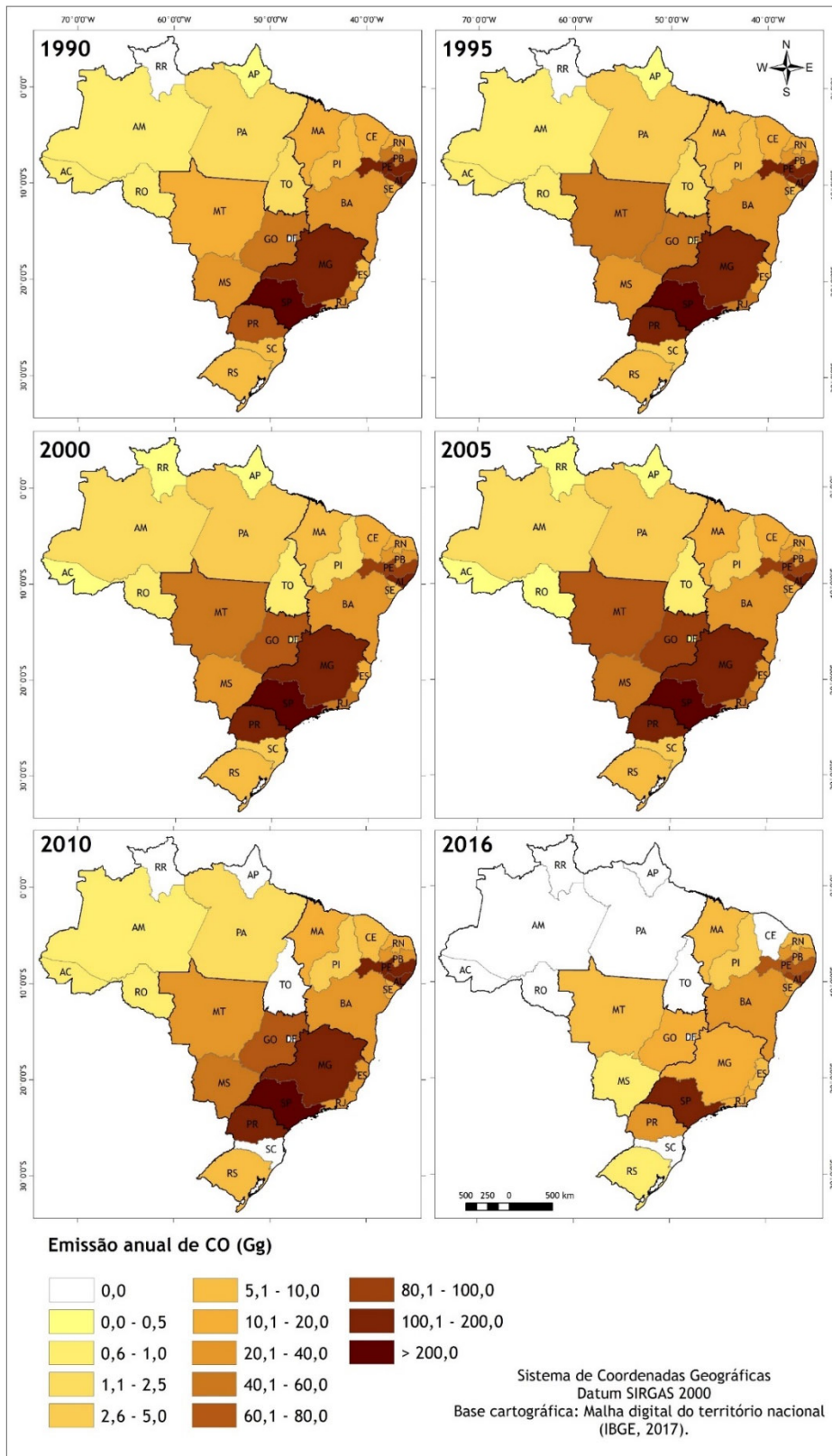
**Figura 26.** Contribuições estaduais nas emissões de GEE por queima de resíduos de cana-de-açúcar no Brasil para os anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



Ao normalizar os valores das estimativas de emissões de cada região pelos valores de produção de cana-de-açúcar das respectivas regiões, tem-se como produto a emissão de GEE proveniente da queima de palha de cana-de-açúcar para cada tonelada de cana-de-açúcar produzida.

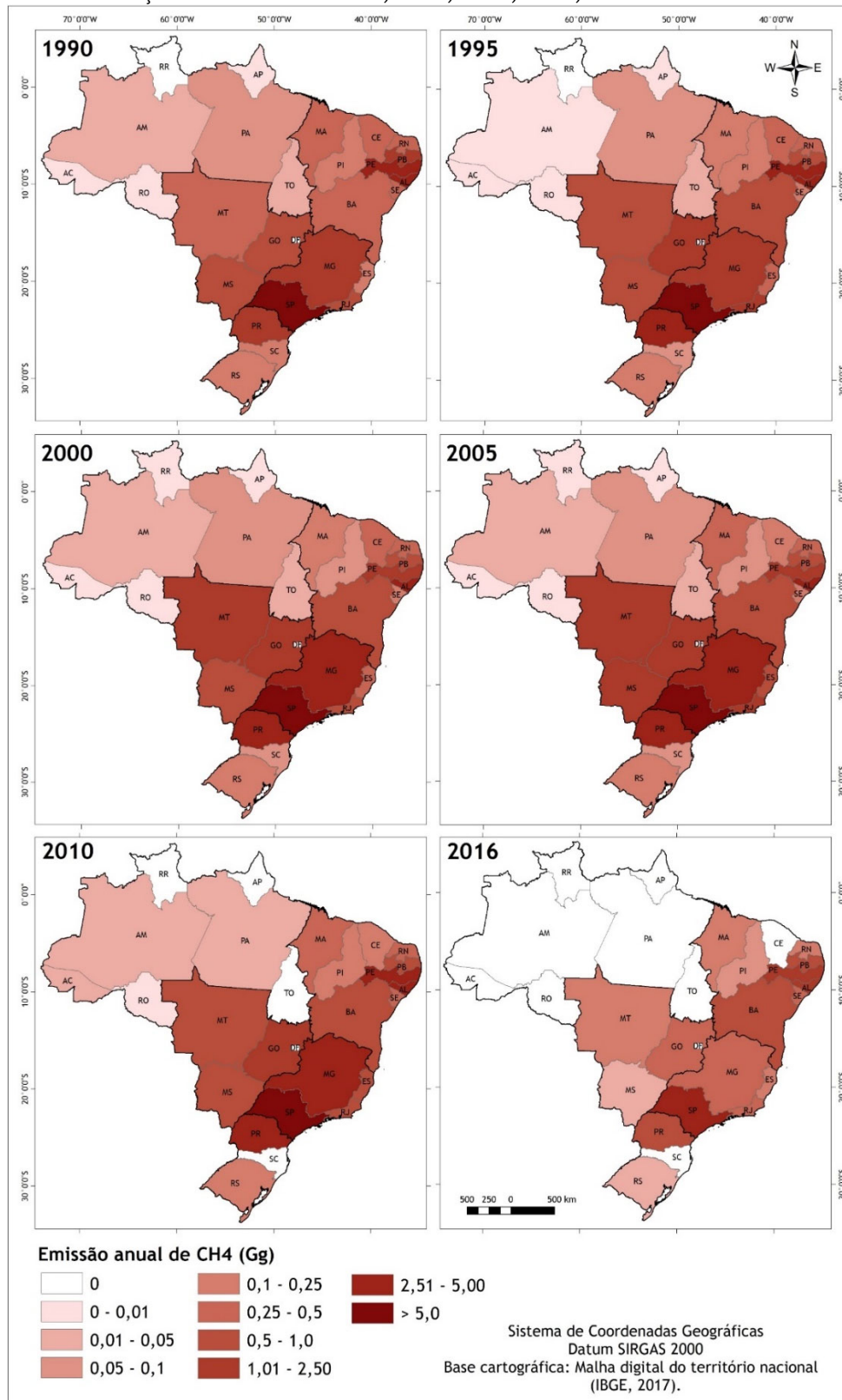
Nas figuras 27, 28, 29 e 30 são apresentadas, por meio de mapas, as emissões estaduais dos gases CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e NO<sub>x</sub>, respectivamente. As emissões dos mesmos gases em nível municipal, por região, são apresentadas do Apêndice B.5 ao Apêndice B.24.

Figura 27. Mapa das estimativas das emissões estaduais de CO decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



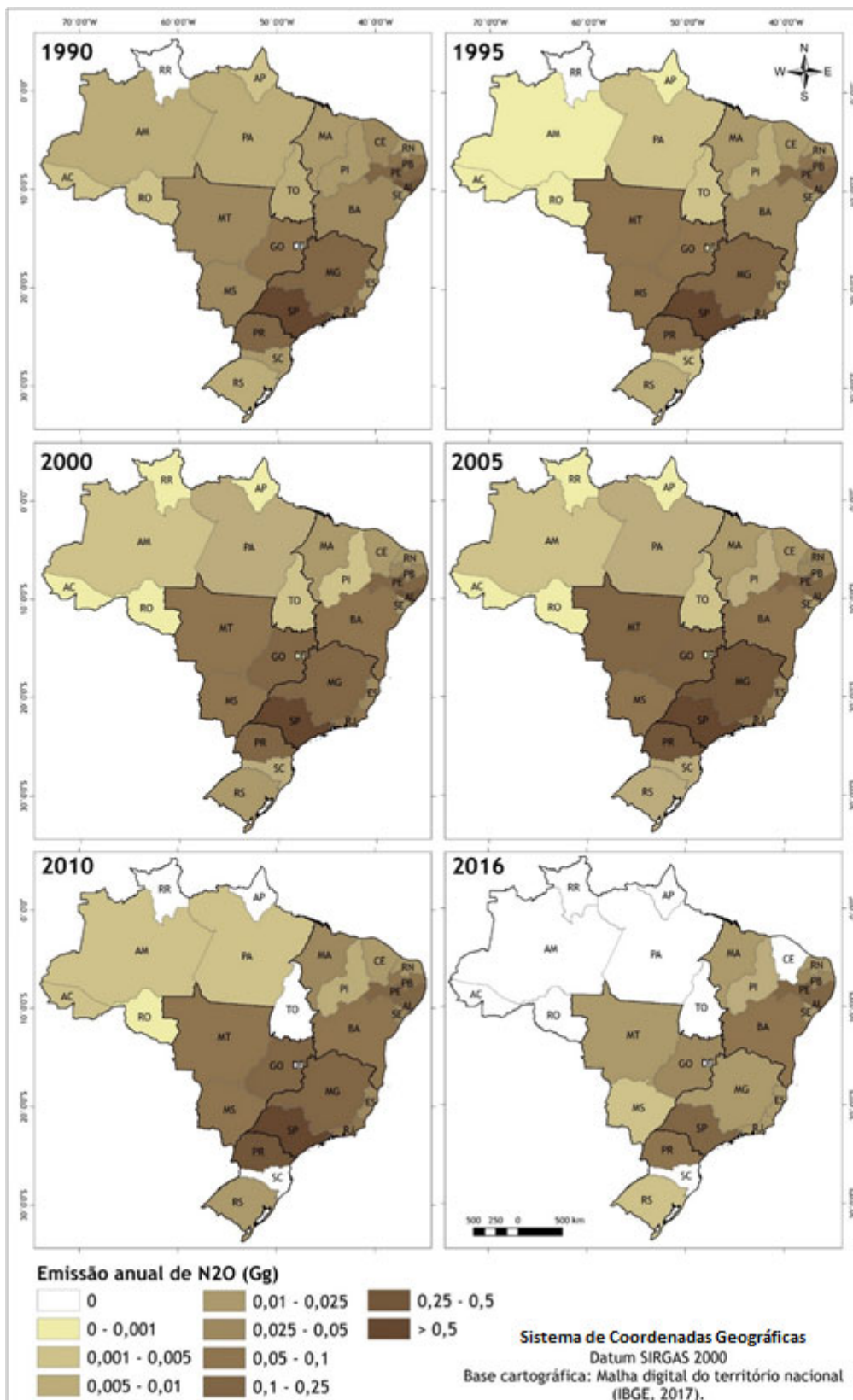
Fonte: Autor (2019).

**Figura 28.** Mapa das estimativas de emissões estaduais de CH<sub>4</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



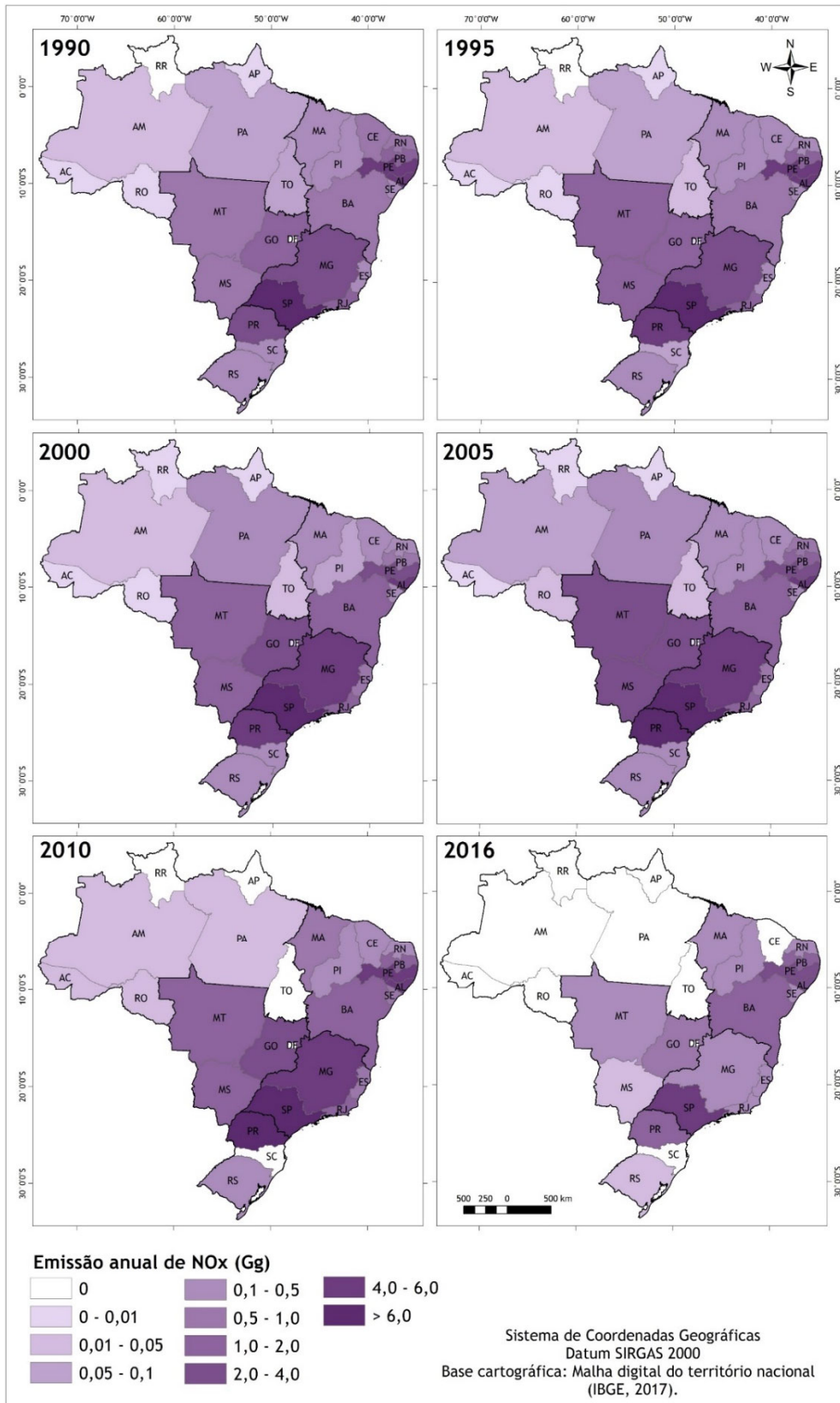
Fonte: Autor (2019).

**Figura 29.** Mapa das estimativas de emissões estaduais de N<sub>2</sub>O decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



Fonte: Autor (2019).

**Figura 30.** Mapa das estimativas de emissões estaduais de NO<sub>x</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



Fonte: Autor (2019).

## 4. Diferenças em relação ao Terceiro Inventário

A adoção de fatores de emissão específicos para cana-de-açúcar para os gases CO, CH<sub>4</sub> e NO<sub>x</sub> possibilitou estimar valores mais realistas do que os apresentados no Terceiro Inventário (MCTI, 2015), o qual adotou valores *default* para fatores de emissão, superestimando as estimativas (Tabela 15).

Outra mudança foi o emprego de valores de relação palhiço/colmo regionalizados por unidades federativas, sendo que no Terceiro Inventário foi utilizado um único valor para todo o país.

Além disso, com a espacialização dos dados, foi possível realizar uma desagregação em nível municipal das estimativas de emissões, diferentemente do Terceiro Inventário, que realizou as estimativas em nível estadual.

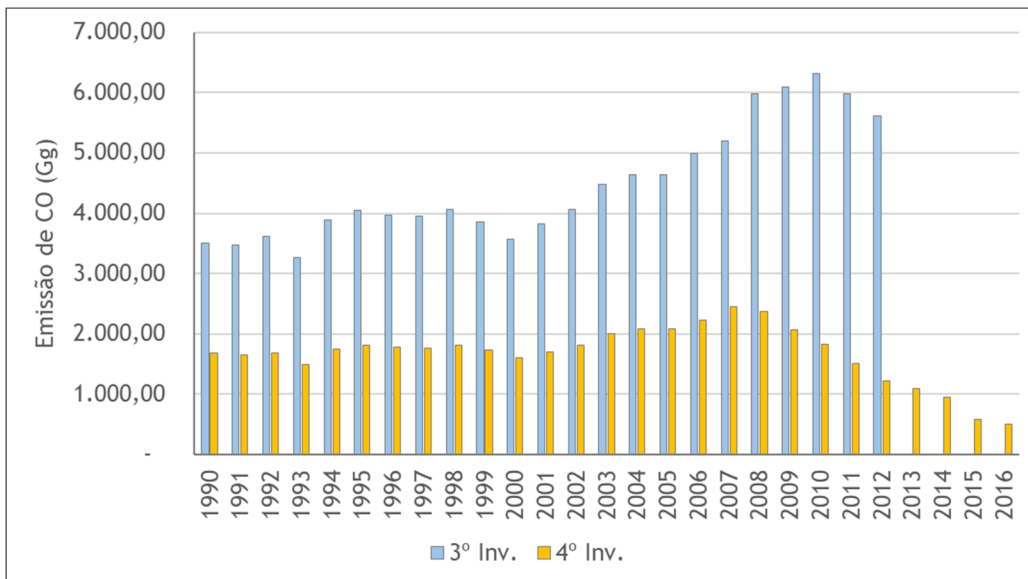
Na Tabela 15 são apresentadas as diferenças entre os dados, parâmetros e fatores empregados no Terceiro e Quarto Inventários .

Nas Figuras 31, 32, 33 e 34 são apresentadas, respectivamente, as estimativas de emissão para os GEE CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e NO<sub>x</sub> apresentadas no Terceiro e Quarto Inventários.

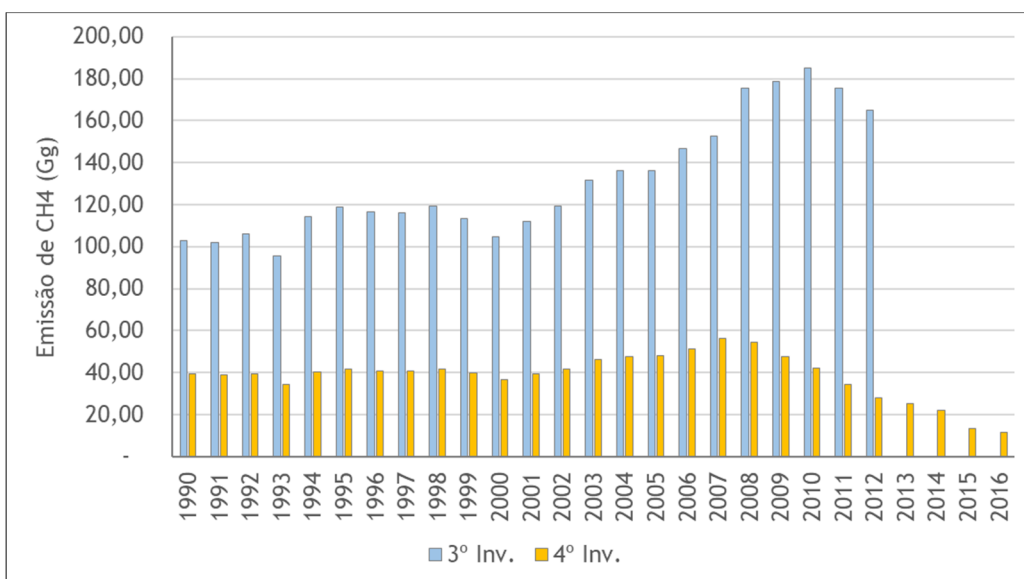
Tabela 15. Diferença entre os dados, parâmetros e fatores empregados no Terceiro e Quarto Inventários.

Dado/fator/ parâmetro	Especificações		Terceiro Inventário		Quarto Inventário		Impacto em %
	Símbolo	Unid. Medida	Valor	Fonte	Valor	Fonte	
Massa disponível para combustão	MB	t/ha	Valor específico para cada estado e ano de referência	IBGE (2013) <sup>2</sup> ; Hassuani <i>et al.</i> (2005) <sup>4</sup> ; Tasso Júnior <i>et al.</i> (2011) <sup>4</sup>	Valor específico para cada município e ano de referência <sup>1</sup>	IBGE (2018) <sup>2</sup> ; Braga <i>et al.</i> (2017) <sup>3</sup> ; Ridesa (2018) <sup>3</sup> ; Hassuani <i>et al.</i> (2005) <sup>4</sup> ; Franco <i>et al.</i> (2007) <sup>4</sup> ; Tasso Junior <i>et al.</i> (2011) <sup>4</sup> ; Marques e Pinto (2013) <sup>4</sup> ; e Ivo <i>et al.</i> (2015) <sup>4</sup> .	-
Fator de combustão	Cf	-	0,8	IPCC (2006)	0,8	IPCC (2006)	-
Fator de emissão	CH <sub>4</sub>	g/kg de matéria seca queimada	2,7	Andreae e Merlet (2001)	0,933	Yokelson <i>et al.</i> (2008)	-65
	CO		92		40,433	Yokelson <i>et al.</i> (2008); Lopes e Carvalho (2009); e França <i>et al.</i> (2012)	-56
	NO <sub>x</sub>		2,5		1,5	França <i>et al.</i> (2012)	-40
	N <sub>2</sub> O		0,07		0,07	Andreae e Merlet (2001)	-

**Figura 31.** Estimativas de emissão de CO apresentadas no Terceiro e Quarto Inventários.

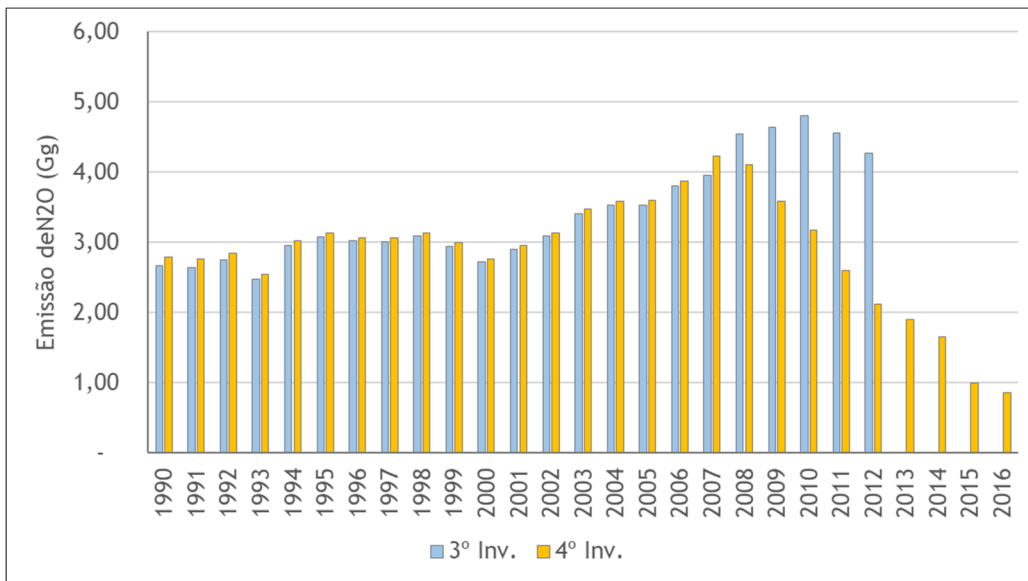


**Figura 32.** Estimativas de emissão de CH<sub>4</sub> apresentadas no Terceiro e Quarto Inventários.

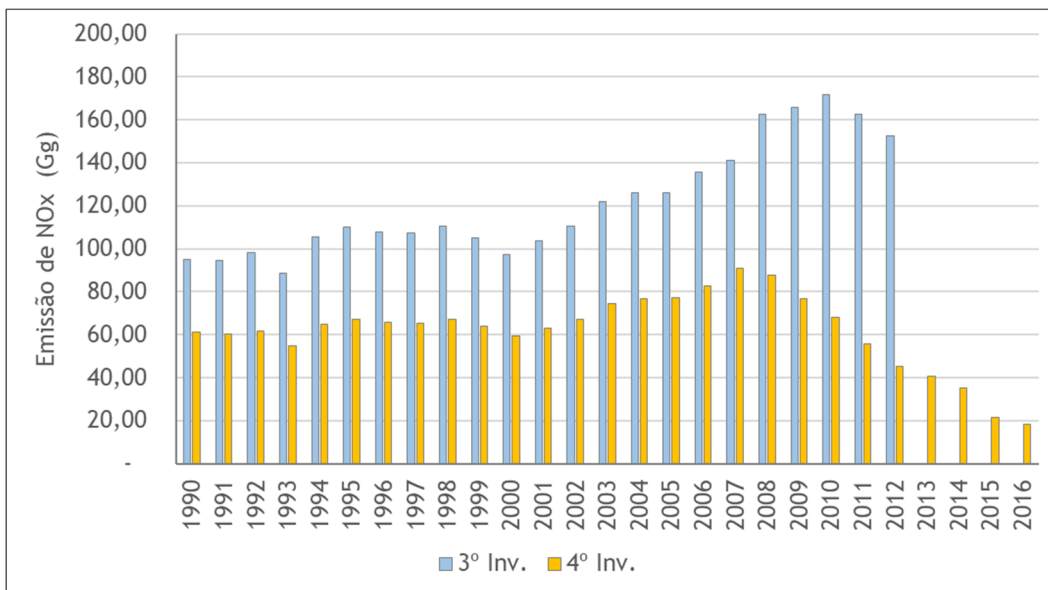




**Figura 33.** Estimativas de emissão de N<sub>2</sub>O apresentadas no Terceiro e Quarto Inventários.



**Figura 34.** Estimativas de emissão de NO<sub>x</sub> apresentadas no Terceiro e Quarto Inventários.



## 5. Análise de incerteza

O cálculo das incertezas é uma etapa importante de um inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Informações de incertezas possibilitam discutir e validar as estimativas do inventário e também podem ajudar a aperfeiçoar os esforços para melhorar a precisão e orientar as decisões sobre a escolha da metodologia.

Os inventários nacionais, elaborados conforme as diretrizes do IPCC 2006, contêm várias formas de se estimar as emissões de GEE, refletindo em diversidade de medidas e de dados sobre as emissões. Alguns países consideram importante apenas o total emitido; enquanto outros, os detalhes por setor e categoria. Diante desse cenário complexo e com focos distintos, torna-se importante combinar os dados com o objetivo em questão, tornando possível o entendimento e a confiabilidade real das estimativas das emissões e suas partes componentes. Logo, as metodologias para representar as incertezas devem ser práticas, cientificamente defensáveis, confiáveis o suficiente para serem utilizadas em uma variedade de categorias e fontes e apresentadas de maneira compreensível para usuários não especializados em inventários.

Em uma situação ideal, as estimativas de emissões e suas respectivas incertezas seriam derivadas de dados levantados de fontes específicas. Entretanto, não é aplicável medir todas as fontes de emissão dessa forma, assim as estimativas são constantemente baseadas nas características específicas de cada fonte. Isso gera incertezas adicionais, pois supõe-se que essas fontes se comportam, em média, como as fontes que foram medidas.

Este item tem como objetivo apresentar os métodos adotados para o cálculo das incertezas associadas aos dados de atividade, fatores de emissão (CO) e relação palhiço/colmo no setor de queima de resíduos agrícolas. Ressalta-se que, devido à ausência de informação disponível sobre as incertezas dos fatores de emissão, não foi possível realizar a análise de incerteza da emissão de GEE.

### 5.1 Metodologia

Para os cálculos das incertezas foram utilizados dois conceitos estatísticos principais:

- A função densidade de probabilidade (PDFs).
- Os limites de confiança.

De maneira simples, a função densidade de probabilidade descreve a faixa e a probabilidade relativa de valores prováveis. Os limites de confiança fornecem a faixa dentro da qual o valor subjacente de uma quantidade incerta é pensada para medir uma probabilidade específica. Esse

intervalo denomina-se intervalo de confiança. As diretrizes do IPCC sugerem o uso de um intervalo de confiança de 95%, que é o intervalo com 95% de probabilidade de conter o valor verdadeiro conhecido.

No setor de queima de resíduos agrícolas, não foi possível realizar a análise de incerteza da emissão de GEE devido à ausência de informação sobre as incertezas dos fatores de emissão, visto que apenas para o CO havia disponibilidade de dados. Dessa forma, foi realizada a análise de incertezas apenas para os dados de atividade, para relação palhiço/colmo, e para a incerteza associada ao fator de emissão do CO. Para cada variável foi desenvolvida sua respectiva PDF e determinado o intervalo de confiança de 95%, sendo a incerteza representada como o desvio-padrão.

Conforme descrito por Cullen e Frey (1999), havendo três ou mais dados e/ou desde que os dados sejam uma amostra representativa aleatória da quantidade de interesse, é possível utilizar técnicas estatísticas para estimar valores dos parâmetros de distribuição de dois parâmetros (ex.: normal). Dessa forma, utilizou-se essa premissa para poder descrever a variabilidade no conjunto de dados.

Contudo, foi necessário um julgamento na seleção de uma distribuição paramétrica apropriada para caber em um conjunto de dados muito pequeno. Em situações em que o coeficiente de variação (CV) foi inferior a 30%, uma distribuição normal pode ser uma suposição razoável (ROBINSON, 1984).

### **5.1.1 Dados de atividade**

Os dados de atividade para as emissões de cana-de-açúcar correspondem à área colhida que é submetida a queima. No Brasil, apenas a CONAB tem gerado dados que permitem estimar a proporção da área cultivada com cana-de-açúcar colhida com queima de sua biomassa, o que impossibilita o cálculo da incerteza associada. Dessa forma, optou-se por estimar as incertezas associadas à área total cultivada e assumir essa incerteza para a área colhida com queima. Nesse sentido, o Brasil dispõe atualmente de três fontes de dados: IBGE (PAM), CONAB e MapBiomas. Os dados do IBGE e do MapBiomas apresentam séries históricas de 1990 até 2018 e de 1985 até 2018, respectivamente, as quais contemplam todo o período dos inventários nacionais de GEE. Já os dados do CONAB apresentam série a partir de 2005.

Dessa maneira, o cálculo das incertezas dos dados de atividade foi realizado considerando o período de 2005 a 2016 e levando em consideração os dados do IBGE, MapBiomas e CONAB.

### 5.1.2 Fatores de emissão e relação palhiço/colmo

Para os fatores de emissão, apenas o CO possui mais de dois dados disponíveis, conforme pode ser observado na Tabela 13. Dessa forma, apenas para esse gás foi possível realizar a análise de incerteza. Já para os dados da relação palhiço/colmo há uma substancial disponibilidade de dados resultado dos trabalhos desenvolvidos pela RIDESA e IAC (Tabela 11). Dessa forma, foi possível calcular a incerteza geral para esse parâmetro.

## 5.2 Resultados

### 5.2.1 Incerteza dos dados de atividade

Na Tabela 16 são apresentadas as incertezas dos dados de atividade para os anos compreendidos no período de 2005 a 2016. Os resultados demonstram que a incerteza associada à área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil varia entre  $\pm 19,15\%$  em 2005 e  $\pm 8,92\%$  em 2016, sendo que para todo o período a incerteza média foi de  $12,6\%$  ( $\pm 3,4$ ), dentro de um intervalo de confiança de 95%. Fica evidente também que a incerteza apresenta uma tendência significativa de redução com o passar do tempo, indicando que a variação entre os dados das diferentes fontes está diminuindo, com destaque para os dados do MapBiomass, os quais se aproximam das demais fontes com o tempo. Esses resultados demonstram que a incerteza para a área plantada no Brasil é baixa, porém é necessário se envidar esforços para gerar informações que permitam avaliar a incerteza associada diretamente às áreas colhidas com queima, visto que hoje somente a CONAB produz essa informação.

**Tabela 166. Incertezas dos dados de atividade de cana-de-açúcar.**

Ano	IBGE (PAM) (ha)	CONAB (ha)	MapBiomass (ha)	Incerteza (+/- %)
2005	5.805.518,00	5.840.310,00	4.532.815,45	19,15
2006	6.355.498,00	6.163.300,00	4.893.938,59	18,96
2007	7.080.920,00	7.010.200,00	5.781.228,11	15,29
2008	8.140.089,00	7.057.900,00	6.904.677,33	12,67
2009	8.617.555,00	7.409.500,00	7.643.983,93	11,25
2010	9.076.706,00	8.056.100,00	7.935.522,93	10,40
2011	9.601.316,00	8.362.600,00	8.236.091,45	11,97
2012	9.705.388,00	8.485.000,00	8.823.983,14	9,70
2013	10.195.166,00	8.811.430,00	9.131.425,41	10,70
2014	10.419.678,00	9.004.480,00	9.798.128,09	10,09
2015	10.111.376,00	8.654.240,00	10.068.985,32	11,96
2016	10.222.915,00	9.073.720,00	10.097.212,62	8,92

### 5.2.2 Incerteza dos fatores de emissão

Apenas para o CO existe a disponibilidade de três valores de fator de emissão (Tabela 17), logo, apenas para esse gás foi possível realizar a análise de incerteza. Essa carência de informação sobre os fatores de emissão dos demais gases foi o que impediu realizar a análise de incertezas para a emissão de GEE no setor de queima de resíduos agrícolas. Isso evidencia também a necessidade do desenvolvimento de estudos voltados a derivar fatores de emissão devido à queima de resíduos da cana-de-açúcar no Brasil.

**Tabela 177. Incertezas dos fatores de emissão de CO.**

Referência	Tipo de biomassa queimada	CO
Yokelson <i>et al.</i> (2008)	Cana-de-açúcar	28,3
Lopes e Carvalho (2009)	Cana-de-açúcar	28
França <i>et al.</i> (2012)	Cana-de-açúcar	65
Incerteza (+/- %)		<b>72,93</b>

### 5.2.3 Incerteza da relação palhiço/colmo

Diferentemente dos fatores de emissão, para os dados da relação entre palhiço e colmo, existe no Brasil uma significativa disponibilidade de dados, conforme pode ser observado na Tabela 18. Além da quantidade, é importante ressaltar que os dados são provenientes das principais variedades de cana-de-açúcar cultivadas no país e distribuídos nos principais estados produtores, o que confere mais representatividade e consistência aos dados. O resultado é que a incerteza média associada à relação palhiço/colmo é de apenas  $\pm 5,82\%$  com um intervalo de confiança de 95%.

**Tabela 18. Incertezas dos dados de relação palhiço/colmo.**

Estado	IAC	Ridesa	Média
AL	-	0,172	0,172
ES	0,193	-	0,193
GO	0,185	-	0,185
MA	-	0,179	0,179
MG	0,184	0,185	0,185
MS	0,183	0,185	0,184
MT	0,193	-	0,193
PB	-	0,173	0,173
PE	-	0,175	0,175
PI	-	0,179	0,179

PR	0,192	-	0,192
RN	-	0,173	0,173
SP	0,183	0,187	0,185
<b>Incerteza (+/- %)</b>			<b>5,82</b>

## 6. Referências Bibliográficas

ALAGOAS. **Instrução Normativa IMA/AL nº 02/2017**, de 16 de agosto de 2017. Disponível em: [www.ima.al.gov.br/wp-content/uploads/2017/11/IN-N%C2%BA.-02-2017-Queima-Controlada.pdf](http://www.ima.al.gov.br/wp-content/uploads/2017/11/IN-N%C2%BA.-02-2017-Queima-Controlada.pdf). Acesso em: 6 set. 2018.

ALAGOAS. **Lei nº 7454/2013**, de 19 de março de 2013. Disponível em: [www.ima.al.gov.br/wp-content/uploads/2015/03/Lei-N%C2%BA-7454\\_2013.pdf](http://www.ima.al.gov.br/wp-content/uploads/2015/03/Lei-N%C2%BA-7454_2013.pdf). Acesso em: 6 set. 2018.

ANDREAE, M. O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 15, p. 955-966, 2001.

ASSIS, G.; STOCK, L. A.; CAMPOS, O. F. de. Sistemas de produção de leite no Brasil. Circulante 85. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2005. 12p.

BAHIA. **Decreto nº 15.180/2014**, de 2 de junho de 2014. Disponível em: <http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2014/10/DECRETO-N-15-180-DE-02-DE-JUNHO-DE-2014.pdf>. Acesso em: 6 set. 2018.

BRAGA JR., R. L. C.; LANDELL, M. G. A.; SILVA, D. N.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, T. N.; THOMAZINHO JR, J. R.; SILVA, V. H. P. **Censo varietal IAC de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil-Safra 2016/17**. Campinas: Instituto Agronômico (IAC), 2017.

BRASIL. **Decreto nº 2.661/98**, de 8 de julho de 1998. Disponível em: <http://planalto.gov.br>. Acesso em: 6 set. 2018.

BRASIL. **Lei nº 12.651/2012, de 25 de maio de 2012**. Disponível em: [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm). Acesso em: 6 set. 2018.

CARVALHO, L. C.; BUENO, R. C. O. F.; CARVALHO, M. M.; FAVORETO, A. F.; GODOY, A. F. Cana-de-açúcar e álcool combustível: histórico, sustentabilidade e segurança energética. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.9, n.16, p.530, 2013.

CEARÁ. **Lei Complementar nº 175/2017**, de 12 de dezembro de 2017. Disponível em: [www.legisweb.com.br/legislacao/?id=353652](http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=353652). Acesso em: 6 set. 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. v. 5 - Safra 2018/19 - n.1. Brasília, 2018.

CULLEN, A. C.; FREY, H. C. **Probabilistic Techniques in Exposure Assessment**. A Handbook for Dealing with Variability and Uncertainty in Models and Inputs. New York; London: Plenum Press, 1999. ISBN 0-306-45957-4.

DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A. de; BARBOSA, G. V. S. **45 Anos de Variedades RB de Cana-de-açúcar: 25 anos de RIDESA**. 1. ed. Curitiba: Graciosa, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Nota Técnica DEA 15/14 Inventário Energético de Resíduos Rurais**. Rio de Janeiro, 2014.

FAO STAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics**. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 1/8/2018.

FERNANDES, R. C.; FILHO, W. L. F. C. Espacialização temporal dos focos de queimadas e de poluentes atmosféricos (CO, CH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) em Alagoas. **Ciência e Natura**, v. 35, n. 2, p. 287-294, 2013.

FRANCO, H. C. J. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar. **Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil (STAB)**, v. 25, p. 32-36, 2007.

FRANÇA, D. A. **Emissões associadas à queima da palha da cana-de-açúcar no estado de São Paulo e seus impactos na qualidade do ar**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.

FRANÇA, D. A.; LONGO, K. M.; NETO, T. G. S.; SANTOS, J. C.; FREITAS, S. R.; RUDORFF, B. F. T.; CORTEZ, E. V.; ANSELMO, E.; CARVALHO, J. A. JR. Pre-harvest sugarcane burning: Determination of emission factors through laboratory measurements. **Atmosphere**, v. 3, n. 1, p. 164-180, 2012.

HALL, D.; WU, C.-Y.; HSU, Y.-M.; STORMER, J.; ENGLING, G.; CAPETO, K.; WANG, J.; BROWN, S.; LI, H.-W.; YU, K.-M. PAHs, carbonyls, VOCs and PM<sub>2.5</sub> emission factors for preharvest burning of Florida sugarcane. **Atmospheric Environment**, v. 55, p. 164-172, 2012.

HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I. C. **Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash**. Piracicaba: PNUD Brasil, Centro de Tecnologia Canavieira. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes - 2017**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 1 nov. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. *In*: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (eds.). **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme**. Japan: IGES, 2006.



IVO, W. D. M.; DA SILVA, E. F.; SILVA, P.; dos SANTOS; A. K. B.; do AMARAL, A. C.; SANTIAGO, A. Produção e decomposição de palhada em área de cultivo de cana-de-açúcar, nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. Embrapa Tabuleiros Costeiros-Artigo em anais de congresso (ALICE). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. 35. O solo e suas múltiplas funções: anais. Natal: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Natal. 2015.*

LIMA, M. A.; LIGO, M. A. V.; PESSOA, M. C. P. Y; NEVES, M. C.; DE CARVALHO, E. C. **Relatório de referência: Emissões de Gases de Efeito Estufa na Queima de Resíduos Agrícolas.** Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010.

LOPES, M. L. A.; CARVALHO, L. R. F. Estimativas de Emissão de Gases Provenientes da Queima de cana-de-açúcar em Escala Regional. *In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA, 32. Proceedings...* Fortaleza, 30 mai. - 2 jun. 2009.

MANZATTO, C. V. [*et al.*]. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

MARANHÃO. **Portaria SEMA nº 45/2014**, de 22 de maio de 2014. Disponível em: [www.legisweb.com.br/legislacao/?id=271021](http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=271021). Acesso em: 6 set. 2018.

MARQUES, TADEU A.; PINTO, L. Energia da biomassa de cana-de-açúcar sob influência de hidrogel, cobertura vegetal e profundidade de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 6, 2013.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES- MCTI. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - Volume III.** Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016.

MUGICA-ÁLVAREZ, V.; HERNÁNDEZ-ROSAS, F.; MAGAÑA-REYES, M.; HERRERA-MURILLO, J.; SANTIAGO-DE LA ROSA, N.; GUTIÉRREZ-ARZALUZ, M.; FIGUEROA-LARA, J. de J.; GONZÁLEZ-CARDOSO, G. Sugar cane burning emissions: Characterization and emission factors. **Atmospheric Environment**, v. 192, p. 262-272, 2018.

NOCELLI, R. C. F.; ZAMBON, V.; SILVA, O. G. M.; MORINI, M. S. C. Histórico da cana-de-açúcar no Brasil: Contribuições e importância econômica. *In: FONTANETTI, C. S.; BUENO, O. C. (org.). Cana-de-açúcar e seus impactos: uma visão acadêmica.* Bauru, SP: Canal 6, 2017. 275 p.

NYKO, D.; VALENTE, M. S.; SOARES, M.; MILANEZ, A. Y.; TANAKA, A. K. R.; RODRIGUES, A. V. P. A evolução das tecnologias agrícolas do setor sucroenergético: estagnação passageira ou crise estrutural? **BNDES Setorial, Inovação**, n. 37, p. 55-78, 2013.

OECD/FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028**. OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2019.

PACKER, A. P. C.; VILELA, V. A. A.; DEGASPARI, I. A. M.; RAMOS, N. P. **Relatório de referência: Emissões de Gases de Efeito Estufa na Queima de Resíduos Agrícolas**. Ministério da Ciência e Tecnologia, 2015.

PARAÍBA. **Decreto nº 24.419/2006**, de 23 de agosto de 2006. Disponível em: <http://oads.org.br/leis/2589.pdf>. Acesso em: 6 set. 2018.

PERNAMBUCO. **Instrução Normativa CPRH Nº 01/2013**, de 23 de agosto de 2013. Disponível em: [www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS\\_ANEXO/INSTRUCAO%20NORMATIVA%20CPRH%20N%2001.2013%20-%20Queima%20controlada.pdf](http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/INSTRUCAO%20NORMATIVA%20CPRH%20N%2001.2013%20-%20Queima%20controlada.pdf). Acesso em: 6 set. 2018.

PIAÚÍ. **Decreto nº 15.513/2014**, de 27 de janeiro de 2014. Disponível em: [www.legisweb.com.br/legislacao/?id=265066](http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=265066). Acesso em: 6 set. 2018.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO - RIDESA. **Censo Varietal Brasil - 2017/18**. Disponível em: [www.ridesa.com.br/censo-varietal](http://www.ridesa.com.br/censo-varietal). Acesso em: 1 dez. 2018.

RIO GRANDE DO NORTE. **Resolução nº 02/2008**, de 17 de julho de 2008. Disponível em: [www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao\\_urbanismo\\_e\\_meio\\_ambiente/legislacao/leg\\_estadual/leg\\_est\\_resolucoes/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CONEMA-02-2008-Rio-Grande-Norte-CANA-DE-A%C3%87.doc](http://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/legislacao/leg_estadual/leg_est_resolucoes/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CONEMA-02-2008-Rio-Grande-Norte-CANA-DE-A%C3%87.doc). Acesso em: 6 set. 2018.

ROBINSON, J. R. On Uncertainty in the Computation of Global Emissions for Biomass Burning. **Climatic Change**, v. 14, p. 243-262, 1989.

RONQUIM, C. C. **Queimada na colheita de cana-de-açúcar: impactos ambientais, sociais e econômicos**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.

SORNPOON, W.; BONNET, S.; KASEMSAP, P.; PRASERTSAK, P.; GARIVAIT, S. Estimation of emissions from sugarcane field burning in Thailand using bottom-up country-specific activity data. **Atmosphere**, v. 5, n. 3, p. 669-685, 2014.

SOUSA NETO, E. R. Fluxos de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a partir de um solo cultivado com cana-de-açúcar sob diversos tratos culturais. Tese (doutorado em ciências na área de química na agricultura e no ambiente) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 84 p., 2012.

STOCKWELL, C. E.; YOKELSON, R. J.; KREIDENWEIS, S. M.; ROBINSON, A. L.; DEMOTT, P. J.; SULLIVAN, R. C.; REARDON, J.; RYAN, K. C.; GRIFFITH, D. W. T.; STEVENS, L. Trace gas emissions from combustion of peat, crop residue, domestic biofuels, grasses, and other fuels: configuration and Fourier transform infrared (FTIR) component of the fourth Fire Lab at Missoula Experiment (FLAME-4). *Atmos. Chem. Phys.*, v. 14, p. 9727-9754, 2014.

TASSO JÚNIOR, L. C.; SILVA NETO, H. F.; MARQUES, M. O.; CAMILOTTI, F. Desempenho de cultivares de cana-de-açúcar nas condições de cana-planta de ano e meio (safra 2008/2009). *Ciência e Tecnologia: FATEC-JB, Jaboticabal*, v. 2, n. 1, p. 14-26, 2011. ISSN 2178-9436.

TOCANTINS. **Instrução Normativa NATURATINS nº 1/2017**, de 10 de maio de 2017. Disponível em: [www.legisweb.com.br/legislacao/?id=343556](http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=343556). Acesso em: 6 set. 2018.

USEPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Methane emissions and opportunities for control**. Workshop results of Intergovernmental Panel on Climate Change. Sep. 1990.

YOKELSON, R. J.; CHRISTIAN, T. J.; KARL, T. G.; GUENTHER, A. The tropical forest and fire emissions experiment: laboratory fire measurements and synthesis of campaign data. *Atmos. Chem. Phys.*, v. 8, p. 3509-3527, 2008.

ZHANG, Y.; SHAO, M.; LIN, Y.; LUAN, S.; MAO, N.; CHEN, W.; WANG, M. Emission inventory of carbonaceous pollutants from biomass burning in the Pearl River Delta Region, China. *Atmospheric Environment*, v. 76, p. 189-199, 2013.

## **APÊNDICE A - Detalhamento metodológico**

### **A.1. DADOS DE ATIVIDADE**

Apêndice A.1.1. Dados anuais de área colhida (mil ha) de cana-de-açúcar em nível nacional, grande região e estadual, no período de 1990 a 2016.





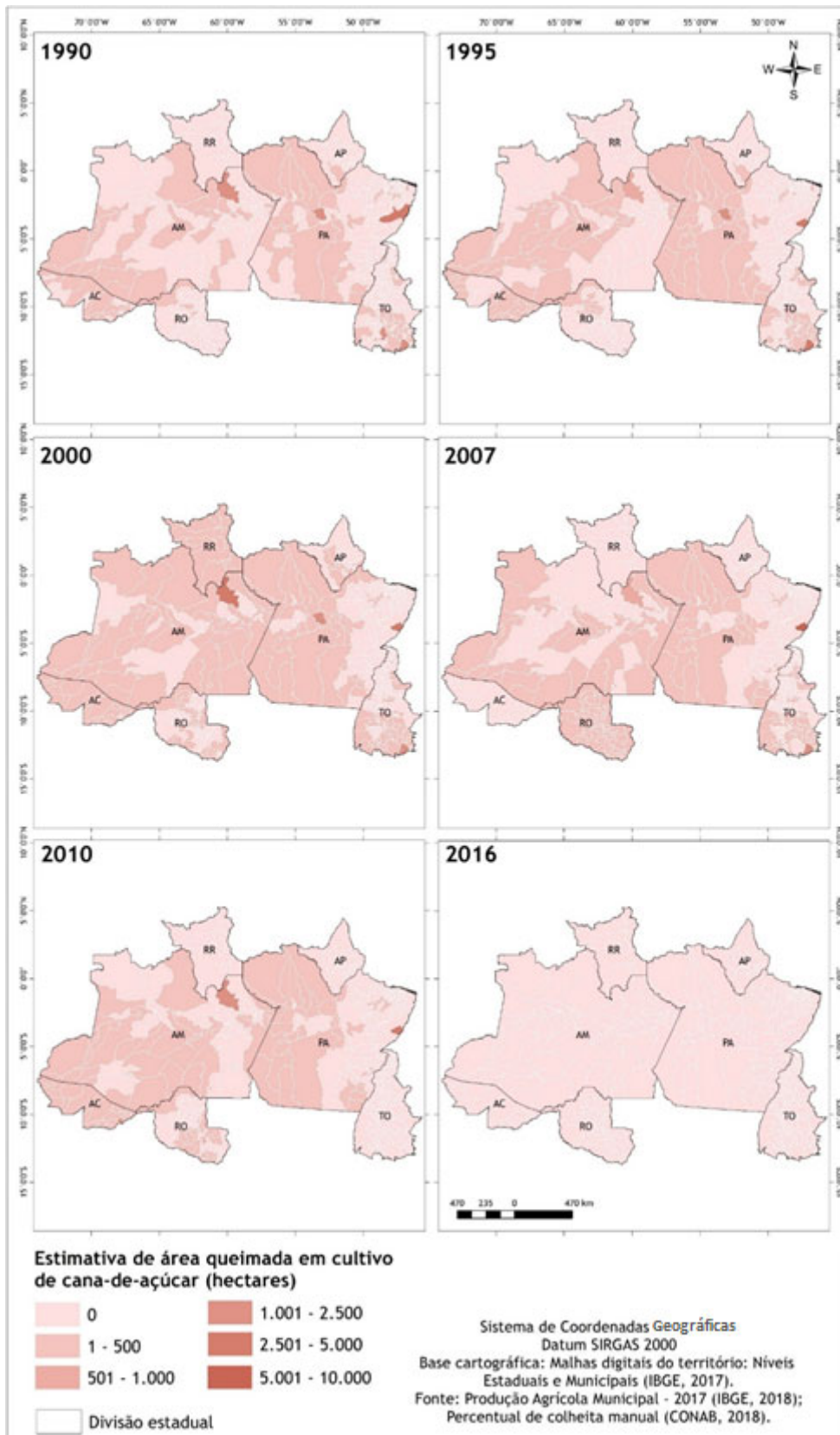






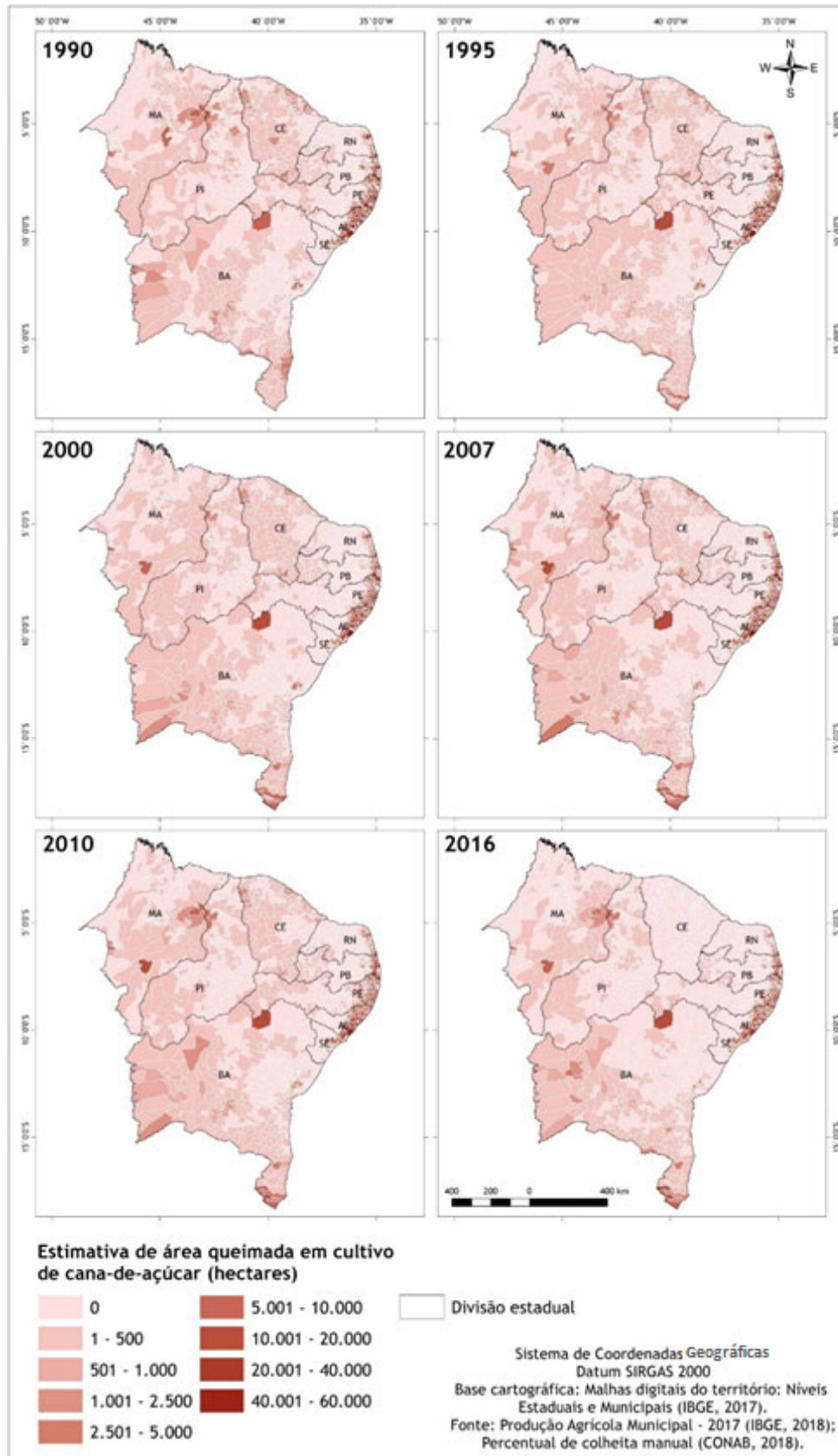


Apêndice A.1.6. Estimativa da área colhida queimada em cultivos de cana nos municípios da região Norte.



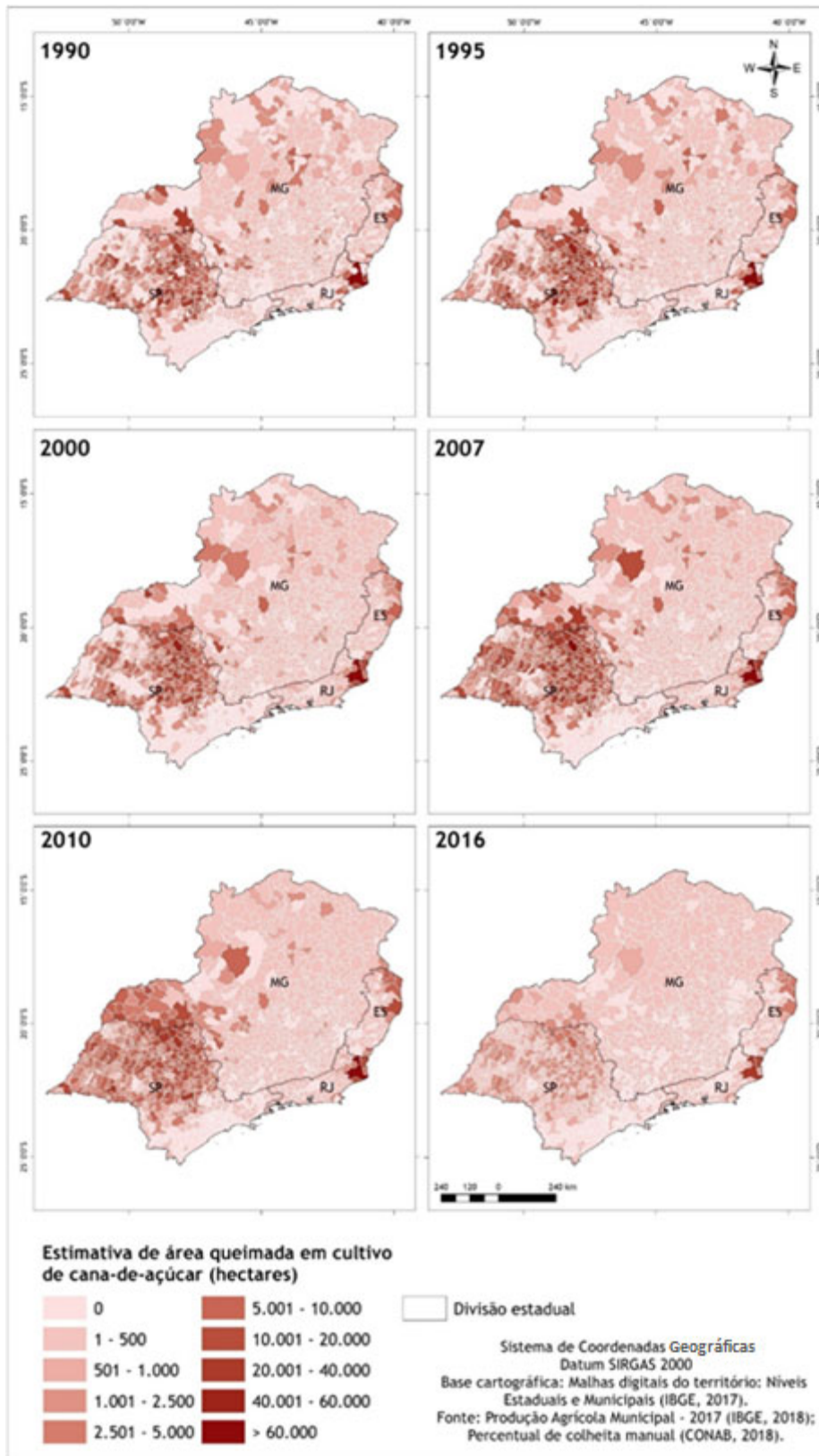
Fonte: Autor (2019).

Apêndice A.1.7. Estimativa da área colhida queimada em cultivos de cana nos municípios da região Nordeste.



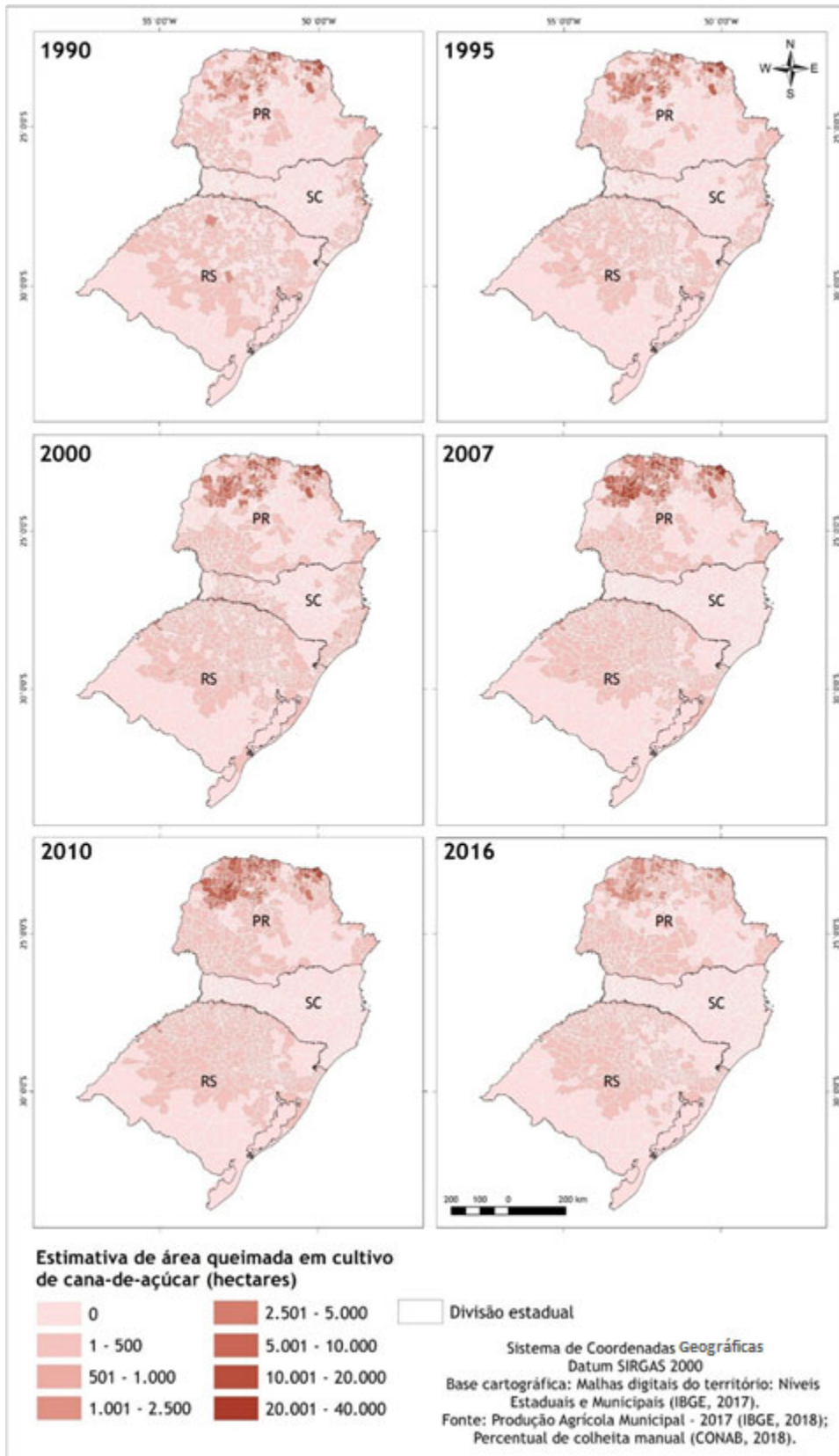
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice A.1.8.** Estimativa da área colhida queimada em cultivos de cana nos municípios da região Sudeste.



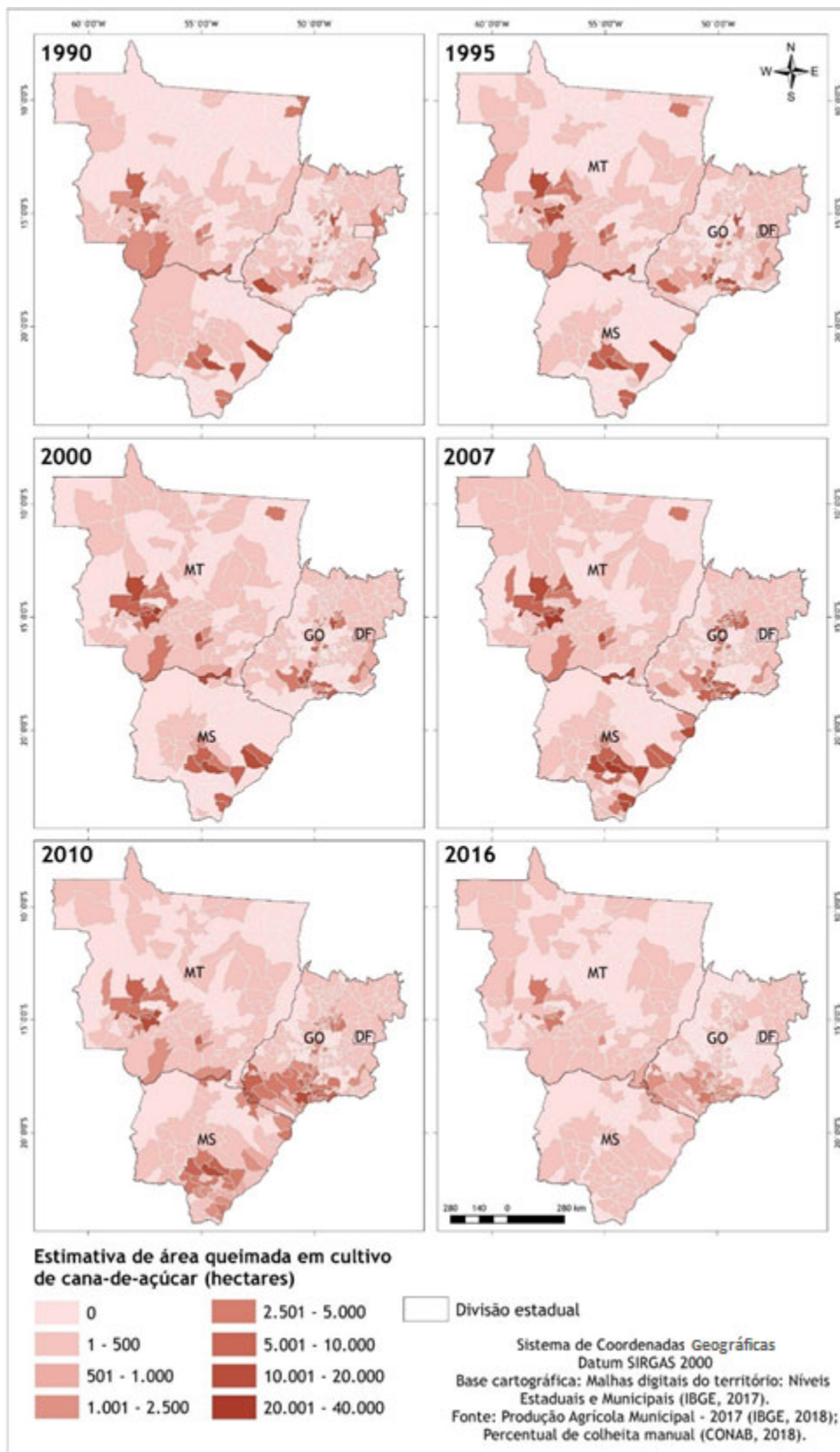
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice A.1.9.** Estimativa da área colhida queimada em cultivos de cana nos municípios da região Sul.



Fonte: Autor (2019).

**Apêndice A.1.10.** Estimativa da área colhida queimada em cultivos de cana nos municípios da região Centro-Oeste.



Fonte: Autor (2019).

## A.2. FATORES DE EMISSÃO E OUTROS PARÂMETROS

### A.2.1 RESUMO METODOLÓGICO

Apêndice A.2.1. Resumo metodológico do subsetor Queima de Resíduos Agrícolas (3.F).

Categoria de emissão		Método	Fonte de dados	
			Dados de atividade	Fator de emissão e outros parâmetros
3.F.1	Cana-de-açúcar	Tier 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Massa disponível para combustão (MB): Valor específico para cada município e ano de referência (IBGE, 2018 - Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras<sup>1</sup>)</li> <li>• Variedades cultivadas: Braga <i>et al.</i> (2017); RIDESA (2018).</li> <li>• Relação palhico/colmo: média de valores por UF: Hassuani <i>et al.</i> (2005); Franco <i>et al.</i> (2007); Tasso Junior <i>et al.</i> (2011); Marques e Pinto (2013); e Ivo <i>et al.</i> (2015).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fator de combustão (Cf): 0,8 (<i>default</i> - PCC, 2006)</li> <li>• Fator de emissão (Gef) (g/kg de matéria seca queimada): <ul style="list-style-type: none"> <li>○ CH<sub>4</sub>: 0,933 (Yokelson <i>et al.</i>, 2008)</li> <li>○ CO: 40,433 (Yokelson <i>et al.</i>, 2008); Lopes e Carvalho (2009); e França <i>et al.</i>, 2012)</li> <li>○ NO<sub>x</sub>: 1,5 (França <i>et al.</i>, 2012)</li> <li>○ N<sub>2</sub>O: 0,07 (IPCC, 2006) - Andreae e Merlet, 2001)</li> </ul> </li> </ul>
3.F.2	Algodão	Tier 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Massa disponível para combustão (MB): Valor específico para estado e ano de referência (Packer <i>et al.</i>, 2015)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fator de combustão (Cf): 0,8 (<i>default</i> - PCC, 2006).</li> <li>• Fator de emissão (Gef) (g/kg de matéria seca queimada) (<i>default</i> - PCC, 2006): <ul style="list-style-type: none"> <li>○ CH<sub>4</sub>: 2,7 (Andreae; Merlet, 2001);</li> <li>○ CO: 92 (Andreae; Merlet, 2001);</li> <li>○ NO<sub>x</sub>: 1,5 (França <i>et al.</i>, 2012);</li> <li>○ N<sub>2</sub>O: 0,07 (Andreae; Merlet (2001).</li> </ul> </li> </ul>



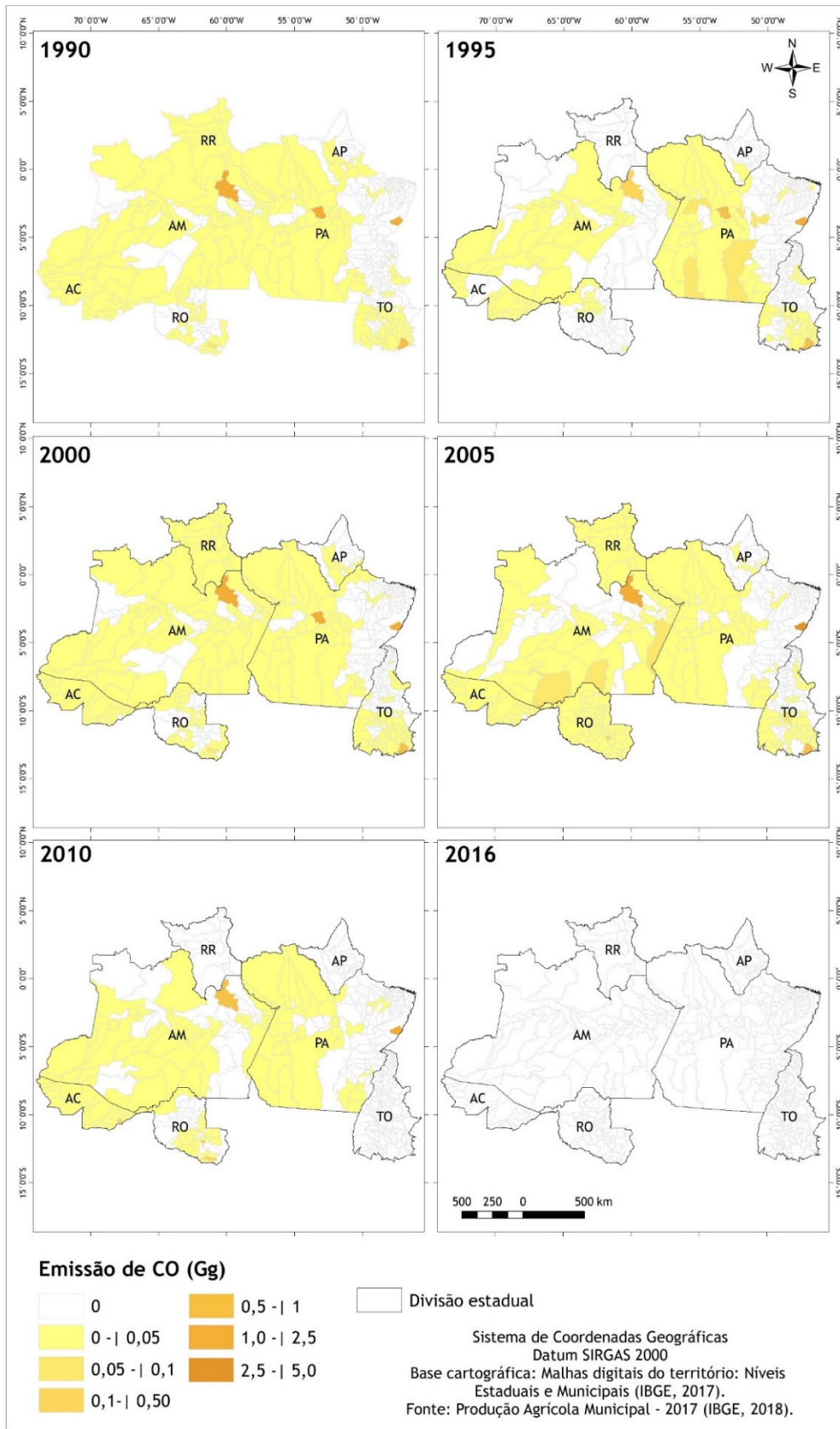






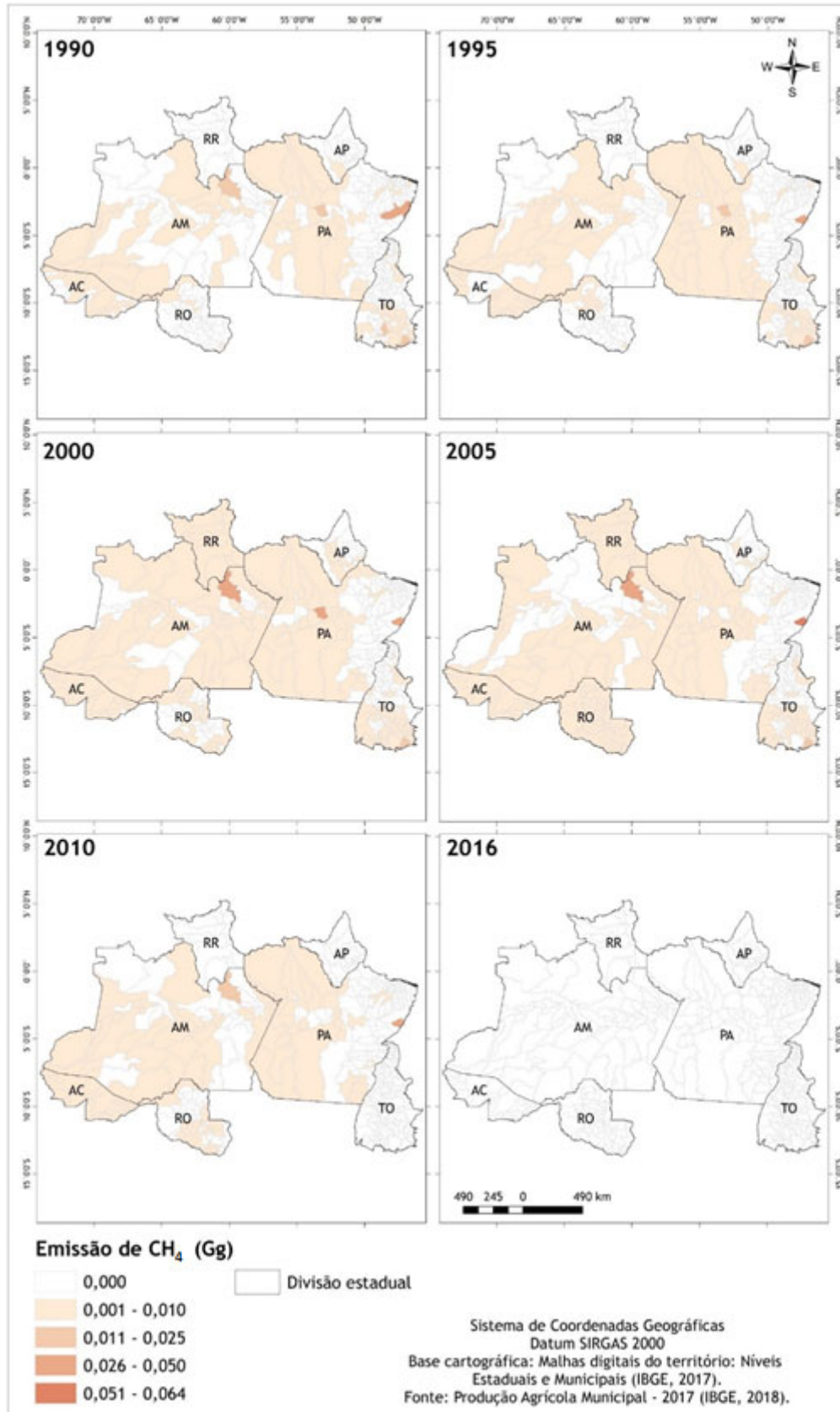


**Apêndice 14.** Mapa das estimativas de emissões municipais de CO decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Norte nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



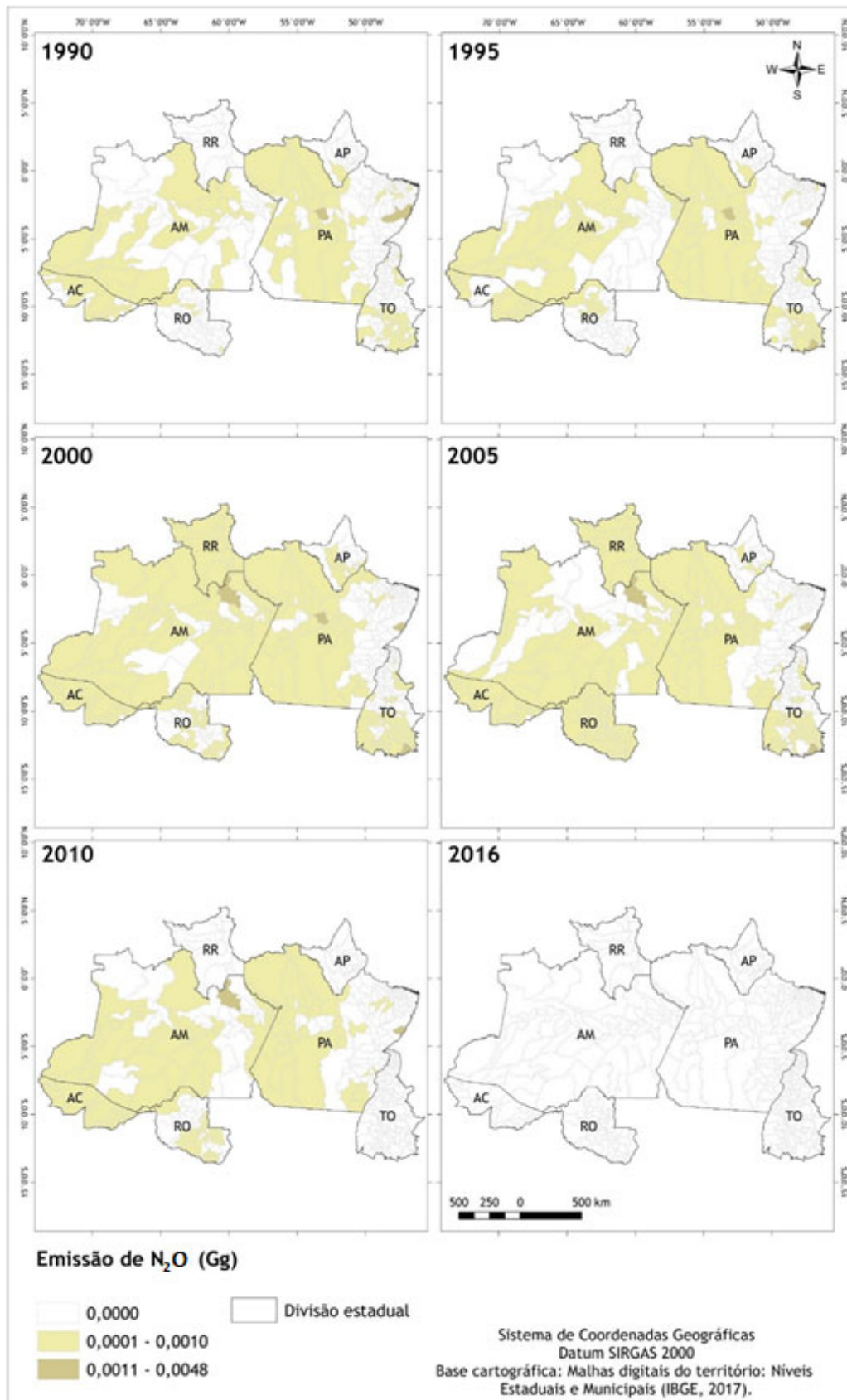
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 15.** Mapa das estimativas de emissões municipais de CH<sub>4</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Norte nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



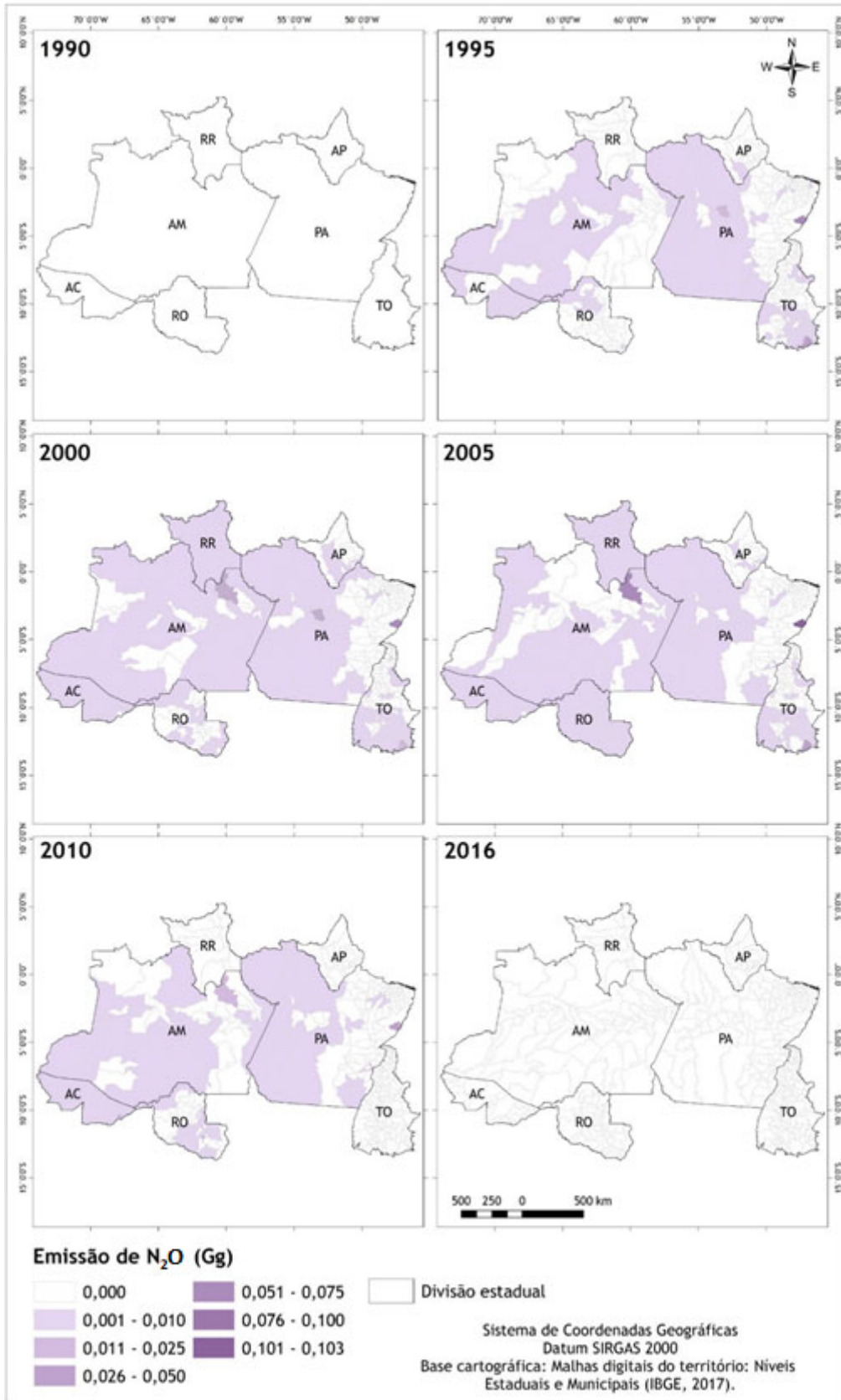
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 16.** Mapa das estimativas de emissões municipais de N<sub>2</sub>O decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Norte nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



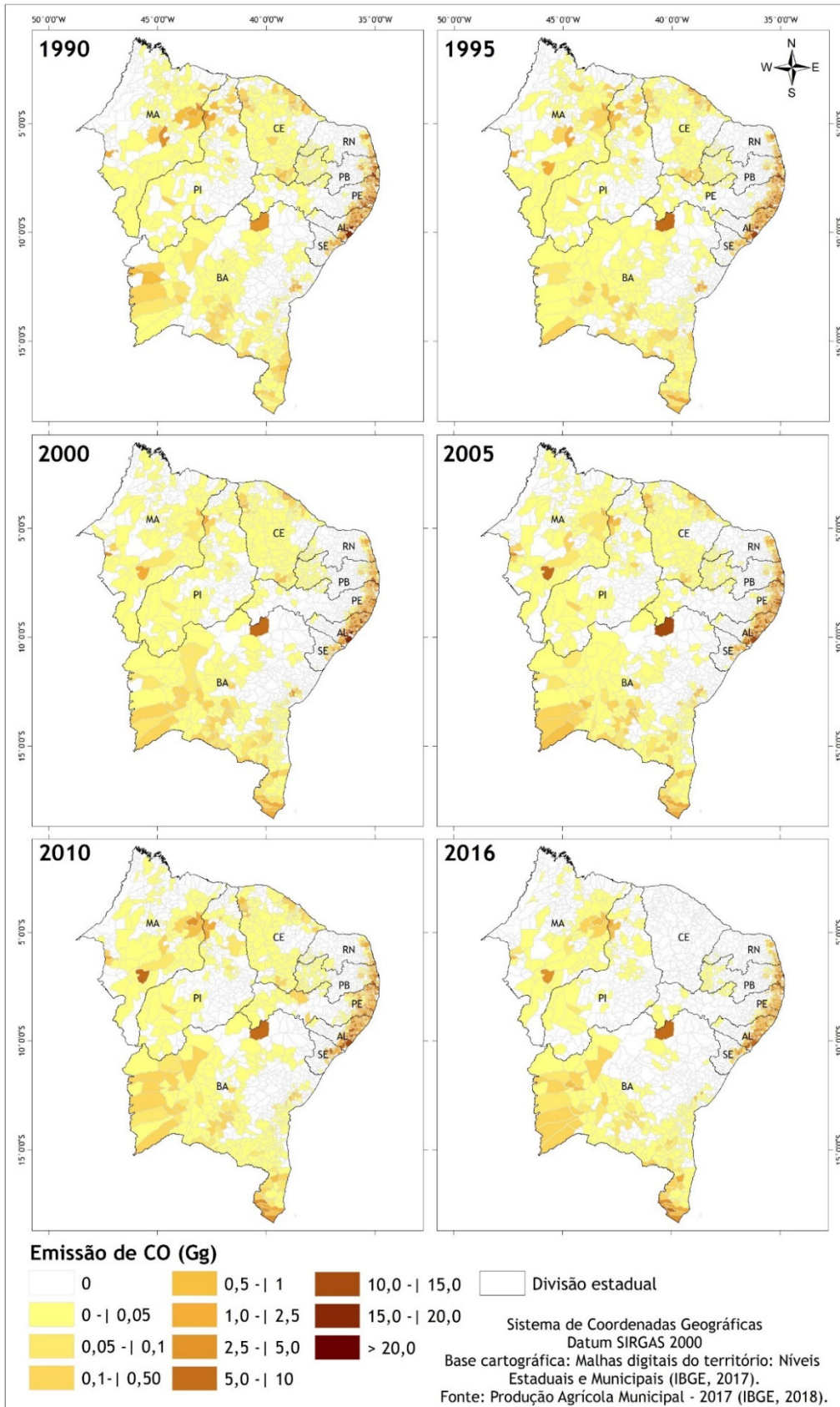
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice B17.** Mapa das estimativas de emissões municipais de  $\text{NO}_x$  decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Norte nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



Fonte: Autor (2019).

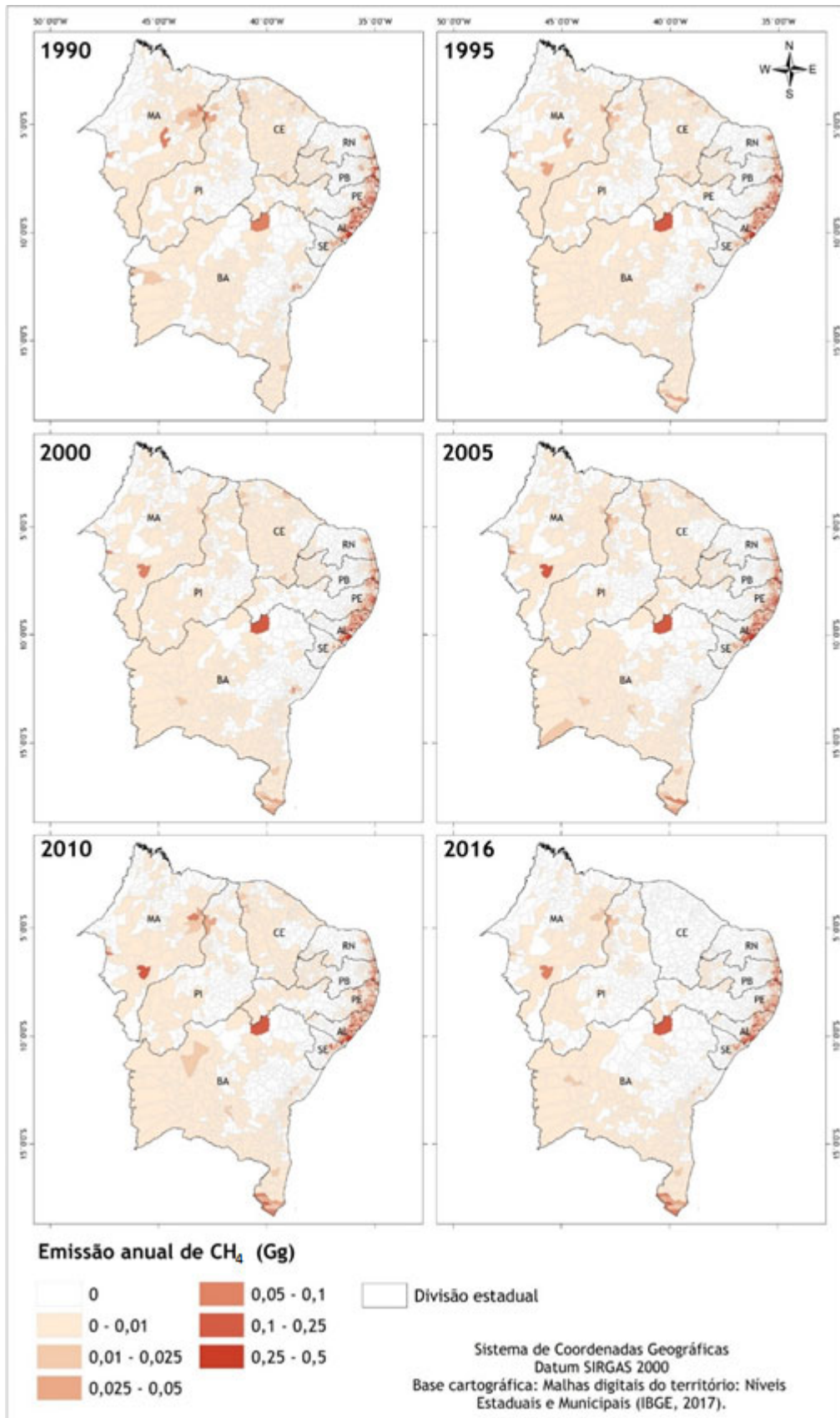
**Apêndice 18.** Mapa das estimativas de emissões municipais de CO decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Nordeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



Fonte: Autor (2019).

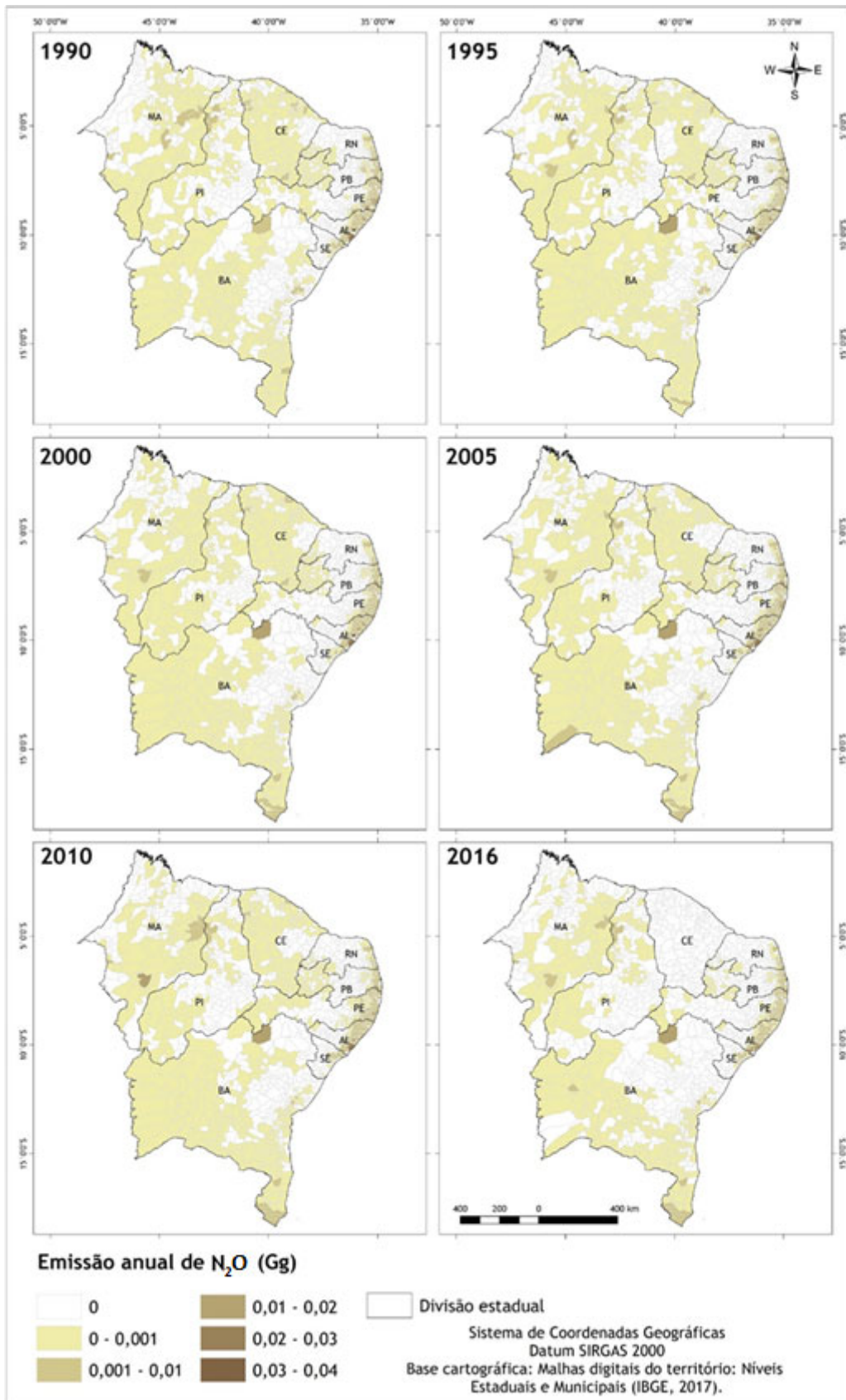


**Apêndice B.10.** Mapa das estimativas de emissões municipais de CH<sub>4</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Nordeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



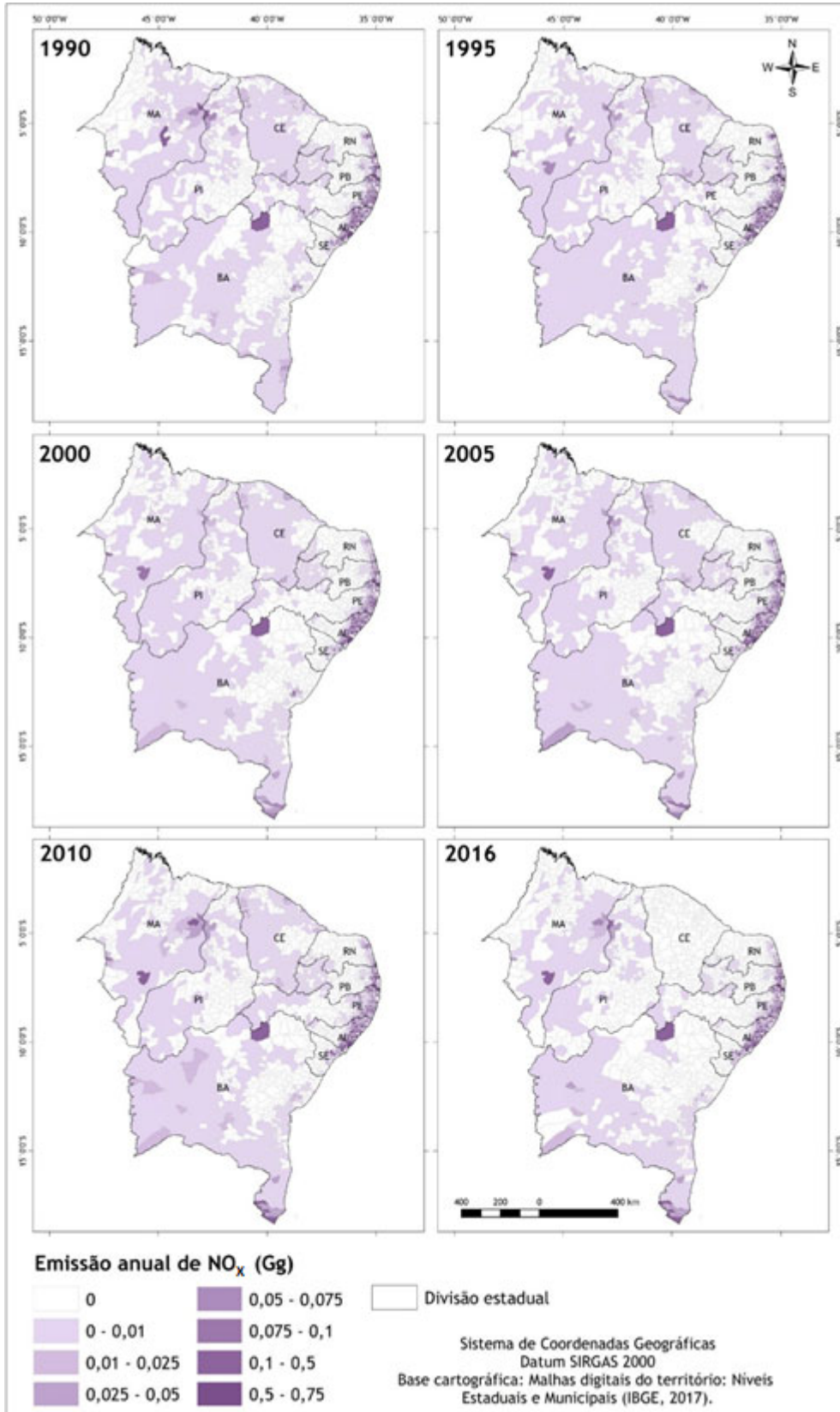
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 19.** Mapa das estimativas de emissões municipais de NO<sub>2</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Nordeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



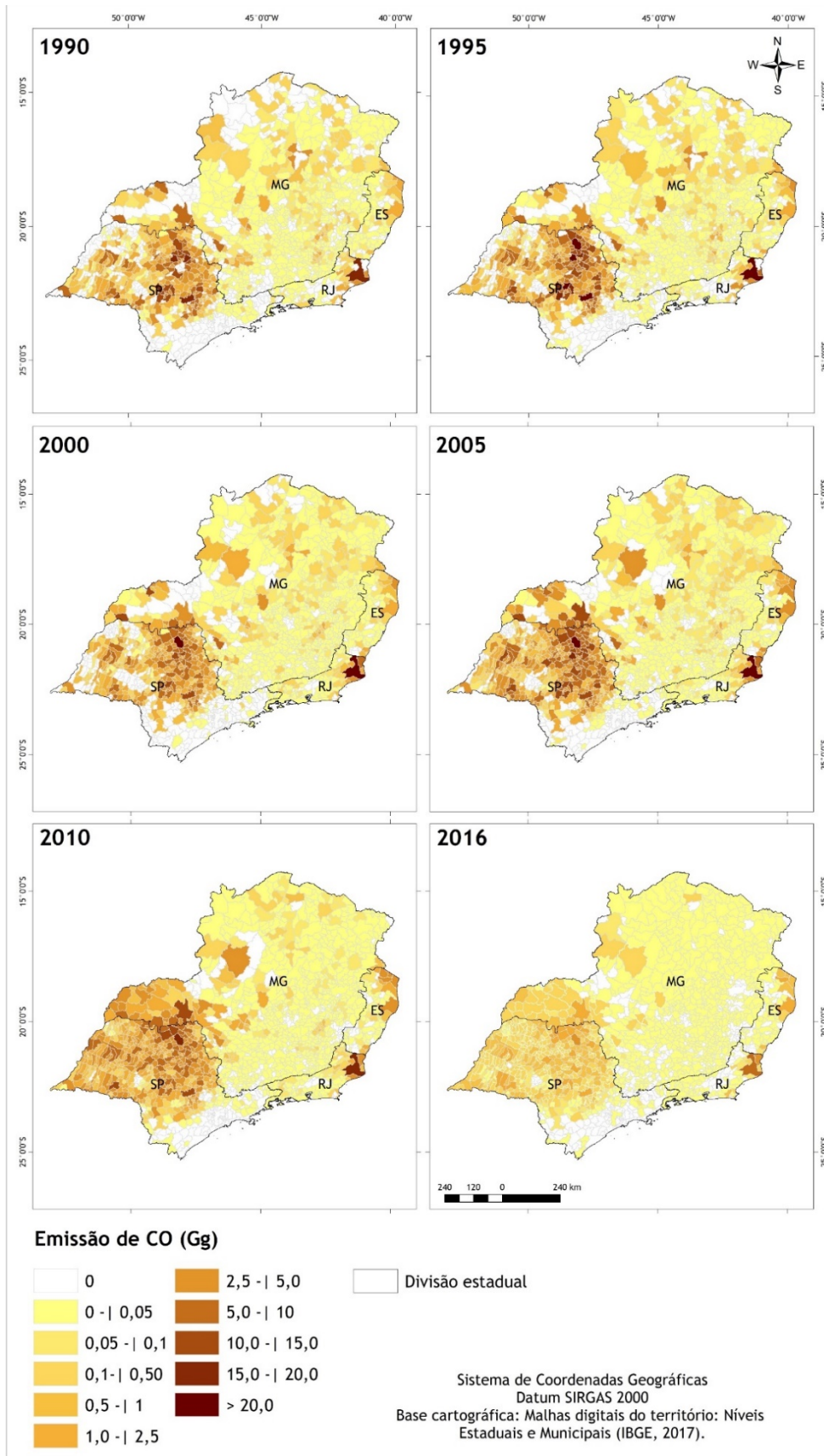
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 20.** Mapa das estimativas de emissões municipais de NO<sub>x</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Nordeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



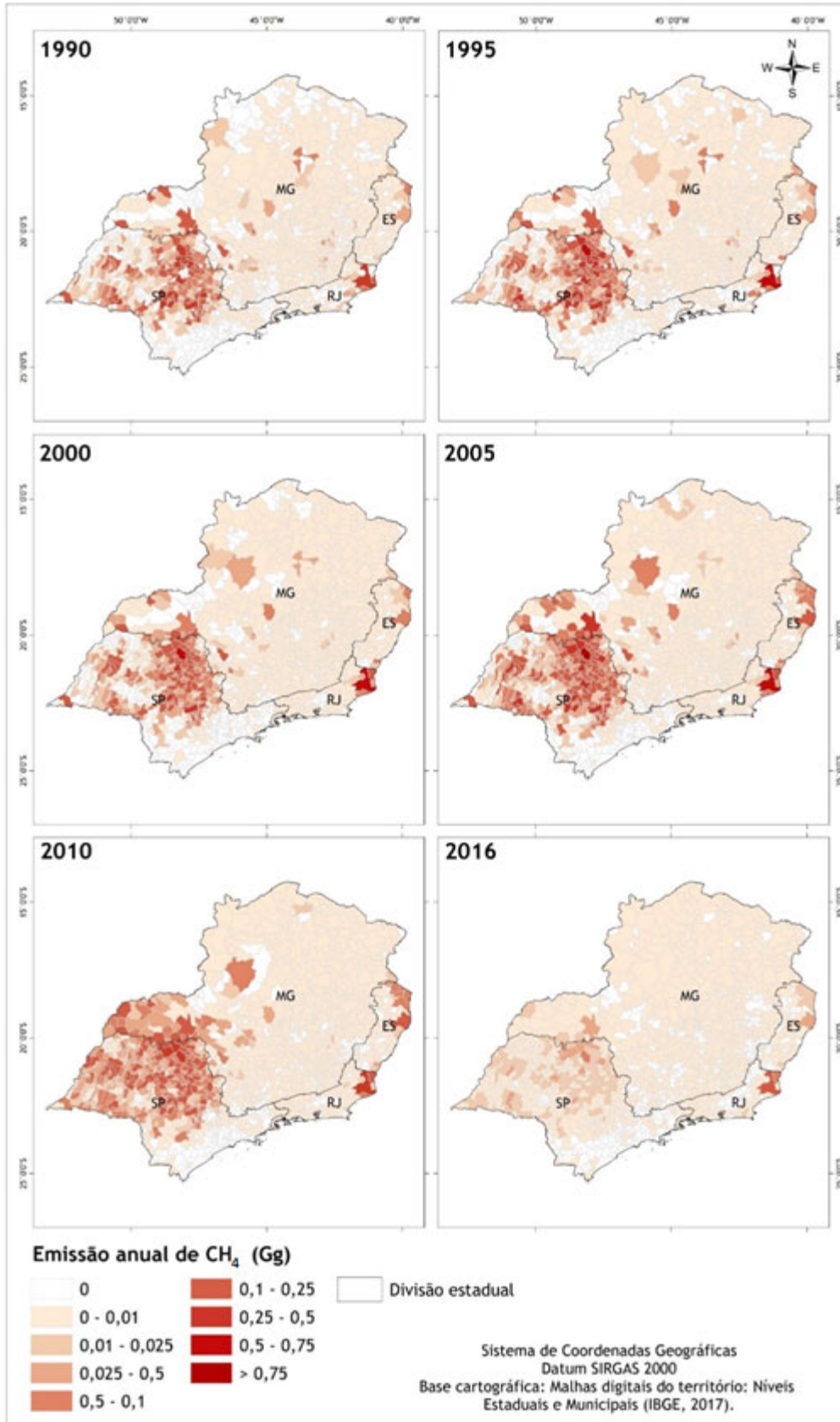
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 21.** Mapa das estimativas de emissões municipais de CO decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sudeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



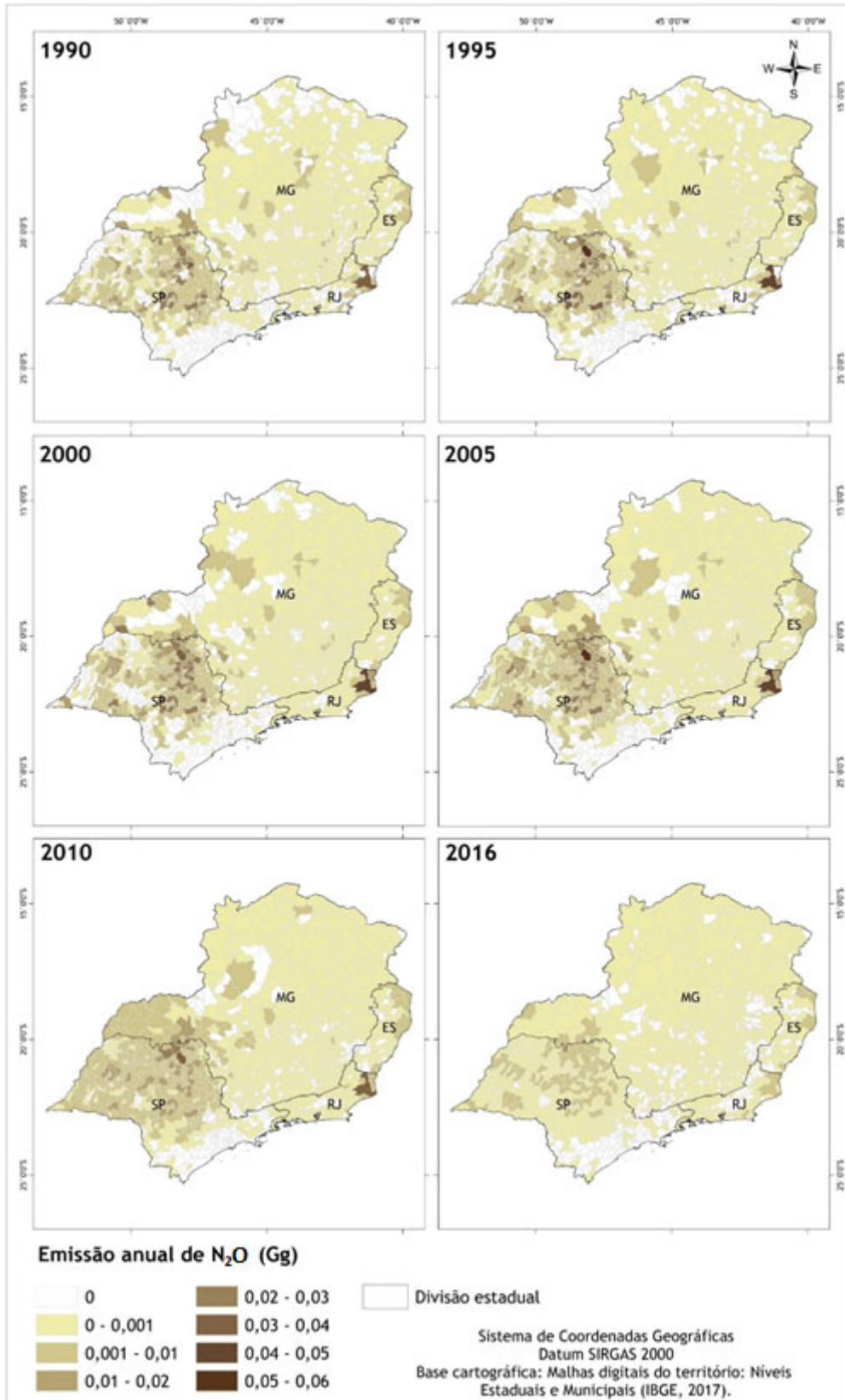
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 22.** Mapa das estimativas de emissões municipais de CH<sub>4</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sudeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



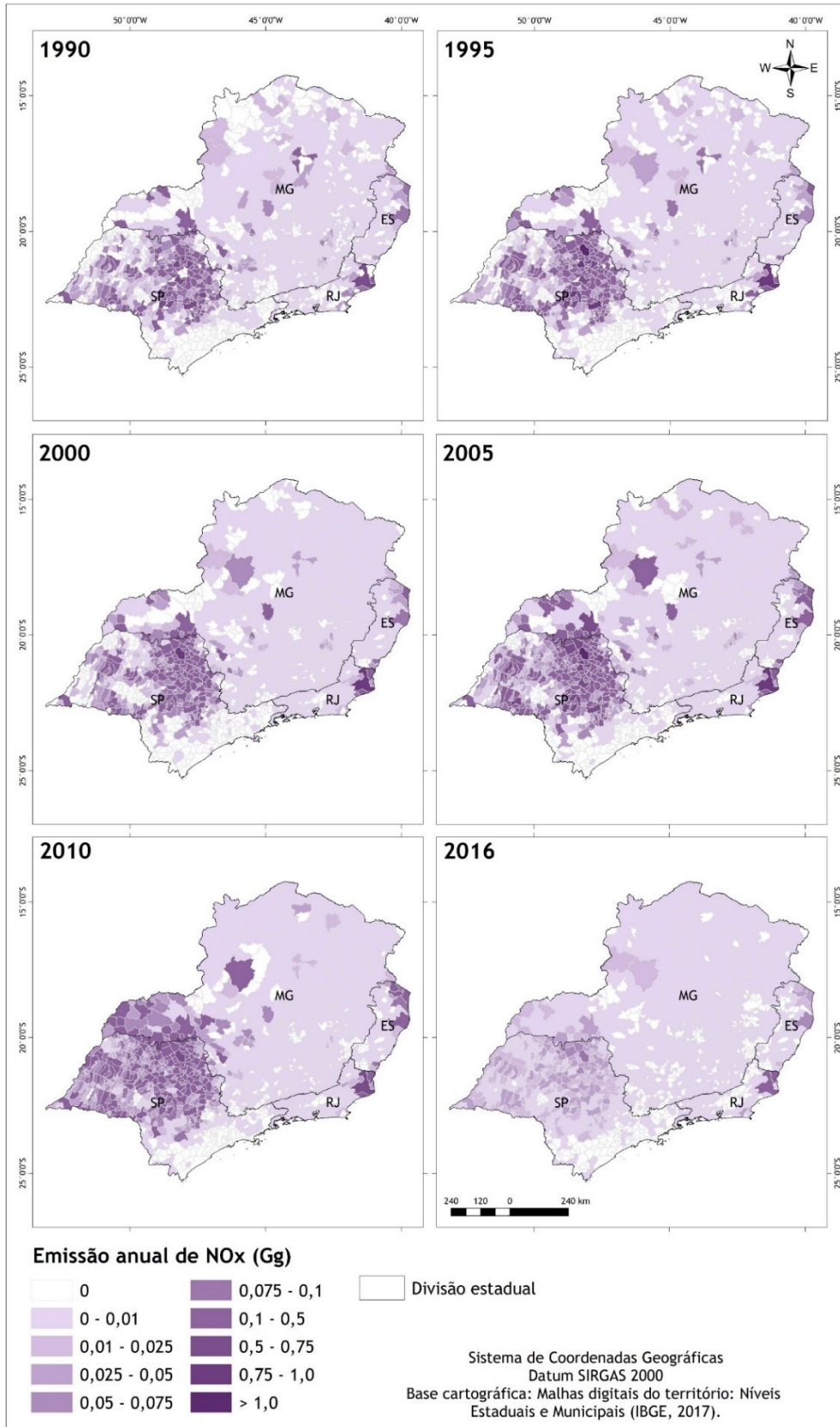
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 23.** Mapa das estimativas de emissões municipais de N<sub>2</sub>O decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sudeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



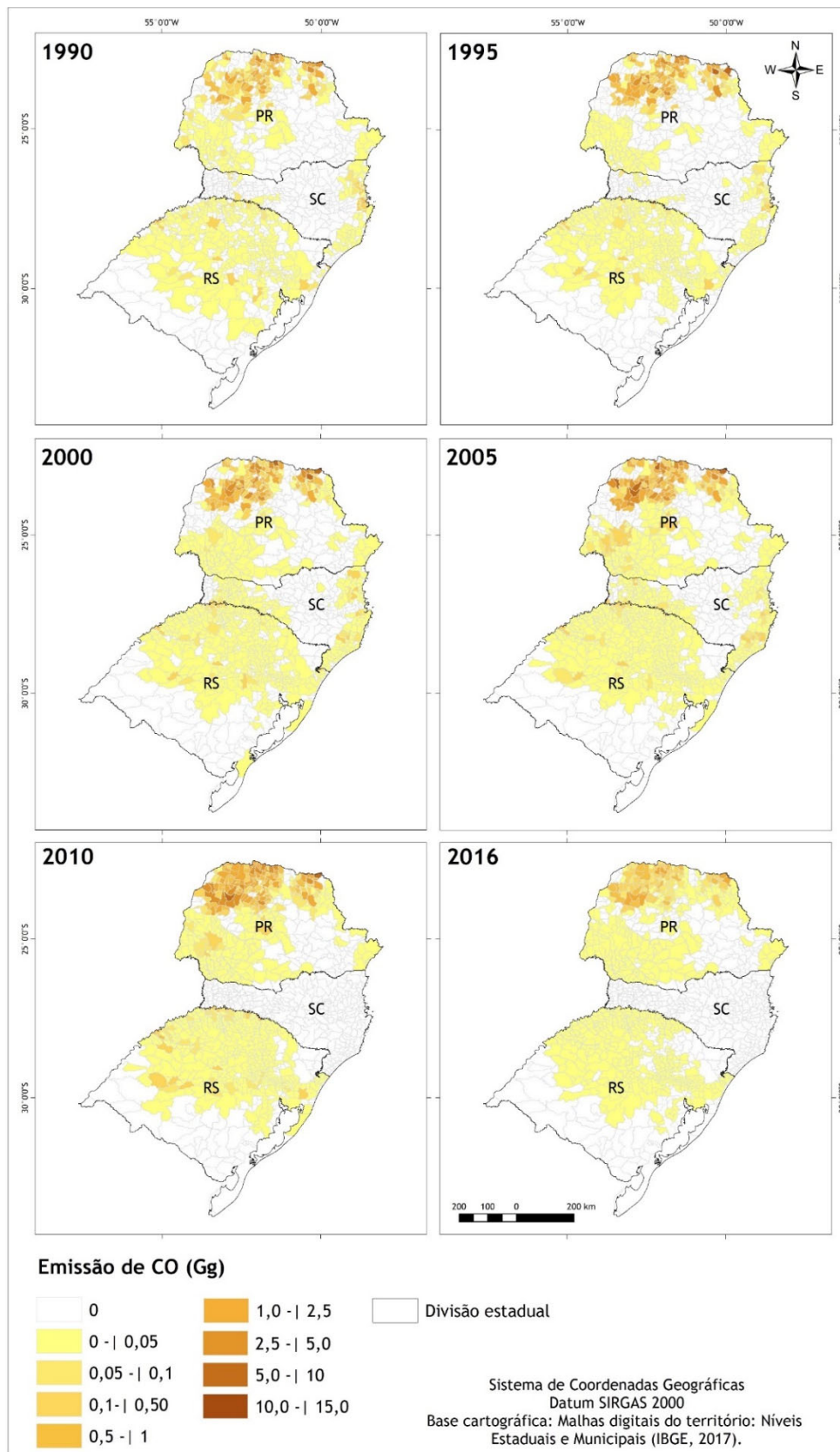
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 24.** Mapa das estimativas de emissões municipais de NO<sub>x</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sudeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



Fonte: Autor (2019).

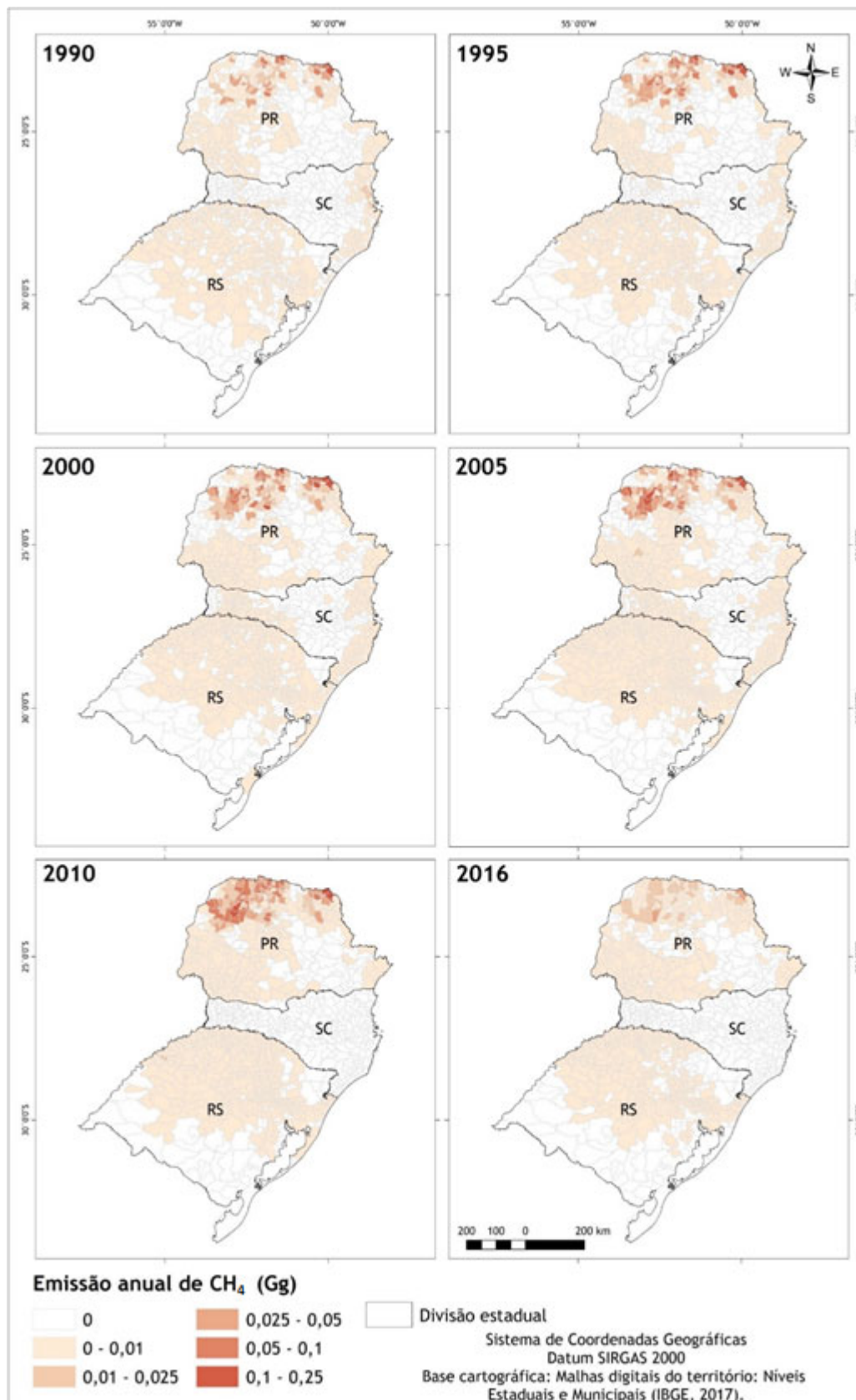
**Apêndice 25.** Mapa das estimativas de emissões municipais de CO decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sul nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



Fonte: Autor (2019).

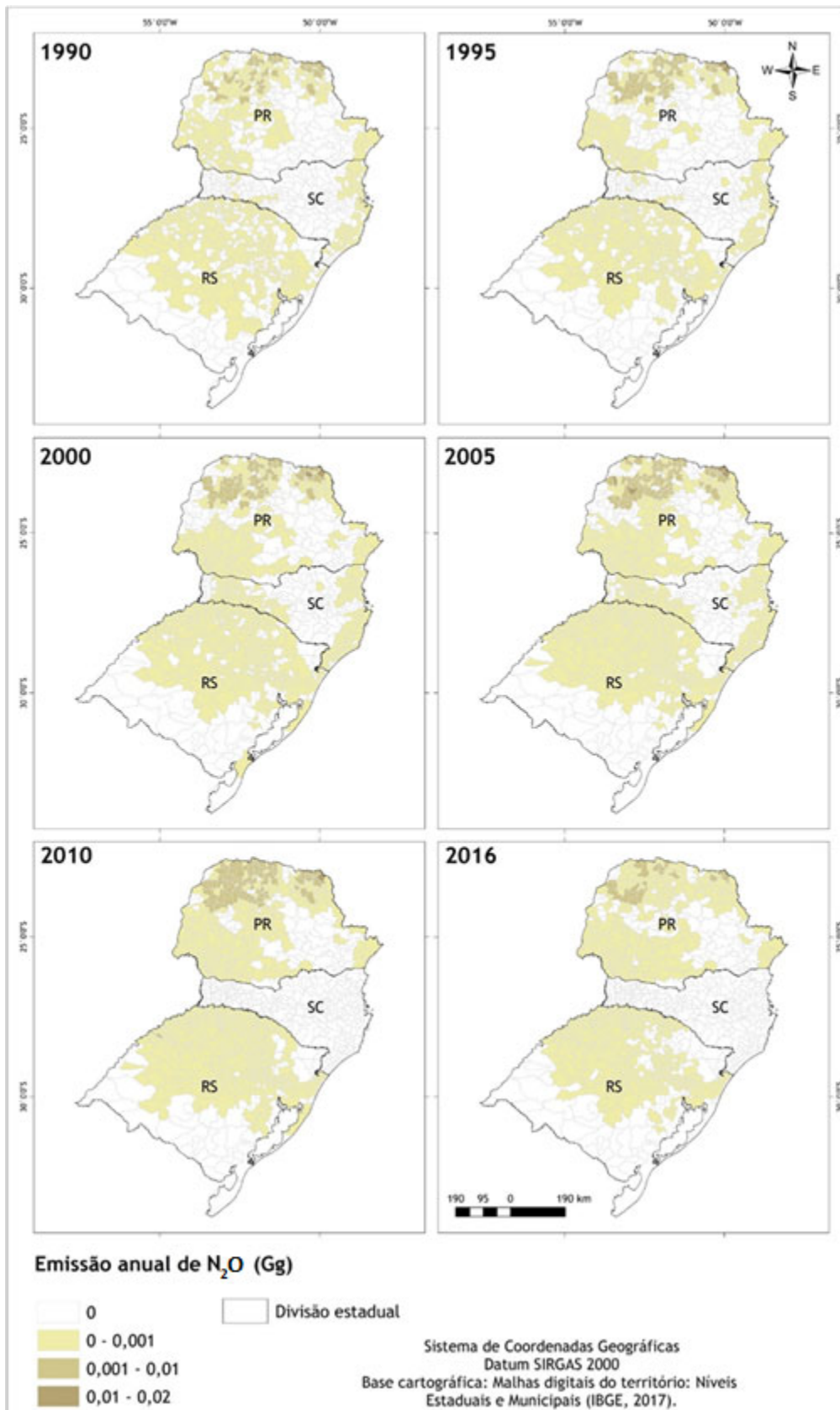


**Apêndice 26.** Mapa das estimativas de emissões municipais de CH<sub>4</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sul nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



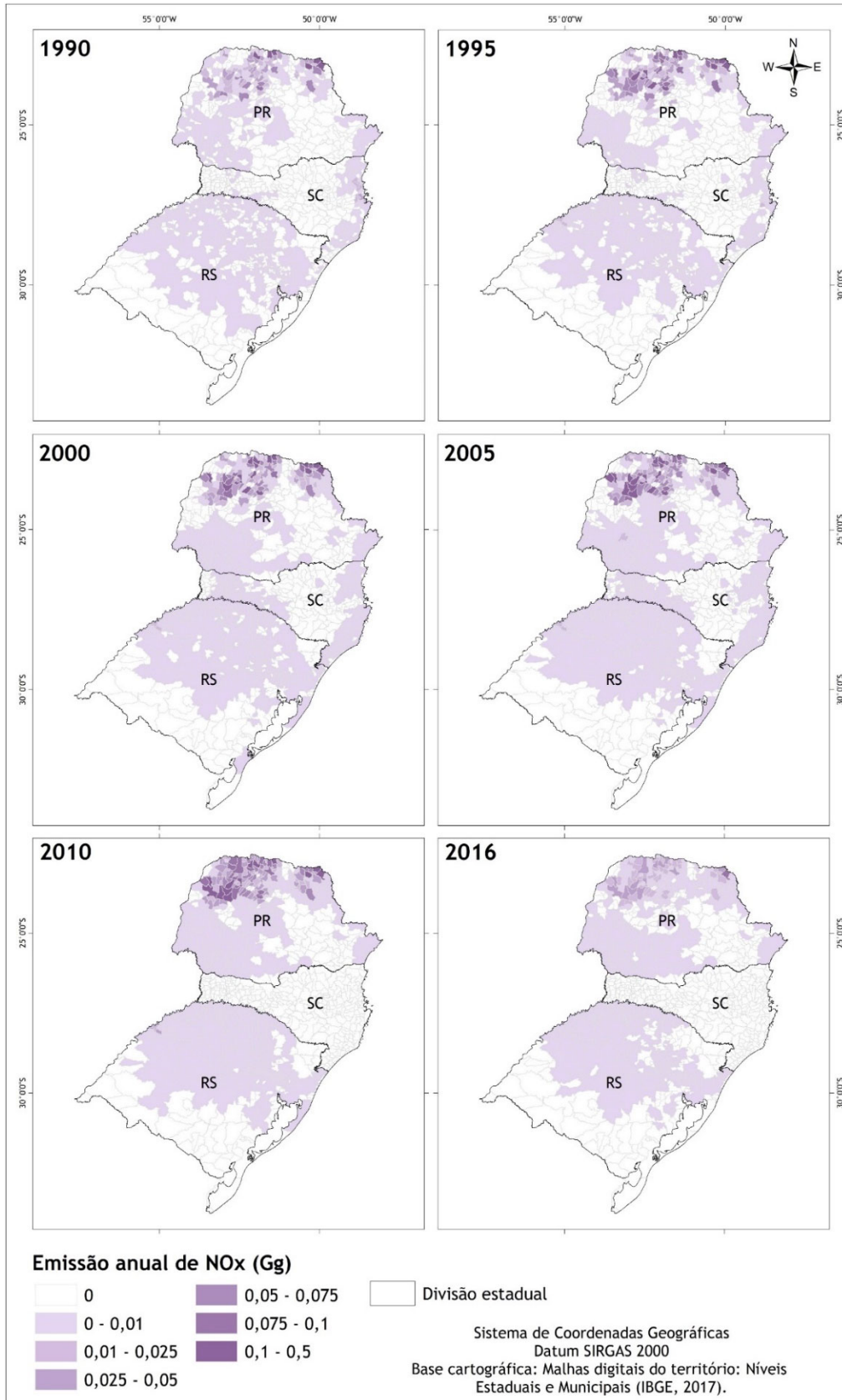
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 27.** Mapa das estimativas de emissões municipais de N<sub>2</sub>O decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sul nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



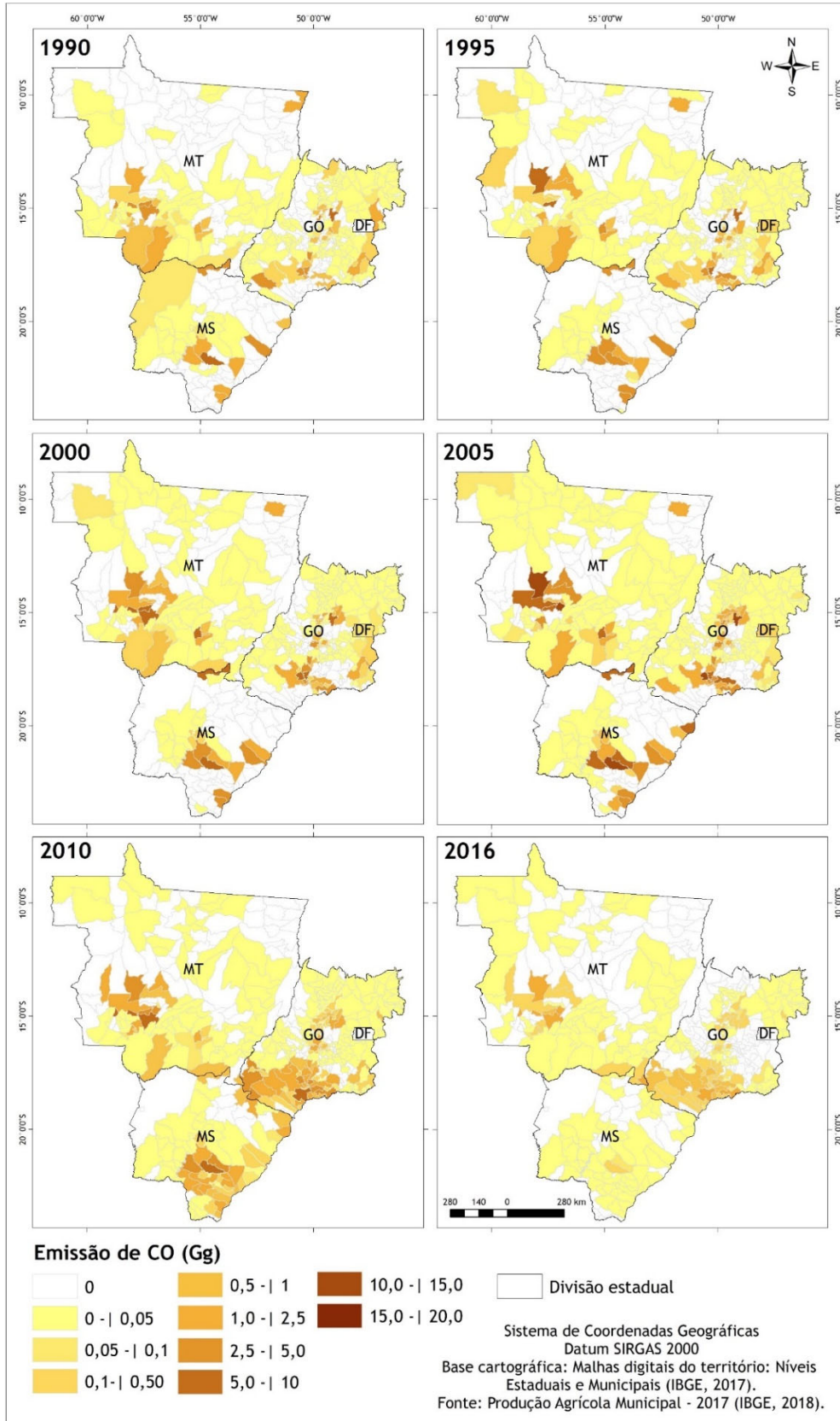
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 28.** Mapa das estimativas de emissões municipais de NO<sub>x</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Sul nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



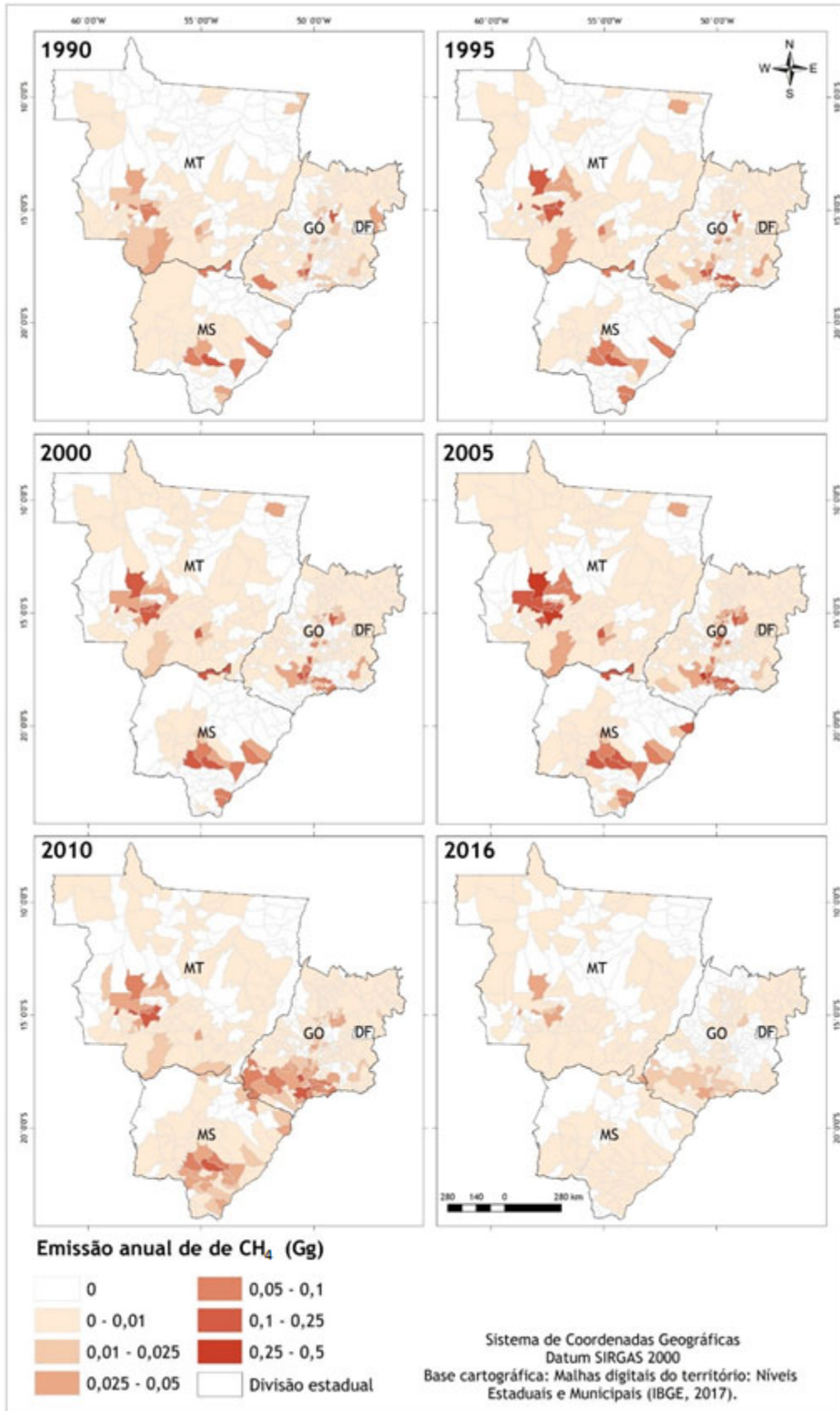
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 29.** Mapa das estimativas de emissões municipais de CO decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



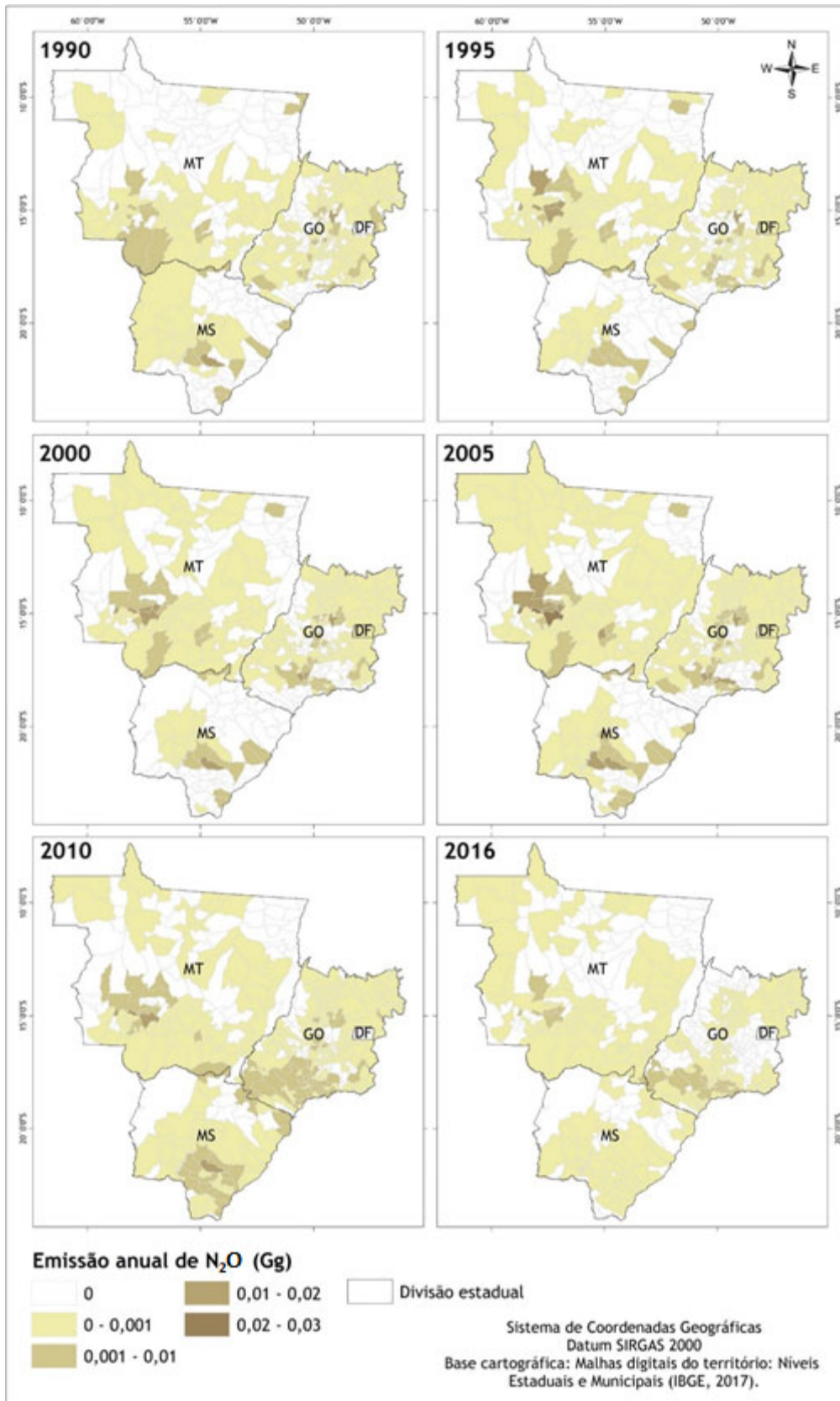
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 30.** Mapa das estimativas de emissões municipais de CH<sub>4</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



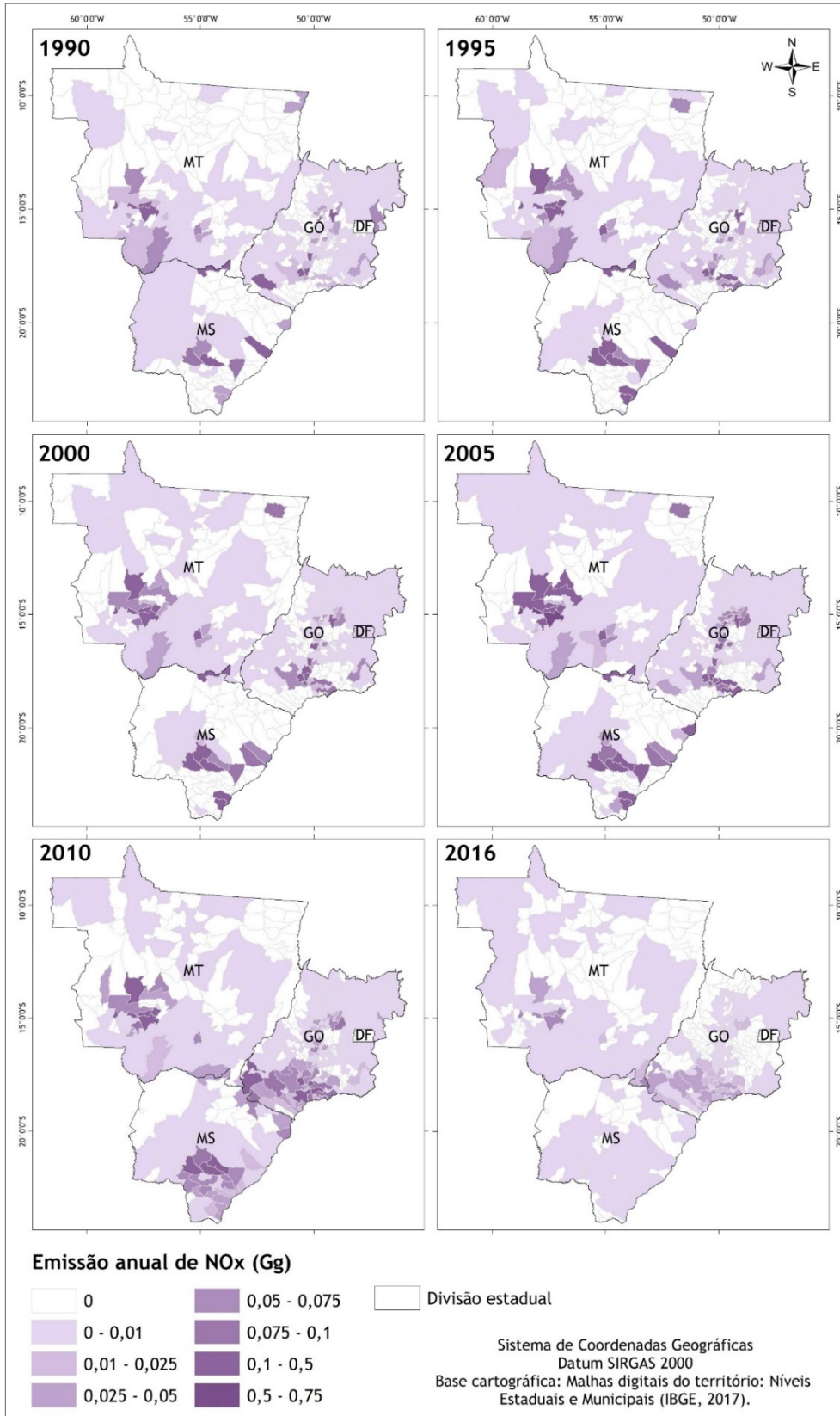
Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 31.** Mapa das estimativas de emissões municipais de N<sub>2</sub>O decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



Fonte: Autor (2019).

**Apêndice 32.** Mapa das estimativas de emissões municipais de NO<sub>x</sub> decorrentes da queima de resíduos de cana-de-açúcar na região Centro-Oeste nos anos de 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2016.



Fonte: Autor (2019).