

Documentos

ISSN 1516-4691
Outubro, 2010

83

Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de 1986 a 2008





ISSN 1516-4691

Outubro, 2010

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 83

Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de 1986 a 2008

**Magda Aparecida de Lima
Marcos Antonio Vieira Ligo
Elton César de Carvalho
Maria Conceição Peres Young Pessoa**

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2010

Exemplares dessa publicação podem ser solicitados à:

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP 340 - km 127,5 - Tanquinho Velho
Caixa Postal 69 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: (19) 3311-2650 Fax: (19) 3311-2640
sac@cnpma.embrapa.br
www.cnpma.embrapa.br

Comitê de Publicação da Unidade

Presidente: *Marcelo Augusto Boechat Morandi*

Secretário: *Sandro Freitas Nunes*

Bibliotecária: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Membro Nato: *Adriana M. M. Pires*

Membros: *Lauro Charlet Pereira, Vera Lúcia S. S. de Castro, Maria Conceição P. Y. Pessoa, Nilce Chaves Gattaz e Luiz Alexandre Nogueira de Sá*

Normalização Bibliográfica: *Maria Amélia de Toledo Leme*

Editoração Eletrônica: *Alexandre R. da Conceição*

1ª edição eletrônica
(2010)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no seu todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Lima, Magda Aparecida de.

Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de 1986 a 2008 / Magda Aparecida Lima, Marcos Antonio Vieira Ligo, Elton César de Carvalho, Maria Conceição Peres Young Pessoa. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2010.
23 p. : il. — (Embrapa Meio Ambiente. Documentos; 83)

1. Mudança climática. 2. Cana-de-açúcar. 3. Efeito estufa. 4. Emissão de gases. 5. Metano. 6. Monóxido de carbono. I. Lima, Magda Aparecida de. II. Ligo, Marcos Antonio Vieira. III. Carvalho, Elton César de. IV. Pessoa, Maria Conceição Peres Young. V. Título. VI. Série.

CDD 363.73874

© Embrapa 2010

Autores

Magda Aparecida de Lima

Ecóloga, Doutora em Geociências e Meio Ambiente,
Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 -
Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000
Jaguariúna, SP.
Magda@cnpma.embrapa.br

Marcos Antonio Viera Ligo

Ecólogo, Doutor em Ciências, Embrapa Meio Ambiente,
Rod. SP 340, Km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho
Velho, Cep.13.820-000, Jaguariúna, SP.
ligo@cnpma.embrapa.br

Elton César de Carvalho

Graduando em Engenharia Ambiental , Bolsista de
Iniciação Científica, Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP
340, Km 127,5 - Caixa Postal 69, Tanquinho Velho,
Cep.13.820-000, Jaguariúna, SP.

Maria Conceição Peres Young Pessoa

Matemática Aplicada, PhD. em Engenharia Elétrica,
Embrapa Meio Ambiente, Rod. SP 340, km 127,5 -
Caixa Postal 69, Tanquinho Velho, 13.820-000
Jaguariúna, SP.
young@cnpma.embrapa.br

Sumário

1 - Introdução	06
O cultivo da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo	06
Queimas de resíduos de cana	08
2 - Método de inventário	08
2.1 - Levantamento e coleta de dados	12
2.1.1 - Produção de cana-de-açúcar	12
2.1.2 - Biomassa seca e teor de carbono e nitrogênio de resíduos	13
2.1.3 - Fração de biomassa oxidada	13
2.1.4 - Fração de resíduos expostos à queima (Re)	14
2.2 - Estimativa de emissão de gases CH ₄ , CO, N ₂ O, e NO _x	15
3 - Resultados	16
4 - Considerações finais	20
5 - Agradecimentos	20
Referências	21

Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de 1986 a 2008

Magda Aparecida de Lima

Marcos Antonio Viera Ligo

Elton César de Carvalho

Maria Conceição Peres Young Pessoa

1- Introdução

O cultivo da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo

O Estado de São Paulo é atualmente o principal estado produtor de cana-de-açúcar do Brasil, com uma produção de 386.061.274 toneladas no ano 2008 (59,8% da produção nacional, estimada em 645.300.182 toneladas pelo IBGE (2009), e com uma área colhida de 4.530.784 hectares, (55,7% da área colhida com cana no Brasil, estimada em 8.140.089 ha pelo IBGE (2009) (Figs. 1 e 2).

O Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) do IBGE não discrimina a área plantada e colhida de cana-de-açúcar por destino de uso (setor sucroalcooleiro, fabricação de cachaça, rapadura e alimentação animal). Segundo Landell et al. (2002), do total de cana cultivada no país estima-se que 10% sejam destinados à alimentação animal, onde não se pratica a queima. Entretanto, esta informação não se encontra disponível por estado, e, portanto, não há como aplicá-la nas estimativas estaduais. A CONAB indica também um percentual de 10% da produção de cana para outras finalidades que não as destinadas ao setor sucroalcooleiro (CONAB, 2005), para as quais não existem estatísticas sobre a prática de queima antes da colheita. Neste relatório as estimativas de emissão de gases consideraram a área total colhida de cana-de-açúcar, conforme dados do IBGE (2009).

Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de 1986 a 2008

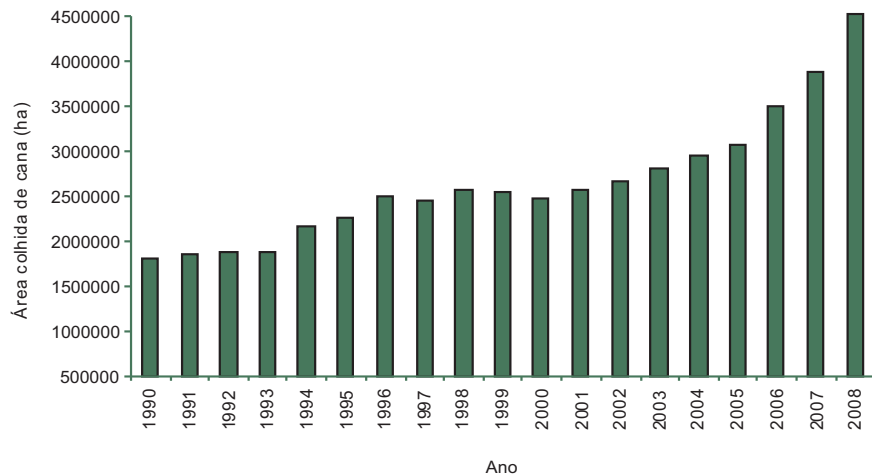


Fig. 1. Evolução da área colhida de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, no período de 1990 a 2006. (Fonte: IBGE, 2009).

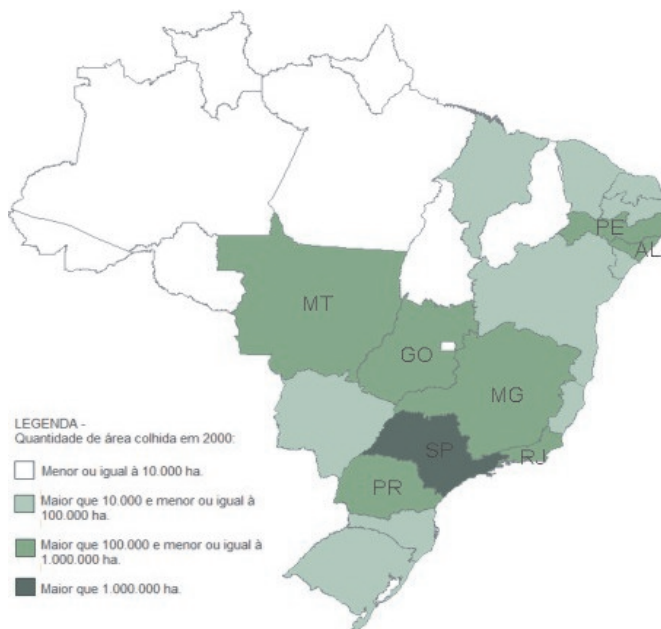


Fig. 2. Distribuição da área colhida de cana-de-açúcar no Brasil em 2008. (Fonte: IBGE, 2009).

Queimas de resíduos de cana

A prática da queima da cana-de-açúcar na pré-colheita é utilizada com o objetivo de aumentar o rendimento do corte manual, e de auxiliar no preparo do terreno para novos plantios. Em função de uma forte legislação ambiental e a melhoria da tecnologia de colheita mecanizada, esta prática tem sido progressivamente reduzida no Estado de São Paulo. A Lei 11.241/2002, que dispõe sobre a eliminação da queima da palha da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, determina que nas áreas mecanizáveis (cuja inclinação é menor do que 12%), o uso do fogo deverá ser suspenso gradativamente até 2021. Para as áreas consideradas não mecanizadas a queima deverá ser totalmente eliminada até 2031.

2 – Método de Inventário

Para a elaboração das estimativas foi utilizado o método proposto pelo manual de inventário de gases de efeito estufa do IPCC (2006).

O método de estimativa de emissões de gases não-CO₂ (CH₄, CO, NO_x e N₂O) provenientes da queima de resíduos agrícolas baseia-se no uso da Equação 2.27 no Capítulo 2 do volume 4 do 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (IPCC, 2006):

Equação 2.27:
Estimativa de emissão de gases de efeito estufa a partir de queima

$$L_{\text{queima}} = A \cdot M_B \cdot C_f \cdot G_{\text{ef}} \cdot 10^{-3}$$

Onde:

L_{queima} = quantidade de emissões de gases de CH₄, N₂O, NO_x e CO a partir da queima de resíduos, em toneladas;

A = área queimada, em hectares;

M_B = biomassa disponível para combustão, em toneladas ha⁻¹;

C_f = fator de combustão, adimensional (valor utilizado: 0,79; conforme descrito no item 3.3.3);

Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de 1986 a 2008

G_{ef} = fator de emissão, em $g.kg^{-1}$ de matéria seca queimada (foram utilizados valores *default* da Tabela 2.5 do IPCC-2006, transcritos na **Tabela 1**. Nota-se que os valores adotados pelo método de inventário do IPCC (2006) foram atualizados em função de estudos mais recentes sobre fatores de emissão (ANDREAE; MERLET, 2001), em relação aos valores apresentados no IPCC de 1996.

Considerando-se a árvore de decisão para a escolha do método apropriado para estimativa das emissões de gases de efeito estufa provenientes de queima de resíduos (IPCC, 2006), este relatório utilizou o Tier 2, conforme indicado na **Fig. 3**. Este método emprega a mesma abordagem geral do Tier 1, porém, utiliza dados atualizados de fatores de emissão e/ou dados de atividades específicas no país, por exemplo, dados sobre fator de combustão e de fração de biomassa queimada.

Em função da existência de dados experimentais e de literatura nacional sobre a relação produção de palhico/ produção de colmos, foram determinados os parâmetros M_b e C_f , para os períodos de 1986 a 1996 e de 1997 a 2008.

A biomassa disponível para combustão (M_b) foi estimada com base nos dados, conforme apresentados nas **Tabelas 2 e 3** levando-se em consideração as variedades mais representativas do Estado de São Paulo, representando 60% da produção nacional de cana-de-açúcar. Dados de área colhida de cana (A) no estado para o período de 1986 a 2008 foram extraídos do do IBGE/SIDRA/LSPA. A porcentagem de cana colhida mecanicamente (sem queima) foi obtida conforme dados de Silva (1997), do Centro de Tecnologia Canavieira – CTC apresentados por Kitayama (2008), Idea News (2002).

Tabela 1. Fatores de emissão de CH_4 , CO , N_2O e NO_x , em $g.kg^{-1}$ de matéria seca queimada para resíduos agrícolas IPCC (1996), segundo o IPCC (2006), utilizados nas estimativas, US.EPA (1990) e JENKINS et al. (1995) (correspondem aos valores de G_{ef} da Equação 2.27 do IPCC 2006).

Fonte	CH_4	CO	N_2O	NO_x
	g gas /kg biomassa seca queimada			
IPCC-1996	2,8	59	0,14	5
IPCC-2006	2,7	92 ± 84	0,07	2,5 ± 1
USEPA	(0,6 – 2)	(30 – 41)	-	-
JENKINS	0.41	25	-	1.4

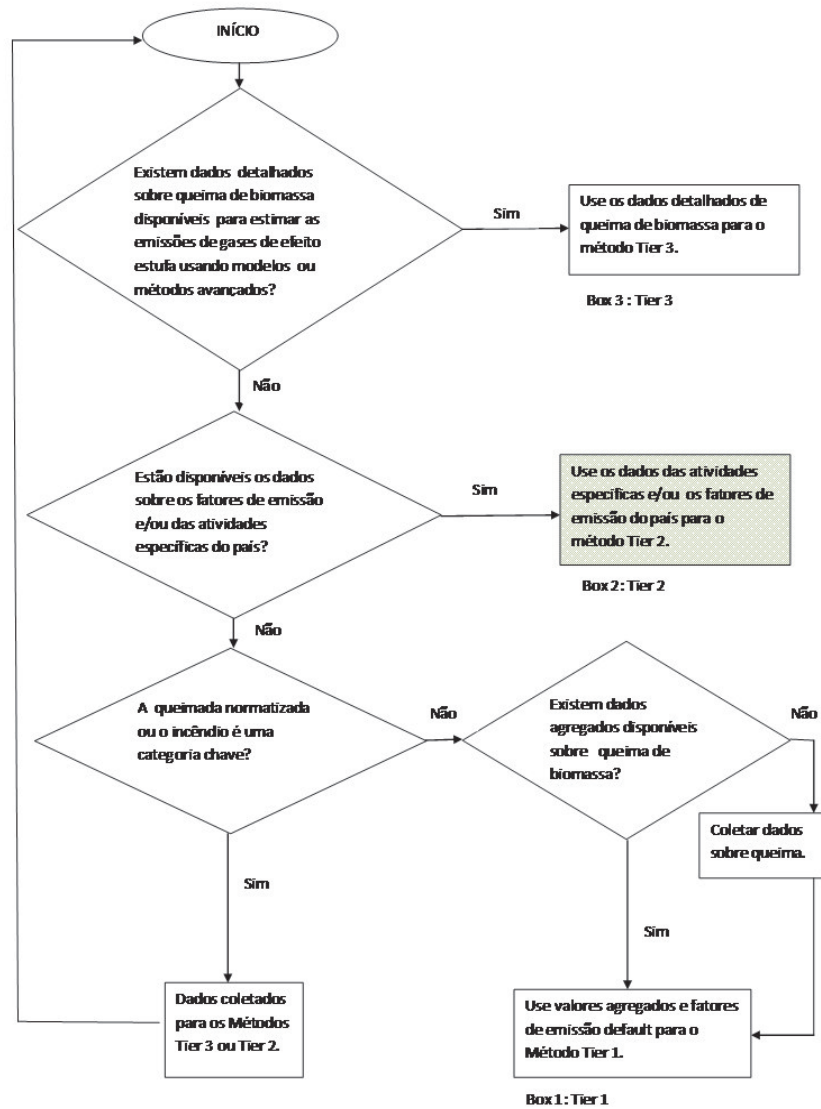


Fig. 3. Árvore de decisão para a identificação do Tier apropriado para estimar a emissão de gases de efeito estufa proveniente de queima na categoria de uso da terra (resíduos agrícolas). IPCC (2006).

As estimativas das emissões de gases provenientes da queima de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo foram realizadas para o período de 1986 a 2008.

Utilizou-se o Tier 2 para o cálculo das estimativas referentes à cana-de-açúcar em função da aplicação de dados experimentais e publicados de alguns parâmetros utilizados no cálculo. Diferentes fatores de emissão de gases relacionados à queima de resíduos da cana-de-açúcar têm sido registrados na literatura (JENKINS et al., 1995, U.S. EPA, 1990). Pela ausência de dados mais específicos, fatores de emissão *default* propostos pelo IPCC (2006) foram utilizados nas estimativas (**Tabela 1**).

Informações sobre as estimativas de biomassa seca, biomassa fresca e relação produção de palhico/produção de colmos estimadas para as principais variedades de cana-de-açúcar plantadas no Estado de São Paulo para o período de 1986 a 1996, foram extraídas do inventário de emissão de gases de efeito estufa pela queima de resíduos agrícolas no Brasil (BRASIL. MCT, 2006), sendo as mesmas aplicadas nas estimativas desse período (**Tabela 2**). Os dados da **Tabela 3** foram aplicados para o período de 1997 a 2008.

Tabela 2. Estimativas de biomassa seca, biomassa fresca e relação produção de palhico/produção de colmos estimadas para as principais variedades de cana-de-açúcar plantadas no Estado de São Paulo em 1990. (Fonte: (BRASIL. MCT, 2006, LIMA et al., 1999)).

Variedade	Produção de palhico (Biomassa seca, t/ha)	Produção de colmos (Biomassa fresca, t/ha)	Produção Palhico/Produção colmos (%)	Área plantada em São Paulo, em 1990 ^b (%)	Referências
SP 70-1143	11,7 ^a	73,6 ^a	15,9 ^a	28,5	^a TRIVELIN et al. (1996); ^b GHELLER (1996)
SP 70-1143	24,0	121,0	19,8	-	TRIVELIN et al. (1995)
SP 71-1406	22,3	73,67	30,2	22,1	RIPOLI et al. (1996); ^b GHELLER (1996)
NA 56-79	13,7	67,2	20,3	14,6	RIPOLI et al. (1996); ^b GHELLER (1996)
SP 71-6163	23,9	108,0	22,2	11,6	RIPOLI et al. (1996); ^b GHELLER (1996)
SP 71-6163	18,4	95,1	19,4	-	RIPOLI et al. (1996)
SP 71-6163	17,0	82,5	20,6	-	RIPOLI et al. (1996)
SP 71-1406	23,3	136,6	17,0	-	RIPOLI et al. (1996)
SP 71-1406	9,5	68,6	13,8	-	RIPOLI et al. (1996)
Média	18,2 ± 5,6	91,8 ± 25,1	19,9 ± 4,7	Soma = 76,8	

Tabela 3. 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 Estado de São Paulo em 2000. (Fonte: BRASIL. MCT, não publicado).

Variedade	Estágio do corte	Produção de palhicho (Biomassa seca, t/ha)	Produção de colmos (Biomassa fresca, t/ha)	Produção palhicho/Produção colmos (%)	Área plantada em São Paulo, no ano 2000 (%)
SP 70-1143	-	11,7 ^a	73,6 ^a	15,9 ^a	5,8 ^b
SP 70-1143	-	24,0 ^c	121,0 ^c	19,8 ^c	-
SP 71-1406	-	22,3 ^d	73,67 ^d	30,3 ^d	0,3 ^b
NA 56-79	-	13,7 ^d	67,2 ^d	20,4 ^d	-
SP 71-6163	-	23,9 ^d	108,0 ^d	22,1 ^d	0,6 ^b
SP 71-6163	-	18,4 ^d	95,1 ^d	19,3 ^d	-
SP 71-6163	-	17,0 ^d	82,5 ^d	20,6 ^d	-
SP 71-1406	-	23,3 ^d	136,6 ^d	17,1 ^d	-
SP 71-1406	-	9,5 ^e	68,6 ^d	13,8 ^d	--
SP 79-1011	Cana planta	17,8 ^e	120 ^e	14,8 ^e	8,6 ^d
SP 79-1011	2°. Corte	15,0 ^e	92 ^e	16,3 ^e	
SP 79-1011	4°. Corte	13,7 ^e	84 ^e	16,3 ^e	
SP 80-1842	Cana planta	14,6 ^e	136 ^e	10,7 ^e	0,8 ^b
SP 80-1842	2°. Corte	12,6 ^e	101 ^e	12,5 ^e	
SP 80-1842	4°. Corte	10,5 ^e	92 ^e	11,4 ^e	
RB 72454	Cana planta	17,2 ^e	134 ^e	12,8 ^e	18,4 ^b
RB 72454	1°. Corte	14,9 ^e	100 ^e	14,9 ^e	
RB 72454	5°. Corte	13,6 ^e	78 ^e	17,4 ^e	
SP 83-2847	5°. Corte	17,4 ^f	102 ^f	17,1 ^f	0,3 ^b
SP 80-1816 RB 82-5486 RB 83-5486 RB 85-5453	Média de 5 cortes e em dois solos	13,4	90	14,9	10,8 ^d (SP 80 + RB 85 + RB 83)
Média		16,2 ± 4,4	97,8 ± 22,2	16,9 ± 4,4	

Referências: ^aTRIVELIN et al. (1996); ^bCTC (2007); ^cTRIVELIN et al. (1995); ^dRIPOLI et al. (1996); ^ePNUD-CTC (2005); ^fCNPMA (dados experimentais obtidos em 2006)

*Dados não publicados.

2.1 - Levantamento e coleta de dados

2.1.1 - Produção de cana-de-açúcar

As informações de área colhida e produção de cana-de-açúcar foram obtidas do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola-LSPA do IBGE, disponíveis no site <http://www.ibge.gov.br>, para o período de 1986 a 2008, por região e estado do país. Para os anos de 2006 e 2007 foram utilizados dados municipais de área colhida, em função da disponibilidade de dados de fração queimada de cana pelo INPE (Projeto CANASAT).

2.1.2 – Biomassa seca e teor de carbono e nitrogênio de resíduos

As estimativas de biomassa seca dos resíduos foram obtidas do relatório de referência para o inventário nacional de emissão de gases de efeito estufa no Brasil (BRASIL. MCT, não publicado), conforme apresentadas nas Tabelas 2 e 3, correspondendo às variedades de cana-de-açúcar mais utilizadas nos anos de 1990 e 2000, respectivamente. As variedades relacionadas na Tabela 2 representavam cerca de 77% da área plantada no Estado de São Paulo em 1990 (GHELLER, 1996). Em 2000, as variedades citadas na Tabela 3 representavam 47% da área plantada no mesmo estado. A fração de biomassa seca dos resíduos para as variedades consideradas no ano de 1990 foi obtida a partir dos valores de biomassa úmida do palhiço (folhas secas, folhas verdes e pontas), levando-se em conta um valor médio de umidade de 30% determinado por Ripoli et al. (1991). Observou-se uma substituição de variedades no período de 1990 a 2000, e uma diminuição na representatividade das variedades cultivadas no estado no ano 2000. Os dados médios de fração de biomassa seca de algumas variedades indicadas na Tabela 3, foram obtidos em diferentes anos de corte (cana-planta, 1º. corte, 2º. corte, etc.).

Para o ano de 1990 a relação produção de palhiço/ produção de colmos (19,9%) foram obtidos com base nas determinações de Ripoli et al. (1991), Trivelin et al. (1995) e Trivelin et al. (1996) (**Tabela 2**), sendo também este valor aplicado nas estimativas de emissões no período de **1986-1996**. A relação produção de palhiço/ produção de colmos para o ano 2000 (**Tabela 3**) foi estimado em 17,2%, com base em dados agregados de Trivelin et al. (1996), Trivelin et al. (1995), Ripoli et al. (1996), PNUD-CTC (2005), e dados experimentais obtidos pela equipe da Embrapa/CNPMA, sendo este valor aplicado também para o período de **1997 a 2008**. A diferença dos valores aplicados da relação produção de palhiço/ produção de colmos deveu-se às mudanças de variedades plantadas nos anos de 1990 e 2000.

2.1.3 - Fração de biomassa oxidada

A fração de biomassa seca efetivamente oxidada (79%) foi determinada em experimento de campo pela Embrapa Meio Ambiente para a variedade SP 71-6163, no 4º. ciclo, com material coletado antes e após a queima ocorrida em abril de 1997, em parcela da Usina Santa Elisa, no Município de Sertãozinho, Estado de São Paulo. Os resultados obtidos nesse experimento são apresentados na **Tabela 4**, comparativamente às estimativas apresentadas por Macedo (1997).

Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de 1986 a 2008

Tabela 4. Biomassa seca, eficiência da queima e produção de cana-de-açúcar.

	Palhiço	Macedo (1997) Biomassa seca (t/ha)	Embrapa Meio Ambiente Biomassa seca (t/ha)
Material exposto à queima	folhas secas (a)	10,1	7,5
	folhas verdes e pontas (b)	3,8	4,9
	total (T)	13,9	12,4
Biomassa total oxidada (bto)		11,0	9,8
Eficiência da queima (bto / T) * 100		79	79
Produção de cana		87,9	86,0

Fonte: Dados experimentais da Embrapa/CNPMA. (BRASIL. MCT, 2006).

2.1.4 - Fração de resíduos expostos à queima (Re)

Não se dispõe de estatísticas oficiais sobre a prática de queima de cana-de-açúcar no país. De maneira geral, as informações encontram-se dispersas na literatura técnica, estando geralmente incompletas e/ou discordantes, dificultando a definição dos valores precisos para este parâmetro. Ressalta-se que, embora tenha sido solicitada ao IBGE, por ocasião da elaboração do novo formulário de entrevista do censo agropecuário, a inclusão de questões sobre a área cultivada sujeita à queima, o resultado deste levantamento não se encontra disponível para consulta até a presente data.

Com base em diversas informações levantadas junto aos sites institucionais, revistas técnicas, Secretarias de Estado, sindicatos ligados ao setor sucroalcooleiro, e consultas a especialistas, estabeleceram-se as frações de área colhida de cana mecanicamente.

Para o Estado de São Paulo, no período de 1986 a 1994, considerou-se que a biomassa da cana-de-açúcar produzida foi exposta na sua totalidade à queima. Para 1995 estimou-se uma proporção de 5% de adoção de colheita mecanizada, tendo em vista que, em 1996, a adoção de colheita mecanizada, sem queima, fora estimada em 10% da área total plantada no Estado, concentrando-se na Região de Ribeirão Preto (SILVA, 1997). Não foi possível o acesso aos Cadernos de Censos Varietais do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC). Entretanto, informações sobre a proporção de área de cana colhida crua, tendo como fonte o CTC, para o período de 2003 a 2005 no Estado de São Paulo, foram apresentadas por Kitayama (2008). Para o período de 2006 a 2007 foram utilizados dados do Projeto CANASAT do

* Experimento conduzido em 1998.

Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de 1986 a 2008

INPE, e para o ano 2008 foi assumida uma fração de área queimada de 50,7%, 5% inferior ao ano anterior (<http://www.agencia.fapesp.br/materia/8659/noticias/menos-queima-no-plantio-da-cana.htm>). (note que na tabela 5, os dados referem-se à área colhida de cana crua).

Para o período de 1997 a 2002 foram utilizados dados do Idea News (2002), com interpolação de valores em anos intermediários, para os quais não foram obtidos dados (1998, 2001, 2002) (Tabela 5).

2.2 - Estimativas de emissões de gases CH₄, CO, N₂O e NO_x

Os cálculos efetuados para as estimativas de emissões de gases pela queima de resíduos de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo seguiram as recomendações do método do IPCC (2006) e do Guia de Boas Práticas (IPCC, 2000), sendo aplicados ao período de 1986 a 2008.

Tabela 5. Evolução da área de cana-de-açúcar colhida mecanicamente no Estado de São Paulo, para o período de 1996 a 2007.

Ano	% de área colhida de cana crua	Referência
1986-1994	0	Estimado
1995	5	Estimado
1996	10	SILVA (1997)
1997	17,8	IDEA NEWS (2002)
1998	20	Estimado
1999	22,3	IDEA NEWS (2002)
2000	30,5	IDEA NEWS (2002)
2001	29	Estimado
2002	28	Estimado
2003	26	Kitayama (2008)
2004	28	Kitayama (2008)
2005	28	Kitayama (2008)
2006	34,2	INPE (Projeto Canasat)
2007	46,6	INPE (Projeto Canasat)
2008	50,7	Estimado

3 – Resultados

As estimativas de emissões de CO, CH₄, N₂O e NO_x provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo para o período de 1986 a 2008 são apresentadas na **Tabela 6**.

Os valores médios estimados de emissão de gases provenientes da queima de resíduos de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, no período de 1986 a 2008, foram de 60.462,68 t ± 7.430,30 t de CH₄, 2.060.209,99 t ± 253.180,59 t de CO, 1.567,55 t ± 192,64 t de N₂O e 55.983,97 t ± 6.879,91 t de NO_x. De 1993 para 1994, observou-se um aumento importante concomitante da área colhida de cana (de 1.895.750 hectares para 2.173.200 hectares) e de sua produção (de 148.647.000 toneladas para 174.100.000 toneladas), ocasionando um aumento sensível nas emissões de gases.

Nas **Figs. 4, 5, 6 e 7** apresentam-se valores estimados de emissão de metano, CH₄, CO, N₂O, NO_x respectivamente, em toneladas (t), pela queima de resíduos de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo no período de 1986 a 2008, comparada à produção (em toneladas) no mesmo período.

Na **Fig. 8** apresenta-se a distribuição municipal da produtividade de cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo, tendo como base dados do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA) do IBGE/SIDRA (2009), utilizando como referência o ano 2006, e na **Fig. 9** apresenta-se a distribuição municipal de emissões de metano provenientes da queima de cana, estimadas pelo método do IPCC (2006), tendo como referência o ano de 2006.

Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de 1986 a 2008

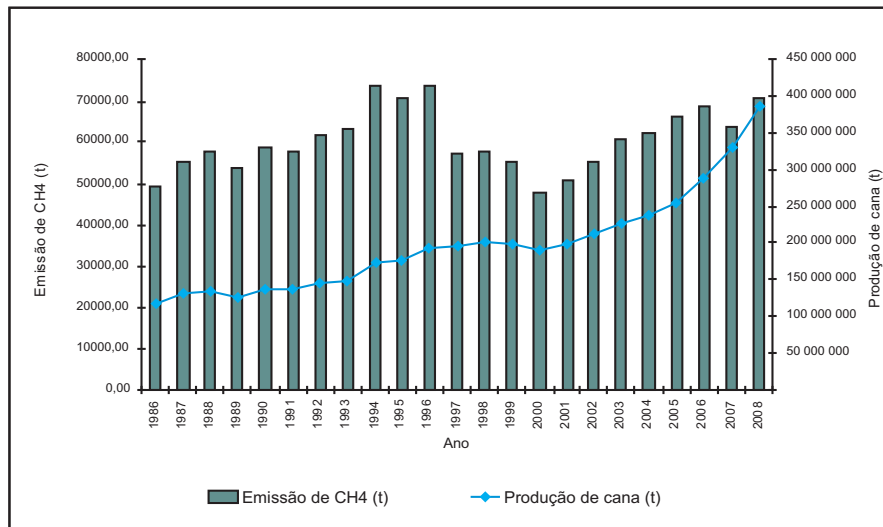


Fig. 4. Emissões anuais de metano (CH₄), em toneladas, provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar e produção desta no Estado de São Paulo no período de 1986 a 2008, utilizando o método IPCC-2006.

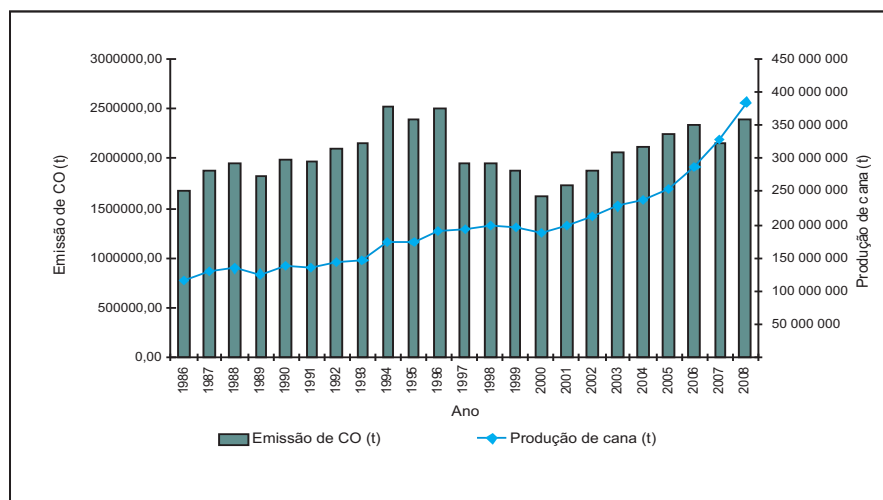


Fig. 5. Emissões anuais de monóxido de carbono (CO), em toneladas, provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar e produção desta no Estado de São Paulo no período de 1986 a 2008, utilizando o método IPCC-2006.

Estimativa de emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar no estado de São Paulo no período de 1986 a 2008

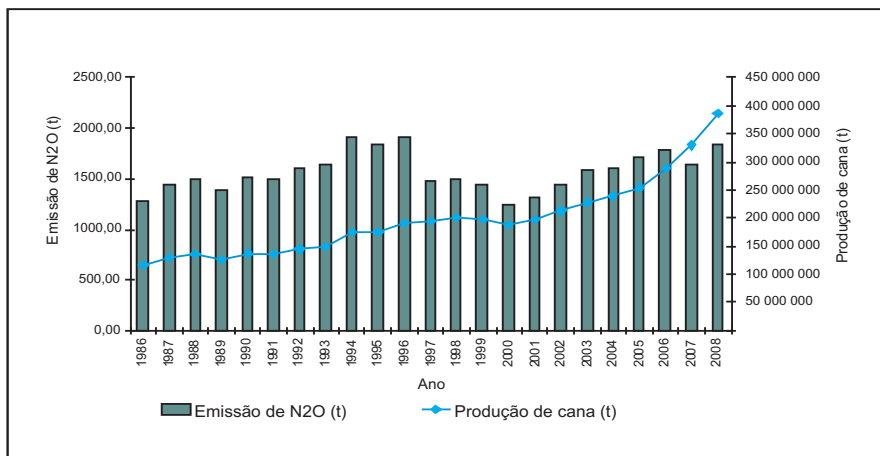


Fig. 6. Emissões anuais de óxido nítrico (N₂O), em toneladas, provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar e produção desta no Estado de São Paulo no período de 1986 a 2008, utilizando o método IPCC-2006.

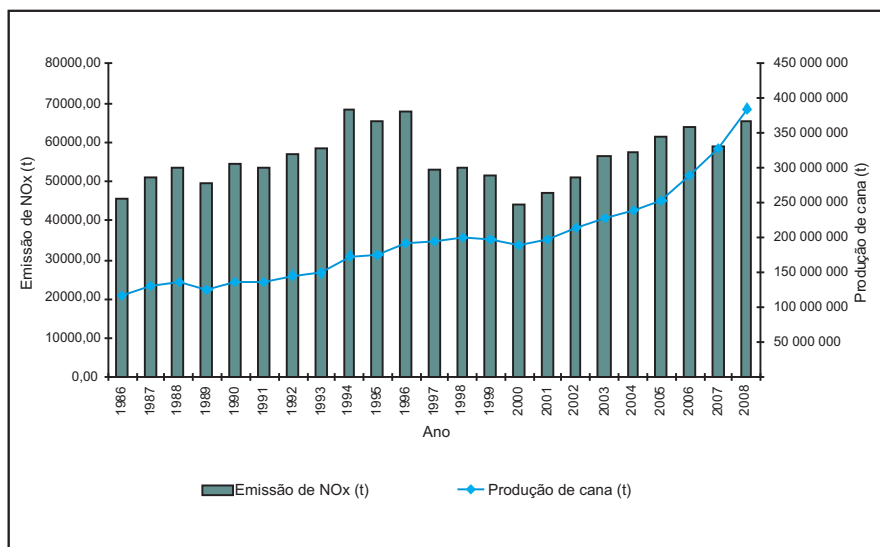


Fig. 7. Emissões anuais de óxidos de nitrogênio (NO_x), em toneladas, provenientes da queima de resíduos da cana-de-açúcar e produção desta no Estado de São Paulo no período de 1986 a 2008, utilizando o método IPCC-2006.

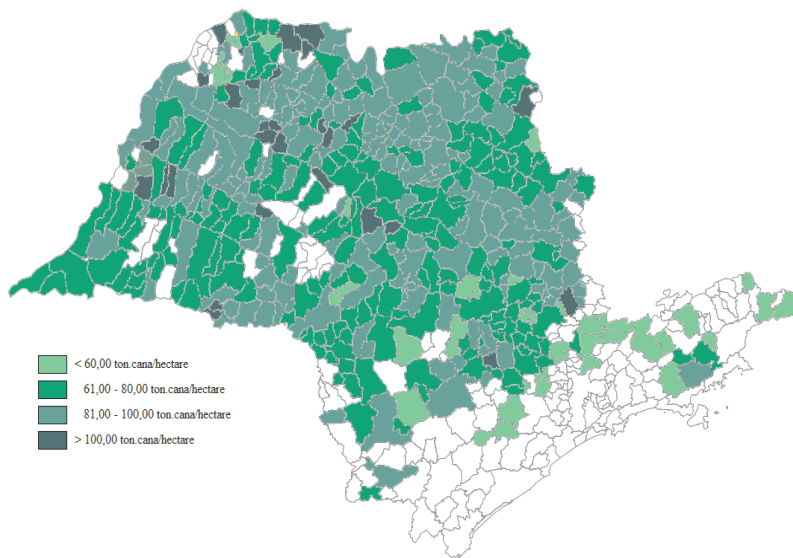


Fig. 8. Distribuição municipal da produtividade de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, com base em dados do LSPA/IBGE – Ano de referência: 2006.

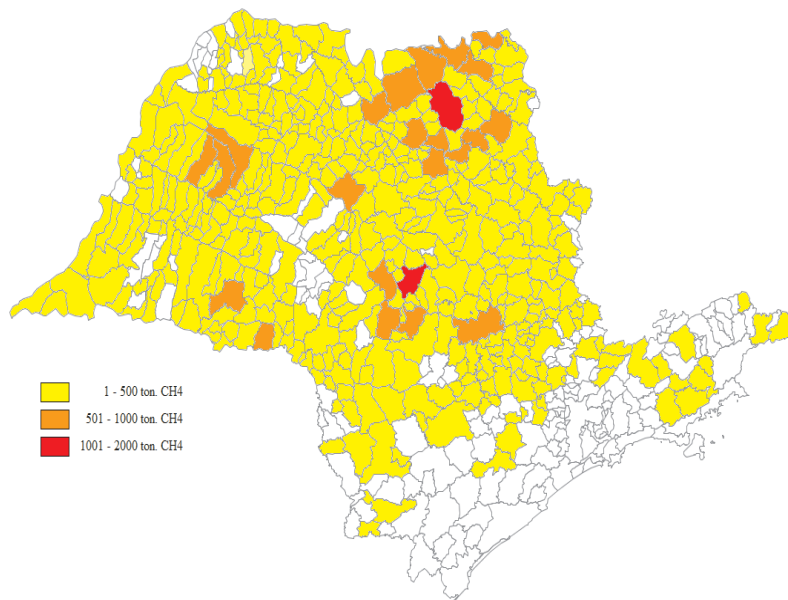


Fig. 9. Distribuição municipal das emissões de metano provenientes da queima de cana-de-açúcar, no Estado de São Paulo estimadas pelo método do IPCC (2006) (ano de referência: 2007).

4 – Considerações finais

A área colhida e a produtividade da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo aumentaram significativamente (170% e 23%, respectivamente) entre 1986 e 2008, promovendo um acréscimo de 180% na produção (de 137.835.000 t em 1990 para 386.061.274 t em 2008). Apesar disso, houve um aumento de apenas 20,6% nas emissões estimadas dos gases CH₄, CO, N₂O e NO_x, fato atribuído ao aumento da mecanização da colheita no estado.

A utilização da queima na pré-colheita da cana tende a ser reduzida no Estado de São Paulo, principal estado produtor, principalmente em consequência à Lei 11.241/2002, na qual é prevista a suspensão da queima dessa cultura em áreas mecanizáveis (terrenos com declividades menores que 12%) até 2021, sendo que para as áreas consideradas não mecanizáveis, a queima deverá ser totalmente eliminada até 2031.

5. Agradecimentos

Colaboraram para este trabalho os Drs. Bernardo F. T. Rudorff, Marcos Adami, Daniel A. de Aguiar, e Yosio E. Shimabukuro, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), além do Sr. Airton Camargo, da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, o Dr. Bernardo Lorena, da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI).

Referências

ANDREAE, M.O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 15, n. 4, p. 955-966, 2001.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. MCT. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa** – Relatórios de referência: emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas. Brasília: MCT, 2006a.

CONAB. **Cana-de-açúcar – Safra 2005/2006**: Segundo levantamento Agosto/2005. 2005, 14 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/safracana_de_acucaragosto2005.pdf>. Acesso em: dez. 2007.

CTC. **Análise de Cenário** - Censo Varietal Quantitativo – porcentagem da área de cultivo do Estado de São Paulo - palestra de João Américo Beltrame . Disponível em: . <[http://www.ppifar.org/ppiweb/pbrazil.nsf/1c678d0ba742019483256e19004af5b8/eda2cf9cd89adda2032570d8004b5f52/\\$FILE/Palestra%20Joao%20Americo%20Beltrame.pdf](http://www.ppifar.org/ppiweb/pbrazil.nsf/1c678d0ba742019483256e19004af5b8/eda2cf9cd89adda2032570d8004b5f52/$FILE/Palestra%20Joao%20Americo%20Beltrame.pdf)> . Acesso em: 19 dez. 2007.

GHELLER, A.C.A. **Varietades de cana-de-açúcar cultivadas no Estado de São Paulo em 1995** - Censo varietal. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, 6., 1996, Maceió.. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1996. p. 173-180.

IBGE. SIDRA. **Levantamento sistemático da produção agrícola (LSPA)**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990-2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>, consultado em novembro de 2009

IDEA NEWS. **Indicadores de desempenho**. Ribeirão Preto: IDEA NEWS, 2002.

IPCC. **Climate Change 1994**: Radiative forcing of climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 1995, 339 p.

IPCC. **1996 Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**: Reference Manual. Bracknell: IPCC, 1996. 3 v.

IPCC. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (Eds.). Japan: IGES, 2006.

JENKINS, B.M.; TURN, S.Q.; WILLIAMS, R.B.; GORONEA, M.; ABD-EL-FATTAH, H.; MEHLSCHAU, N.; RAUBACH, N.; WHALEN, S.A.; CHANG, D.P.Y.; KANG, M.; TEAGUE, S.V.; RAABE, O.G.; CAMPBELL, D.E.; CAHILL, T.A.; PRITCHETT, L.; CHOW, J.; JONES, A.D. **Atmospheric pollutant emission factors from open burning of sugar cane by wind tunnel simulations**: Final report. Davis: University of California, 1995. (Prepared for the Hawaiian Sugar Planter's Association, Aiea, Hawaii).

KITAYAMA, O. **Situação atual e perspectivas de expansão do setor sucroalcooleiro no Brasil e no Mundo**. Palestra apresentada na OFICINA ANA – Agência Nacional da Água. Disponível em: <www.ana.gov.br/Salalmprensa/doc_oficina/UNICA.pps>. Acesso em: fev. 2008.

LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; RODRIGUES, A.A.; CRUZ, G.M.; BASTISTA, L.A.R.; FIGUEIREDO, P.; SILVA, M.A.; BIDOIA, M.A.P.; ROSSETTO, R.; MARTINS, A.L.M.; GALLO, P.B.; KANTHACK, R.A.D.; CAVICHIOLI, J.C.; VASCONCELOS, A.C.M.; XAVIER, M.A. **A variedade IAC86-2480 como nova opção de cana-de-açúcar para fins forrageiros: manejo de produção e uso na alimentação animal**. Campinas: Instituto Agronômico, 2002. 39 p. (Série Tecnologia APTA. Boletim Técnico IAC, 193).

LIMA, M.A., LIGO, M.A.V., CABRAL, O.M.R., BOEIRA, R.C., PESSOA, M.C..P.Y., NEVES, M.C.N. Emissões de gases de efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil. **Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 60p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 7).**

MACEDO, I.C. **Greenhouse gas emissions and avoided emissions in the production and utilization of sugar cane, sugar and ethanol in Brazil: 1990-1994**. Report for MCT. Coordenação de Pesquisa em Mudanças Globais. Piracicaba: Centro de Tecnologia Copersucar, 1997. 25 p. (RT-CTC-002/97).

MOSIER, A.; WASSMANN, R.; VERCHOT, J.K.; PALM, C. Methane and nitrogen oxide fluxes in tropical agricultural soils: sources, sinks and mechanisms. In: WASSMANN, R.; VLEK, P.L.G. (Ed.). **Methane tropical agriculture in transition: opportunities for mitigating greenhouse gas emissions?** p. 11-49. 2004.

RIPOLI, T.C.; MOLINA JR., W.F.; STUPIELLO, J.P.; NOGUEIRA, M.C.; SACCOMANO, J.B. Potencial energetico de resíduos de cosecha de la caña verde. **STAB**, Piracicaba, v. 10. p. 22-26, 1991.

RIPOLI, T.C.; STUPIELLO, J.P.; CARUSO, J.G.B.; ZOTELLI, H.; AMARAL, J.R. Efeito da queima na exsudação dos colmos: resultados preliminares. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6., 1996, Maceió. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1996. p. 63-70.

SILVA, G.M.A. Cana crua x cana queimada: restrições técnicas e implicações sociais e econômicas. In: SECAPI, 2., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Comissão Organizadora, 1997. p. 55-57.

TRIVELIN, P.C.O.; VICTORIA, R.L.; RODRIGUES, J.C.S. Aproveitamento por soqueira de cana-de-açúcar de final de safra do nitrogênio da aquamônia - ¹⁵N e uréia - ¹⁵N aplicada ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 1375-1385, 1995.

TRIVELIN, P.C.O.; RODRIGUES, J.C.S.; VICTORIA, R.L. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia - ¹⁵N aplicada ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, p. 89-99, 1996.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Greenhouse gas emissions from agricultural systems**: summary report. Washington: USEPA, 1990. v. 1, p. III-33.