

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS SISTEMAS  
DE COLHEITA CRUA E QUEIMADA NO ESTADO DE SÃO  
PAULO, BRASIL**

**Luciano Ito Perillo**  
Engenheiro Agrônomo

**2014**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS SISTEMAS  
DE COLHEITA CRUA E QUEIMADA NO ESTADO DE SÃO  
PAULO, BRASIL**

**Luciano Ito Perillo**

**Orientador: Prof. Dr. Newton La Scala Júnior**

**Coorientador: Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)

**2014**

P445e Perillo, Luciano Ito  
Emissão de gases de efeito estufa nos sistemas de colheita crua e queimada no Estado de São Paulo, Brasil / Luciano Ito Perillo. -- Jaboticabal, 2014  
xi, 67f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014

Orientador: Newton La Scala Júnior

Banca examinadora: Marcílio Vieira Martins Filho, Otavio Cavalett  
Bibliografia

1. Inventário. 2. Cana-de-açúcar. 3. Manejo. 4. Mitigação. I. Título. II. Jaboticabal - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.61:631.92

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal. E-mail: lucianoperillo@yahoo.com.br



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**CAMPUS DE JABOTICABAL**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL**

### **CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS SISTEMAS DE COLHEITA CRUA E QUEIMADA NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL

**AUTOR:** LUCIANO ITO PERILLO

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. ALAN RODRIGO PANOSSO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. NEWTON LA SCALA JUNIOR

Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. MARCILIO VIEIRA MARTINS FILHO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. OTAVIO CAVALETT

Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol / Campinas/SP

Data da realização: 27 de fevereiro de 2014.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**LUCIANO ITO PERILLO** – Filho de Lino Perillo e Alice Ito Perillo, o autor nasceu em Jaboticabal, São Paulo, no dia 05 de setembro de 1989. Em fevereiro de 2012 obteve o título de Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, câmpus de Jaboticabal. Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica pela FAPESP entre agosto de 2008 e fevereiro de 2011. Em março de 2012, ingressou no curso de mestrado pela mesma instituição, no programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal. No mês de fevereiro de 2014 submeteu-se à banca para a defesa de dissertação, sendo aprovado como Mestre em Agronomia.

"É fazendo que se aprende a fazer aquilo que se deve aprender a fazer"

**Aristóteles**

Aos meus amados pais Lino Perillo e Alice Ito Perillo,  
pelo amor, carinho e dedicação depositados em mim.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a **Deus** por toda a força, coragem e perseverança.

Aos meus pais **Lino Perillo** e **Alice Ito Perillo** e ao meu irmão **Leonardo Ito Perillo**, pelos ensinamentos, conselhos e apoio incondicional. Vocês são os grandes mestres da minha vida!

A grande amiga, namorada e companheira **Amanda Zampieri de Almeida** que compartilhou comigo mais uma etapa da minha vida. Obrigado por todo o incentivo e amor. Cada dia com você é uma alegria!

Ao orientador **Prof. Dr. Newton La Scala Júnior** pela orientação e amizade ao longo de todos esses anos. Nosso convívio iniciou-se em 2008 durante a graduação e desde então sou muito grato pela sua contribuição em minha formação acadêmica e pessoal.

Ao coorientador **Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso** pela nossa amizade e por toda ajuda, incentivo, críticas e sugestões que muito me acrescentaram no desenvolvimento do trabalho.

Aos membros da banca de defesa, ao **Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho** e ao pesquisador **Dr. Otavio Cavalett** pelas proveitosas discussões, sugestões e correções realizadas.

A **FUNDAÇÃO DE AMPARO À PESQUISA DO ESTADO DE SÃO PAULO (FAPESP)** pela concessão da bolsa de estudos, que possibilitou a realização deste trabalho e investiu em meu aprimoramento profissional. Muito Obrigado!

Ao **INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE)** e aos pesquisadores **Dr. Daniel Alves Aguiar** e **Dr. Bernardo Friedrich Theodor Rudorff** pelo fornecimento dos dados e informações imprescindíveis para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos companheiros do departamento de Ciências Exatas, **Daniel de Bortoli Teixeira**, **Elton da Silva Bicalho**, **João Fernandes da Silva Júnior** e **Mara Regina Moitinho** pelo convívio, amizade e bons momentos.

Ao grande amigo **Ricardo de Oliveira Bordonal** que não mediu esforços para me ajudar, pelos conselhos, sugestões, risadas e toda a camaradagem. Muito obrigado por tudo e muito sucesso para você rapaz, pois você merece.



Ao **Dr. Eduardo Barreto de Figueiredo**, pela sua dedicação e empenho em me ajudar, pelas conversas e histórias contadas e compartilhadas.

Aos funcionários do departamento de Ciências Exatas, **Zezé, Norival, Shirley e Adriana** pela convivência, amizade e disposição em sempre me ajudar.

Aos grandes amigos e companheiros desde a época da graduação **Guilherme Pozzato Francisco de Souza, Gustavo Fernandes Oliveira, Marcos Paulo Mendes, Camila Baptista do Amaral, Renata Kimie Hanashiro, Roberta Cristina Delphino Carboni, Rodolfo Buzinaro e Mauro Augusto Volpe**. Apesar da correria e desencontros da vida, continuamos a manter essa grande amizade.

A todos que apesar de não citar os nomes contribuíram direta ou indiretamente, incentivando, colaborando e acreditando em mim.

Muito Obrigado!

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b> .....	<b>ix</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>x</b>
<b>CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS</b>	<b>1</b>
1.1 Introdução e justificativa.....	1
1.2 Revisão de literatura.....	4
1.2.1 Efeito estufa.....	4
1.2.1 Inventários de emissão de gases de efeito estufa.....	6
1.2.2 Etanol e o potencial de mitigação de gases de efeito estufa.....	7
1.3 Referências.....	11
<b>CAPÍTULO 2. EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO, DE 2006 A 2012</b>	<b>16</b>
2.1 Introdução.....	18
2.2 Material e métodos.....	19
2.2.1 Descrição dos mapas temáticos da cana-de-açúcar.....	19
2.2.2. Metodologia e fontes de emissão.....	21
2.2.2.1. Queima prévia do canavial.....	22
2.2.2.2. Operação de calagem.....	22
2.2.2.3. Emissões diretas e indiretas de N <sub>2</sub> O.....	23
2.2.2.4. Compostos orgânicos.....	23
2.2.2.5. Aplicação de defensivos agrícolas.....	24
2.2.2.6. Consumo de diesel.....	25
2.2.2.7. Resíduos da colheita crua.....	26
2.2.2.8. Fertilizantes sintéticos (N - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O).....	27
2.3. Resultados e discussão.....	28
2.3.1. Emissões associadas à produção agrícola de cana-de-açúcar.....	28
2.3.2. Emissões associadas às fontes de emissão.....	30
2.3.3. Projeção dos cenários de emissão.....	32
2.4. Conclusões.....	35
2.5. Referências.....	36

<b>CAPÍTULO 3. ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA ASSOCIADAS À ETAPA DE COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO NO PERÍODO DE 2006 A 2012</b>	<b>42</b>
3.1 Introdução .....	43
3.2 Material e métodos:.....	43
3.3 Resultados e discussões: .....	45
3.3.1 Emissão de gases de efeito estufa no estado de São Paulo .....	45
3.3.2 Emissão de gases de efeito estufa nas regiões administrativas .....	47
3.3.3 Emissão de gases de efeito estufa nos municípios .....	49
3.3.4 Emissão de gases de efeito estufa em função da produtividade e sistema de colheita .....	52
3.4 Conclusões .....	53
3.5 Referências:.....	54
<b>CAPÍTULO 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>56</b>

## **EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NOS SISTEMAS DE COLHEITA CRUA E QUEIMADA NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL**

**RESUMO** – A cultura da cana-de-açúcar ocupa uma posição de destaque na economia brasileira e as recentes transformações ocorridas no setor tem sido objeto de debates quanto aos impactos ambientais, especificamente quanto às emissões de gases de efeito estufa. Este trabalho consistiu em um inventário de emissões de gases de efeito estufa oriundos do cultivo da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo no período de 2006 a 2012, na qual foram estabelecidas as principais fases de manejo e fontes de emissão envolvidas. Objetivou-se também, avaliar as mudanças ocorridas nos municípios que compõe o Estado de São Paulo em virtude da mudança exclusivamente do sistema de colheita, de manual com queima prévia do canavial para cru mecanizado. Os resultados demonstram que a mudança do sistema de manejo predominante de cana queimada para crua promoveu um crescimento reduzido das emissões em comparação ao crescimento de área. As fontes de emissão: fertilizante nitrogenado sintético, diesel, queima de resíduos e calagem representaram em média 90% das emissões totais da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Nos municípios paulistas, a mudança do sistema de colheita promoveu uma queda nas emissões por unidade de área produtiva e foi demonstrado que a redução das emissões depende da taxa de conversão, bem como da produtividade da cultura.

**Palavras chave:** inventário de emissão, manejo da cana-de-açúcar, mitigação de gases de efeito estufa, impacto ambiental

## **GREENHOUSE GAS EMISSIONS UNDER GREEN AND BURNED HARVEST SYSTEMS IN SÃO PAULO STATE, BRAZIL**

**SUMMARY** – Sugarcane holds a prominent position in Brazilian economy and the recent changes occurred in the sector has been debated about the environmental impacts, specifically about greenhouse gas emissions. This work consisted of a greenhouse gas inventory due to the cultivation of sugarcane in São Paulo in the period 2006-2012, in which the main agricultural phases and emission sources involved were established. Also, the objective of this work was to evaluate the changes occurred in the cities of São Paulo state due the changes in the harvest system, from manual with previous burning to mechanize without burning. The results show that changing of the prevailing sugarcane management from burned to green harvested promoted a reduced growth of the emissions compared to the growth of the areas. The emission sources: synthetic N fertilizer, diesel, burning residues and liming represented, on average, 90% of the total emissions in São Paulo state. In the cities of São Paulo, the change of the harvest system promoted a decrease of the emissions per unit of productive area and the reduction of the emissions depends of the conversion rate and yield of the crop.

**Keywords:** emission inventory, sugarcane management, mitigation of greenhouse gases, environmental impact

## CAPÍTULO 1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

### 1.1 Introdução e justificativa

De acordo com as últimas projeções realizadas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e compiladas no relatório de 2007, existem uma série de evidências de que as mudanças climáticas, expressas pelo aumento das temperaturas globais médias verificados desde meados do século XX, estejam correlacionadas ao aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) causadas pela ação antrópica (IPCC, 2007a).

Em 2012, a preocupação com a questão dos gases GEE ampliou-se com a divulgação das observações e análises da Organização Meteorológica Mundial, mostrando que as concentrações de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) alcançaram novos máximos em 2011, sendo  $390,0 \pm 0,1$  ppm ( $\text{CO}_2$ ),  $1813 \pm 2$  ppb ( $\text{CH}_4$ ) e  $324,2 \pm 0,1$  ppb ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Tais valores constituem 140%, 259% e 120% em relação aos níveis pré-industriais (antes de 1750) respectivamente. O programa que forneceu as informações e efetuou o monitoramento dos dados é conhecido como GAW –“Global Atmosphere Watch”, da OMN, e por meio de uma parceria envolvendo 80 países, vem realizando análises sistemáticas a respeito da composição química da atmosfera, das mudanças naturais e antrópicas, além de estudos visando à compreensão das interações entre a atmosfera, os oceanos e a biosfera. Ainda, segundo a própria organização, os últimos 11 anos (2001-2011) estão entre os mais quentes já registrados, desde que as medições se iniciaram no ano de 1850 (WMO, 2012).

As estimativas da participação da agricultura remontam que em 2005, ela foi responsável pela emissão de 5,1 a 6,1 Gt  $\text{CO}_2$  eq ano<sup>-1</sup> (gigas toneladas; Gt =  $10^9$  toneladas), o que corresponde a 10 a 12% do total de emissões globais antrópicas de gases de efeito estufa. As emissões de  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  tiveram um papel mais significativo, com uma participação de 50 e 60% respectivamente do total das emissões antrópicas (SMITH et al., 2007).

De acordo com o balanço energético nacional (2012), referente aos dados de 2011, o Brasil detém 44,1% de fontes renováveis em sua matriz energética e a biomassa da cana-de-açúcar contribuiu em 15,7% na oferta interna de energia no Brasil. Além disso, a maior parte das emissões associadas à matriz energética provém do setor de transportes. O uso de biocombustíveis em substituição aos combustíveis fósseis, como opção mitigadora de gases de efeito estufa, tem sido amplamente discutido no meio científico quanto aos benefícios econômicos, sociais e ambientais. BÖRJESSON (2009) aponta o etanol, proveniente da cana-de-açúcar produzido no Brasil, como uma alternativa capaz de promover uma redução média de GEE na ordem de 85%. Além disso, quando comparado com outras culturas bioenergéticas como beterraba, milho ou sorgo, a cana-de-açúcar é a opção mais efetiva de mitigação das emissões de GEE (RENOUF et al., 2008)

O Brasil é considerado o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com 671 milhões de toneladas, o equivalente a 35% da produção mundial de acordo com a FAO (2010). A área cultivada no país estimada para a safra 2012/13 foi de 8,5 milhões de hectares, sendo o estado de São Paulo responsável por 54% da produção e 52% da área nacional (CONAB, 2012). O Estado de São Paulo contou nessa safra com mais de 170 unidades produtoras tanto de usinas quanto destilarias cadastradas junto ao ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, o equivalente a 43% do total no país (MAPA, 2012). A produção de veículos tipo "flex fuel" que possibilita tanto o uso do etanol quanto da gasolina como combustível, atingiu a participação de 74% do mercado nacional no ano de 2011, o equivalente a mais de dois milhões e meio de veículos (ANFAVEA, 2012).

No Brasil e particularmente na região sudeste em que se concentrou o presente estudo, verifica-se o predomínio de dois sistemas de colheita da cultura da cana-de-açúcar: o sistema manual, também conhecido como cana queimada, que é caracterizado pela queima prévia do canavial e o sistema mecanizado ou cana crua, que se diferencia pelo não envolvimento do processo de queima e pela grande quantidade de resíduos vegetais deixados na superfície do solo. No Estado de São Paulo, a lei estadual N° 11.241/2002 (SÃO PAULO, 2002) que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar, determina a extinção da prática de colheita queimada até o final do ano de 2021 em áreas com

declividade do terreno de até 12% e para o ano de 2031 em áreas com declividade superior a 12%. A lei dispõe ainda, de regras para a realização de queimadas no período de transição e de programas de requalificação profissional dos trabalhadores.

Em 2007, a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA) representando a indústria paulista produtora de açúcar, etanol e bioeletricidade juntamente com o Governo do Estado de São Paulo e as Secretaria do Meio Ambiente e Secretaria da Agricultura e Abastecimento assinaram o protocolo agroambiental do setor Sucroalcooleiro. Mediante adesão voluntária dos produtores e das indústrias de cana-de-açúcar, o protocolo estabeleceu uma série de diretivas e medidas técnicas e ambientais. Dentre as cláusulas estabelecidas está antecipar o prazo de eliminação da colheita queimada de 2021 para 2014 para terrenos com declividade até 12% e de 2031 para 2017 nos terrenos com declividade superior a 12%, além do compromisso de não utilizar a prática da queima em áreas de expansão de canaviais. Segundo dados da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, até junho de 2012, havia 159 unidades aderidas ao protocolo agroambiental, o que representa mais de 92% das unidades presentes no Estado considerando o levantamento do número de unidades pelo MAPA.

Em 2009, o Brasil ao instituir a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), por meio da lei N<sup>o</sup> 12.187/2009 estabeleceu como diretriz os compromissos assumidos pelo país na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, no Protocolo de Quioto e nos demais documentos sobre mudança do clima dos quais o mesmo venha a ser signatário. Estabeleceu ainda, por meio do Art.12, regulamentado pelo Decreto n<sup>o</sup> 7.390/2010, o compromisso nacional e voluntário de redução das emissões de gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9% de suas emissões projetadas até 2020, com uma redução absoluta entre 1.168 Gt CO<sub>2</sub> eq e 1.259 Gt CO<sub>2</sub> eq respectivamente, tendo como linha base das emissões estimada em 3.236 Gt CO<sub>2</sub> eq (BRASIL, 2009).

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram: a) estimar e comparar as emissões de gases de efeito estufa da produção da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, considerando os sistemas de manejo crua (mecanizada) e queimada (manual) nas safras de 2006 a 2012, identificando as principais fontes de emissão



nos cenários de produção; b) estimar as emissões oriundas da substituição do sistema de colheita manual (queimada) para mecanizada (crua) nas cidades que compõem o Estado de São Paulo de 2006 a 2012.

## **1.2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **1.2.1 Efeito estufa**

O sistema climático é complexo, já que envolve a interação constante de diversos fatores como a atmosfera, a superfície terrestre, a neve e o gelo, os oceanos e outros corpos d'água e seres vivos. O componente atmosférico é o que mais evidentemente caracteriza o clima, sendo este último concebido como a média das atuais condições meteorológicas ou do termo comumente chamado de "tempo".

O clima, por sua vez, está suscetível a influência de forças dinâmicas, tanto no âmbito interno, quanto às mudanças dos fatores externos (conhecido como forçamentos climáticos). Dentre os fatores externos existem fenômenos naturais, como erupções vulcânicas e variações da radiação recebida em virtude da atividade solar, como fenômenos causados pela atividade humana, por meio da poluição de partículas (aerossóis), das mudanças na superfície terrestre e da composição atmosférica devido à emissão de gases de efeito estufa. O tempo e o clima da Terra são determinados em função da quantidade e distribuição da radiação proveniente do sol, na qual o balanço de energia, ou seja, a quantidade de energia que entra e deixa o sistema garante o equilíbrio climático (TRENBERTH et al., 2009).

O relatório do IPCC de 2007 apresenta três fatores como determinantes para que haja uma mudança no balanço energético da radiação terrestre: 1) mudanças na quantidade de radiação solar que chega à Terra (ex: mudanças do posicionamento da órbita do planeta ou do próprio Sol); 2) mudanças na fração da radiação solar que é recebida devido ao albedo terrestre (ex: mudanças na cobertura de nuvens ou partículas atmosféricas, bem como alterações nas superfícies cobertas de gelo); 3) Alteração na quantidade de radiação solar de ondas

longas da Terra que voltam para o espaço (ex: devido a mudanças na concentração de gases de efeito estufa) (IPCC, 2007b)

Ainda segundo o relatório, a quantidade de energia que chega até o topo da atmosfera em decorrência da atividade solar é de 1.370 Watts por metro quadrado ( $W m^{-2}$ ) e o montante relativo à quantidade de energia que deixa o sistema em direção ao espaço é de aproximadamente um quarto deste mesmo valor. Cerca de 30% da radiação solar que alcança o topo atmosférico é refletida de volta para o espaço, na qual em termos grosseiros, dois terços desse valor refletido são causados por nuvens e pequenas partículas na atmosfera conhecido como aerossóis. Áreas mais claras da superfície terrestre, tais como lugares com presença de neve, gelo e desertos refletem a energia restante, de um terço da radiação.

A respeito da energia não refletida de volta ao espaço, ou seja, absorvida pela superfície terrestre e pela atmosfera é de aproximadamente 240Watts por metro quadrado ( $W m^{-2}$ ), na qual o planeta Terra posteriormente reemite a mesma quantidade de volta para o espaço através de radiação de ondas longas. Sendo assim, o planeta mantém-se aquecido devido à presença de gases de efeito estufa que atuam como um manto refletor parcial das ondas longas emitidas pela superfície terrestre. Tal fenômeno é conhecido como efeito estufa natural e se não fosse a sua atuação, a temperatura na superfície do planeta ficaria em torno de  $-19^{\circ}C$ .

Dentre os gases de efeito estufa, os mais importantes que atuam nesse processo são o vapor d'água e o dióxido de carbono ( $CO_2$ ). As atividades humanas agem como intensificadores do manto refletor em virtude da liberação de gases de efeito estufa, além de causar uma série de implicações para o clima devido às modificações drásticas na composição química da atmosfera global, processo denominado de efeito estufa adicional.

O aumento da emissão de materiais particulados, como aerossóis, devido à atividade humana promove a ocorrência dos forçamentos climáticos em virtude da reflexão e absorção da radiação, além de seus efeitos indiretos na cobertura das nuvens e do albedo das mesmas, sendo considerado um importante fator nos modelos de análise e simulação de balanço energético (HANSEN et al., 2005).

### 1.2.1 Inventários de emissão de gases de efeito estufa

Em ciência, a definição de consenso científico é tratada como uma hipótese irrealizável, haja vista de que todo pensamento científico é pautado pela organização de um sistema dinâmico de conhecimento, de avanços e retrocessos, de inserção e refutação de dados, premissas, hipóteses e teorias, que culminam no avanço científico.

O tema mudanças climáticas continua a ser assunto de intenso debate público, já que suas implicações abrangem os mais diversos campos da humanidade e exigem que as tomadas de decisões, visando à mitigação e adaptação às vulnerabilidades causadas pela mesma, sejam feitas de forma conjunta pelos países.

A criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (em inglês, UNFCCC – “United Nations Framework Convention on Climate Change”) durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento ocorrida no Rio de Janeiro em 1992 resultou de um esforço político dos países para que houvesse uma cooperação internacional sobre as mudanças climáticas.

Pautada pelas incertezas do futuro e pela forte preocupação com a interferência humana no clima, a partir da observação do aumento da concentração de gases de efeito estufa e dos impactos negativos nos ecossistemas naturais e na humanidade, a convenção estabeleceu como compromisso comum e diferenciado entre os membros a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa de modo a assegurar a sustentabilidade da produção de alimentos e do desenvolvimento econômico (ONU, 2012).

Os países signatários da UNFCCC comprometeram-se na elaboração de uma estratégia global de proteção do clima, na qual, dentre as obrigações assumidas por todas as partes, estava elaborar inventários nacionais de emissão de gases de efeito estufa. As orientações técnicas repassada aos membros signatários eram as diretrizes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 1996), juntamente com um manual de orientação de boas práticas e Gerenciamento de Incertezas em Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (IPCC, 2000).

Em 2006, o IPCC lançou novas diretrizes para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (IPCC, 2006), com uma abordagem mais abrangente e com maior número de fontes e sumidouros de emissão, além de valores padrões para o cálculo das estimativas de emissão, compilando e complementando os documentos já lançados.

Muito embora as diretrizes do IPCC de 2006 estabeleçam metodologias genéricas para a elaboração de inventários de emissão, ao mesmo tempo incentiva aos países a buscarem um aprofundamento do tema a depender de suas próprias necessidades, disponibilidade de dados locais e capacidades técnicas. Os usuários são encorajados a avançar nos estudos de forma a garantir um maior detalhamento técnico e representação da realidade em função de suas particularidades.

Dentre os setores objeto de inventários nacionais elencados de acordo com as diretrizes do IPCC de 2006 estão: (a) Energia, (b) Processos Industriais e Uso de Produto, (c) Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra e (d) Resíduos. A respeito do terceiro grupo, as emissões antrópicas de gases de efeito estufa, bem como os sumidouros são definidas como todas aquelas resultantes do “manejo do solo”. O uso e manejo do solo influenciam uma série de processos que afetam o fluxo de gases de efeito estufa como fotossíntese, respiração, decomposição, nitrificação/desnitrificação, fermentação entérica e combustão. Tais processos envolvem a transformação do carbono e nitrogênio tanto por métodos biológicos (atividades de microrganismos, plantas e animais), quanto por métodos físicos (combustão, lixiviação e escoamento superficial) (IPCC, 2006).

### **1.2.2 Etanol e o potencial de mitigação de gases de efeito estufa**

No Brasil, as emissões contabilizadas tendo como base o ano de 2005, classificaram os seguintes setores: florestas e conversão de áreas naturais em pastagens com 51,9% das emissões totais, queima de combustíveis fósseis com 16,8%; fermentação entérica da criação de gado bovino com 12%; emissões de solos agrícolas com 9,3% e os outros setores com 10%. As emissões provenientes de solos agrícolas apresentaram um crescimento de 30,7% quando comparado ao

ano de 1994, ficando atrás apenas da queima de combustíveis fósseis que teve um crescimento de 44,4% (CERRI et al., 2009).

O segmento do agronegócio é responsável por 22,4% do PIB, um terço dos empregos e 37% das exportações brasileiras (CNA, 2012). Dados do IBGE demonstram que a participação da cultura da cana-de-açúcar no valor de produção agrícola foi de 18,4% no ano de 2010, figurando-se como o segundo maior valor no âmbito nacional. Segundo uma publicação da Confederação Nacional da Indústria, o Brasil é tido como pioneiro na utilização em larga escala de biocombustível renovável como matriz energética veicular (CNI, 2013). De acordo com a FAO (2008), Brasil e Estados Unidos respondem por aproximadamente 90% da produção mundial de etanol.

O uso de combustíveis fósseis como fonte energética no mundo é predominante, na qual o carvão, petróleo e gás juntos, representam mais de 80% do total. Em termos globais, os biocombustíveis líquidos têm uma participação muito limitada, já que representam apenas 1,9% do fornecimento total da energia, na qual 0,9% referem-se ao setor de transporte, com projeção de crescimento para até 3,5% para o ano de 2030, sendo que o etanol representa 85% de toda a produção (FAO, 2008). No entanto, o etanol brasileiro sozinho, mediante a produção e uso, promoveu uma redução de 0,1% das emissões mundiais associadas à energia para o ano de 2006, o que equivale a 60% de todos os créditos de carbono gerados pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) da ONU desde o início de sua implantação (UNICA, 2011).

Dados da Agência Internacional de Energia (IEA), mostram que o etanol proveniente da cana-de-açúcar pode promover uma redução das emissões de CO<sub>2</sub> em até 90% em comparação ao uso de gasolina, pois o mesmo utiliza de 10 a 12% da entrada de energia em combustíveis fósseis em relação ao montante de energia final gerado. As estimativas da IEA reportam a uma emissão de 0,2 a 0,3 kg CO<sub>2</sub> por litro de etanol, enquanto que no uso da gasolina, as emissões ficariam ao redor de 2,8 kg CO<sub>2</sub> por litro de gasolina.

A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA), coordenadora do programa “Renewable Fuel Standard” (RFS) recomenda o uso de combustíveis renováveis, bem como a adição de etanol na gasolina. Dentre as vantagens por ela elencadas,

estão: redução significativa da emissão de gases de efeito estufa, menor dependência da importação de petróleo e incentivo ao desenvolvimento de todo o setor de renováveis.

Em 2006, em uma análise da contribuição do etanol na redução das emissões de gases de efeito estufa no Brasil, a substituição da gasolina pelo etanol promove um abatimento de 22% das emissões finais nos setores de transporte e geração de energia elétrica, com a projeção de atingir até 43% para o ano de 2020. Em se tratando do consumo total de energia, que abrange os campos: elétrico, industrial, transporte, residencial e outros, o consumo de etanol evitou as emissões equivalentes a 10% do total das emissões do período de 1990 a 2006 e poderá alcançar até 18% para o ano de 2020, excluindo as mudanças de uso da terra e do setor agrícola (UNICA, 2011).

A determinação do potencial de mitigação de gases de efeito estufa e da substituição efetiva de combustíveis fósseis pelo uso de bicomcombustíveis deve ser suportada por estudos de impactos ambientais, particularmente por metodologias que visam analisar o balanço de emissões de GEE e o consumo de energia fóssil nos diferentes sistemas produtivos.

A quantificação das emissões de gases de efeito estufa da cultura da cana-de-açúcar tem sido objeto de constantes estudos na comunidade científica. Inúmeros trabalhos têm demonstrado as vantagens estratégicas do etanol proveniente da cana-de-açúcar como forma de mitigação de gases de efeito estufa em comparação às outras culturas bioenergéticas e ao uso de combustíveis fósseis (BÖRJESSON, 2009; OLIVEIRA et al., 2005; IEA, 2004; NGUYEN et al., 2007; RENOUF et al., 2008; UNEP, 2009). Porém, as rápidas transformações no setor canavieiro tanto no setor agrícola quanto industrial continuam a suscitar debates e demandar novos estudos.

Mudanças tecnológicas como aumento da produtividade da cultura, geração de energia elétrica em virtude do recolhimento e queima da palha depositada no solo em razão da colheita crua mecanizada e o aumento da eficiência do uso de diesel são medidas futuras projetadas que garantirão uma redução das emissões de gases de efeito estufa e aumento da proporção entre a energia renovável obtida em

relação à energia fóssil consumida (MACEDO et al., 2008; SEABRA et al., 2011; NGUYEN et al., 2010).

Porém, segundo GARCÍA et al. (2011), há uma grande disparidade de informações presente na literatura científica ao que condiz aos estudos de ciclo de vida focando na emissão de gases de efeito estufa e balanço de energia. Segundo o mesmo autor, tal fato se deve às diferentes metodologias e suposições adotadas, como abrangência do sistema produtivo, quantidade de insumos, fatores de emissão, inclusão e exclusão de co-produtos e diversos métodos de alocação das emissões de co-produtos.

Neste trabalho contabilizou-se a participação e evolução das principais fontes de emissão e etapas agrícolas, bem como do papel do manejo da cana-de-açúcar nas emissões de gases de efeito estufa no período de 2006 a 2012. Além disso, como no Brasil não há a obrigatoriedade de realização de inventários municipais, sendo que os mesmos atuam majoritariamente no fornecimento de informações, foi realizado um inventário das emissões oriundas da etapa agrícola de colheita da cana-de-açúcar nos municípios paulistas. Objetivando estabelecer um panorama das emissões, os resultados podem vir a servir como subsídios na identificação de oportunidades de mitigação.

## 1.2 REFERÊNCIAS

ANFAVEA 2012: anuário da indústria automobilística brasileira. São Paulo: Associação Nacional dos Fabricantes dos Veículos Automotores, 2012. 158p.

Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/anuario2012/anuarioanfavea2012.zip>>  
.Acesso: 29 ago. 2012

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2012. **Ano base 2011**: resultados preliminares. Rio de Janeiro: EPE, 2012. 51p.

Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados\\_Pre\\_BEN\\_2012.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf)>  
Acesso em: 29 ago. 2012.

BÖRJESSON, P. Good or bad bioethanol from a greenhouse gas perspective – what determines this? **Applied Energy**, London, v. 86, p. 589–594, 2009.

BRASIL. Lei nº 12.1187/2009: Institui a política nacional sobre mudança do clima – PNMC e dá outras providências. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm)>. Acesso em: 30 ago. 2012

CERRI, C.C.; MAIA, S.M.F.; GALDOS, M.V.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n.6, p. 831-843, 2009

CNA. **Análise do PIB das cadeias produtivas de algodão, cana-de-açúcar, soja, pecuária de corte e de leite no Brasil**. Brasília: Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil, 2012. 68p.

Disponível em: <<http://www.canaldoprodutor.com.br/sites/default/files/pib-cadeias-produtivas-web.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2012.

CNI. **Indústria automobilística e sustentabilidade**. Brasília: Confederação Nacional da indústria, 2012. 45p.

Disponível em: <[http://www.cnisustentabilidade.com.br/docs/ANFAVEA\\_RIO20\\_web.pdf](http://www.cnisustentabilidade.com.br/docs/ANFAVEA_RIO20_web.pdf)>. Acesso em: 29 out. 2012.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira**: cana-de-açúcar, safra 2012/2013, segundo levantamento, abril 2013. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2012. Disponível em:



< [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_08\\_10\\_14\\_57\\_19\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_agosto\\_2012\\_2o\\_lev.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_10_14_57_19_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf)>. Acesso em: 24 ago. 2012.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY U.S. **Technical Highlights: E85 and Flex Fuel Vehicles.** 2010. Disponível em: < <http://www.epa.gov/otaq/fuels/renewablefuels/documents/420f10010a.pdf>> Acesso em: 24 ago. 2012.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT.** 2010. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/index.html#VISUALIZE>> Acesso em: 24 ago. 2012.

FAO. **The State of Food and Agriculture: Biofuels: Prospects, Risks, and Opportunities.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2008.

GARCÍA C.A., A. FUENTES, A. HENNECKE, E. RIEGELHAUPT, F. MANZINI AND O. MASERA. Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico. **Applied Energy**, London, v.6, p. 2088-2097, 2011.

HANSEN, J., NAZARENKO, L., RUEDY, R., SATO, M., WILLIS, J., DEL GENIO, A., KOCH, D., LACIS, A., LO, K., MENON, S., NOVAKOV, T., PERLWITZ, J., RUSSELL, G., SCHMIDT, G.A., AND TAUSNEV, N. (2005). Earth's energy imbalance: confirmation and implications. **Science**, Washington, v.308, p. 1431-1435, 2005.

IBGE. **Culturas temporárias e permanentes.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. v.37, 91p. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/PAM2010\\_Publicacao\\_completa.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pam/2010/PAM2010_Publicacao_completa.pdf)> Acesso em: 24 ago. 2012.

IEA. **Biofuels for transport: an international perspective.** Paris: OECD/IEA, 2004.

IEA. **Biofuel Production.** Paris: International Energy Agency, 2007. Disponível em: <<http://www.iea.org/techno/essentials2.pdf>>. Acesso em: 24 ago. 2012.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate **Change. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.**

Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>>. Acesso em: 24 ago. 2012.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Good practice guidance and uncertainty management in National Greenhouse gas inventories**. 2000. Disponível em: <[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/Table\\_of\\_contents.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/Table_of_contents.pdf)> Acesso em: 18 fev. 2012.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. 2006, v.4, chapter 1. Disponível em: <[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_01\\_Ch1\\_Introduction.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_01_Ch1_Introduction.pdf)>. Acesso em: 18 fev. 2012.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Summary for policymakers. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation**. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007a. p. 3-21.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. In: SOLOMON, S. (Ed.). **Climate change 2007: the physical science basis, contribution of working group I to the fourth assessment report of the IPCC**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007b. 996p.

MACEDO I.C.; SEABRA J.E.A.; SILVA, J.E.A.R. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 9, p. 582–595, 2008

MAPA. **Relação das unidades produtoras cadastradas no departamento da cana-de-açúcar e agroenergia**. 2012. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/Desenvolvimento\\_Sustentavel/Agroenergia/Orientacoes\\_Tecnicas/Usinas%20e%20Destilarias%20Cadastradas/DADOS\\_PR\\_ODUTORES\\_23-08-2012.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/Orientacoes_Tecnicas/Usinas%20e%20Destilarias%20Cadastradas/DADOS_PR_ODUTORES_23-08-2012.pdf)>. Acesso em: 29 ago. 2012.

NGUYEN, T.L.T.; GHEEWALA, S.H.; GARIVAIT, S. Fossil energy savings and GHG mitigation potentials of ethanol as a gasoline substitute in Thailand. **Energy Policy**, v.35, n.10, p. 5195–5205, 2007.

NGUYEN, T.L.T.; GHEEWALA, S.H.; SAGISAKA, M. Greenhouse gas savings potential of sugar cane bio-energy systems. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v.18, p.412–418, 2010.

OLIVEIRA, M.E.D. de, VAUGHAN, B.E; RYKIEL, E.J. Ethanol as fuel: Energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint. **BioScience**, Washington, v.55, p.593–602, 2005.

OMETTO, A.R; ROMA, W.N.L. Atmospheric impacts of the life cycle emissions of fuel ethanol in Brazil: based on chemical energy. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v.18, p. 71–76, 2010.

ONU. **Convenção sobre mudança do clima**. 2012. Disponível em: <[http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/convencao\\_clima.pdf](http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/convencao_clima.pdf)> Acesso em: 7 fev. 2013.

RENOUF, M.A.; WEGENER, M.K.; NIELSEN, L.K. An environmental lifecycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as producers of sugars for fermentation. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.32, p.1144-1155, 2008.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº 11.241/2002: Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei%20n.11.241,%20de%2019.09.2002.htm>>. Acesso em: 30 ago.2012

SEABRA, J.E.A.; MACEDO, I.C., CHUM, H.L., FARONI, C.E., SARTO, C.A. Life cycle assessment of Brazilian sugarcane products: GHG emissions and energy use. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Chichester, v.5, p. 519-532, 2011.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Lista de unidades agroindustriais do setor sucroenergético certificadas**. 2012. Disponível em: <[http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/documentos/lista\\_usinas\\_21062012.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/documentos/lista_usinas_21062012.pdf)> Acesso em: 30 ago. 2012.

SMITH, P., D.; MARTINO, Z.; CAI, D.; GWARY, H.; JANZEN, P.; KUMAR, B. MCCARL, S. OGLE, F. O'MARA, C. RICE, B. SCHOLE, O. SIROTKO. In:

METZ, b. (Ed.). **Agriculture. Climate Change 2007**: mitigation. contribution of working group iii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p.497-540.

TRENBERTH, K.; FASULLO, J.; KIEHL, J. Earth's global energy budget. Bulletin of the American Meteorological Society, 2009.

UNEP- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Towards sustainable production and use of resources**: Assessing Biofuels. Full report, 2009.

UNICA. **Protocolo Agroambiental**. Disponível em: <[http://unica.com.br/userFiles/Protocolo\\_Assinado\\_Agroambiental.pdf](http://unica.com.br/userFiles/Protocolo_Assinado_Agroambiental.pdf)> Acesso em: 30 ago. 2012.

UNICA. **Ethanol and bioelectricity** : sugarcane in the future of the energy matrix / coordination and supervision Eduardo L. Leão de Sousa e Isaias de Carvalho Macedo ; English translation Brian Nicholson] . São Paulo. 2011. Disponível em: <<http://sugarcane.org/resource-library/books/Ethanol%20and%20Bioelectricity%20book.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2012.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Greenhouse Gas Bulletin**, 2012. Disponível em: <[http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press\\_releases/documents/GHG\\_Bulletin\\_No.8\\_en.pdf](http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/documents/GHG_Bulletin_No.8_en.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2012.

## **CAPÍTULO 2. EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO DA CANA-DE-AÇÚCARNO ESTADO DE SÃO PAULO, DE 2006 A 2012**

**RESUMO** – Há uma crescente demanda por soluções sustentáveis que conciliem o incremento da produção agrícola com a redução dos impactos ambientais. A progressiva substituição da prática de colheita queimada pela colheita crua mecanizada na cultura da cana-de-açúcar, somado ao rápido crescimento da produção canavieira no Brasil, tem sido motivo de debates a respeito da contribuição do setor agrícola nas emissões de gases de efeito estufa. Este estudo consiste em um inventário de emissões da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, Brasil, entre os anos de 2006 e 2012, na qual foram contabilizadas as principais fontes de emissão de GEE para a produção agrícola. Baseado nas metodologias do IPCC e numa ampla revisão de literatura, os resultados demonstram que a mudança no manejo da colheita de queimada para crua promoveu uma redução das emissões de 901 para 686 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ou 24% na fase de colheita e um aumento de 1.418,3 para 1.507,9 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ou 6% na fase de tratamento de soqueira. Quando analisado as emissões por unidade de área cultivada, com exceção das mudanças das áreas relativas à expansão e reforma do canavial, observou-se uma queda de 2.275 para 2.034 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ou 11% nas emissões de gases de efeito estufa. A eliminação gradual da prática de queima do canavial tem contribuído para a redução das emissões de gases de efeito estufa e tem se mostrado como um importante passo para alcançar um sistema de produção mais sustentável.

**Palavras chave:** Inventário de emissões de GEE; produção de etanol; colheita da cana-de-açúcar; queima de resíduos; avaliação da sustentabilidade.

## CHAPTER 2. GREENHOUSE GAS EMISSIONS UNDER DIFFERENT SUGARCANE CROP MANAGEMENT IN SÃO PAULO STATE FROM 2006 TO 2012

**ABSTRACT** – There is a growing need of sustainable solutions for balancing agricultural production with the reduction of environmental impacts. The progressive replacement of the pre-harvest burning practice by green harvest in sugarcane crop, allied with the rapid increase in sugarcane production in Brazil, have brought into debate the contribution of the agriculture sector for greenhouse gas emissions. This study consists in an emissions inventory of sugarcane crop in São Paulo state, southern Brazil, between 2006 and 2012, where we accounted for the main greenhouse gas emission sources from the sugarcane crop production. Based on IPCC methodologies and a wide scientific literature review, the results showed that the change in harvest practice from pre-harvest burning to green harvest have promoted a reduction in greenhouse gas emissions from 901 to 686 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> or 24% in the sugarcane harvest and an increase from 1,418.3 to 1,507.9 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> or 6% in the sugarcane ratoons. When we analyzed the emissions per unit of cultivated area, except the changes from sugarcane expansion and sugarcane renewal, we observed a decrease from 2,275 to 2,034 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> or 11% in GHG emissions. The gradual elimination of the pre-harvest burning practice have contributed to the reduction of greenhouse gas emissions and showed to be an important step to achieve a more sustainable sugarcane production system.

**Keywords:** GHG inventory; ethanol production; sugarcane harvest; burning residues; assessment of sustainability.

## 2.1 INTRODUÇÃO

De acordo com Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (em inglês, IPCC), a produção agrícola mundial poderá vir a ser seriamente afetada pelas mudanças climáticas decorrentes do aumento da concentração de gases de efeito estufa (GEE) (IPCC, 2007). Em 2005, o setor agrícola foi responsável pela emissão de 5,1 a 6,1 Gt CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup> (giga toneladas; Gt = 10<sup>9</sup> toneladas), que correspondeu de 10-12% do total das emissões antropogênicas de GEE (SMITH et al., 2007).

Apesar da incerteza da contribuição do setor canavieiro nas emissões líquidas de GEE (CERRI et al., 2009), a utilização de biocombustíveis, em substituição aos combustíveis fósseis, tem sido sugerida como uma opção mitigadora de emissões desses gases, considerando que o etanol proveniente da cana-de-açúcar pode promover uma redução de 85% a até 90% nas emissões de GEE (BÖRJESSON, 2009; IEA, 2007). Além disso, quando comparado com outras culturas bioenergéticas, como beterraba, milho ou sorgo, a cana-de-açúcar é considerada a opção mais efetiva na mitigação GEE (RENOUF et al., 2008).

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, com 671 milhões de toneladas ou 35% da produção mundial (FAO, 2012), sendo o Estado de São Paulo responsável por 56% da produção nacional no ano safra de 2012/13 (CONAB, 2012). Há dois principais sistemas de colheita na cana-de-açúcar: cana queimada (CQ) e cana crua (CC). No entanto, a CC tornou-se recentemente a prática mais comum, particularmente no Estado de São Paulo, onde um grande esforço para reduzir os impactos ambientais e de saúde negativos oriundos da CQ está ocorrendo (SÃO PAULO, 2012). Um aumento significativo no nível de mecanização da colheita foi motivado pelo programa etanol verde assinado pela secretaria do meio ambiente do Estado de São Paulo e o setor canavieiro visando eliminar a prática CQ na maior parte das áreas cultivadas com cana-de-açúcar até 2014. Além disso, a política nacional do meio ambiente (lei federal Nº 12.187/2009) (BRASIL, 2009) estabelece que o Brasil, como compromisso nacional voluntário, deve reduzir as suas emissões projetadas de gases de efeito estufa entre 36,1 e 38,9% até 2020, com uma redução absoluta entre 1.168 e 1.259 Gt CO<sub>2</sub> eq respectivamente, baseado em suas emissões estimadas em 2005.

O objetivo deste trabalho foi estimar e comparar as emissões de GEE da produção da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, considerando as mudanças do sistema de colheita e conseqüentemente do manejo nas safras de 2006 a 2012, identificando as principais fontes de emissão nos cenários de produção.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Descrição dos mapas temáticos da cana-de-açúcar

Os mapas temáticos da cultura da cana-de-açúcar no período de 2006 a 2012 classificados de acordo com a prática de colheita (Figura 1) e o manejo do cultivo da cultura foram obtidos através do projeto CANASAT ([www.dsr.inpe.br/laf/canasat](http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat)). Os sistemas de cultivo foram definidos como (Tabela 1): (a) Expansão: áreas de cana-de-açúcar plantadas em uma nova área a serem colhidas pela primeira vez; (b) Reformada: áreas de cana-de-açúcar que foram renovadas com uma rotação de cultura e estão disponíveis para colheita; (c) Soqueira: refere-se às áreas de cana-de-açúcar em brotação (soqueiras) após serem colhidas na safra anterior, já que a cana-de-açúcar é uma cultura semi-perene e sua colheita é feita anualmente por 5 a 6 vezes antes de ser reformada. Os manejos de colheita foram: cana queimada (CQ) para as áreas de cana que são queimadas previamente antes da colheita manual e cana crua (CC) para as áreas de cana-de-açúcar que são colhidas mecanicamente sem a prática de queima.

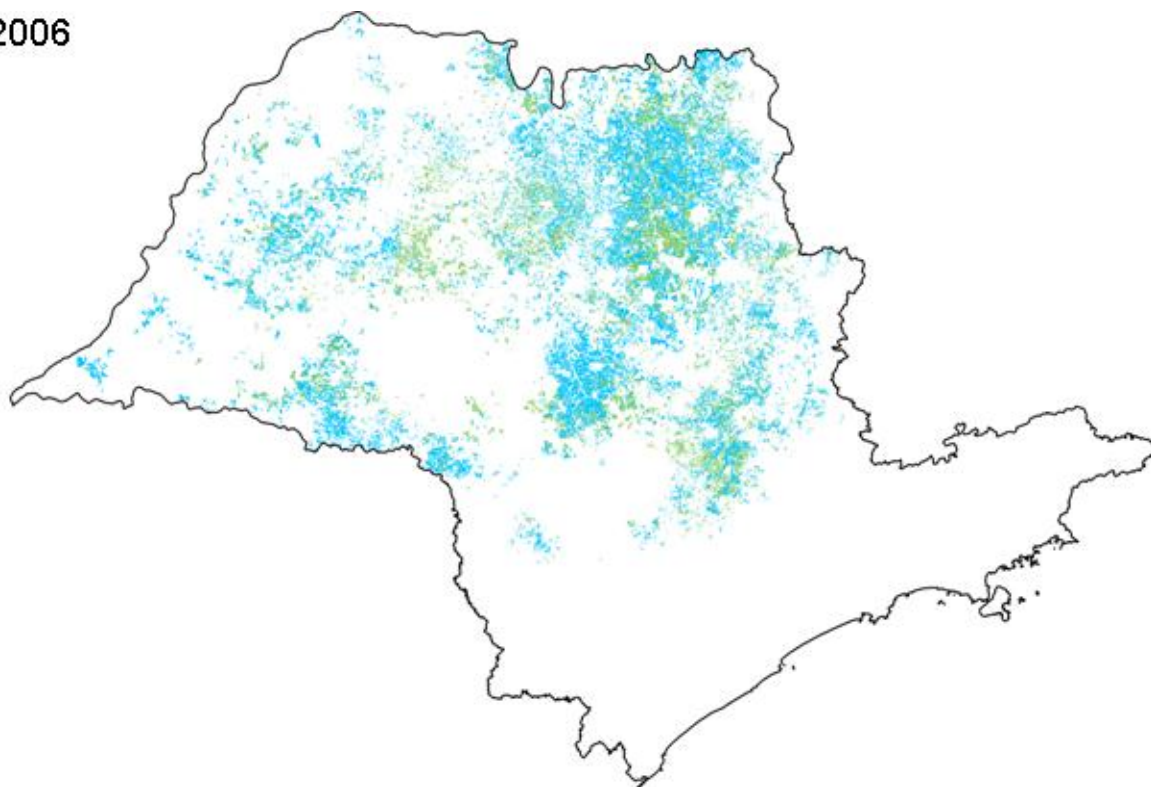
Tabela 1. Áreas cultivadas de cana-de-açúcar (ha) nas classes: Expansão, Reformada, Colheita e Soqueira, no Estado de São Paulo, de 2006 a 2012.

Ano	Expansão	Reformada	Colheita		Soqueira	
			CC	CQ	CC	CQ
2006	305.603	306.684	1.110.120	2.131.990	966.166	1.877.347
2007	636.814	287.993	1.764.992	2.025.448	1.317.001	1.554.197
2008	661.874	428.663	1.924.075	1.997.630	1.738.155	1.835.465
2009	321.801	344.710	2.266.403	1.810.531	2.074.805	1.660.890
2010	137.445	306.883	2.627.025	2.101.110	2.320.867	1.859.199
2011	156.437	531.759	3.125.619	1.670.521	2.703.795	1.421.403
2012	216.415	667.838	3.381.313	1.277.003	2.936.528	1.103.364

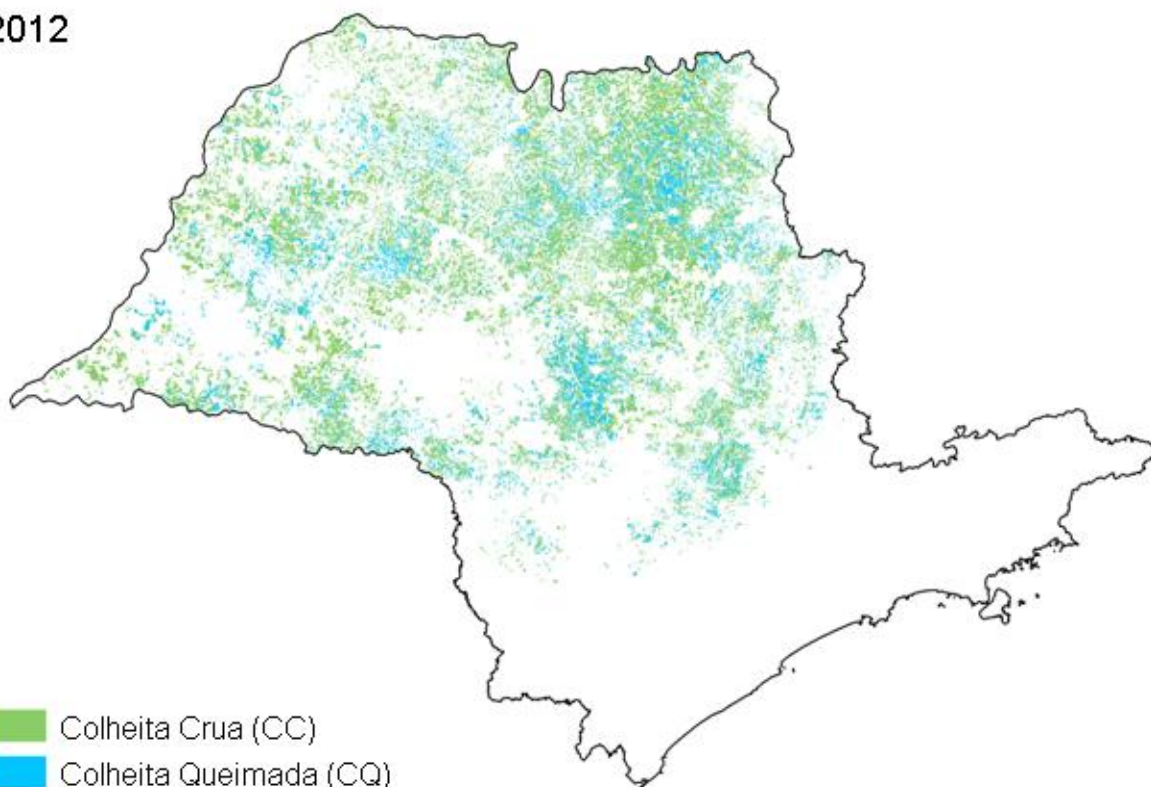
Fonte: Projeto CANASAT -INPE (<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/>).



2006



2012



- Colheita Crua (CC)
- Colheita Queimada (CQ)

Figura 1. Representação esquemática das áreas colhidas sob manejo cana crua (CC) e cana queimada (CQ) no Estado de São Paulo nos anos de 2006 e 2012. (Fonte: [www.dsr.inpe.br/laf/canasat/](http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat/)).

### 2.2.2. Metodologia e fontes de emissão

As seguintes fontes de GEE foram consideradas: a) queima de resíduos no sistema de colheita manual com queima prévia do canavial (emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O); b) aplicação de calcário; c) práticas associadas ao manejo dos solos, incluindo as emissões diretas e indiretas de N<sub>2</sub>O; d) Uso de compostos orgânicos (vinhaça e torta de filtro); e) resíduos da cultura depositados na superfície do solo devido à colheita no sistema cru mecanizado; f) aplicação de defensivos agrícolas (herbicida e inseticida); g) emissões associadas à produção dos fertilizantes P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O; g) fontes móveis, relacionado ao consumo de diesel nas operações agrícolas (Figura 2).

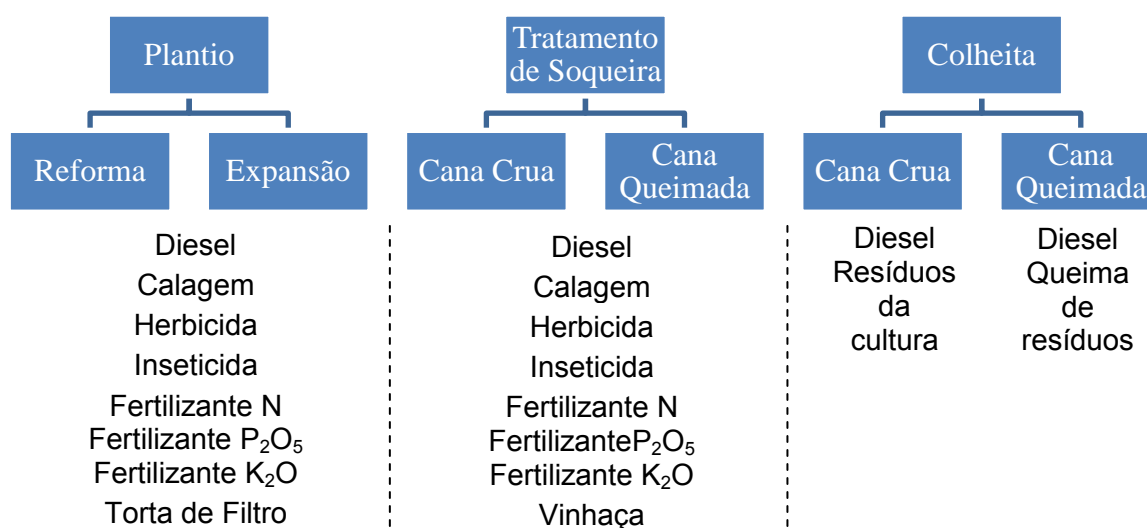


Figura 2. Fontes de emissão de GEE consideradas neste estudo.

As emissões de GEE foram expressas em termos de CO<sub>2</sub> equivalente, de acordo com o potencial de aquecimento individual para cada gás no período de 100 anos, sendo 1 para CO<sub>2</sub>, 25 para CH<sub>4</sub> e 298 para N<sub>2</sub>O (IPCC, 2007). Os fatores de emissão adotados neste estudo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Fatores médios de emissão utilizados neste inventário de GEE

Fontes	Fator de emissão médio	Unidade
Diesel	3,252	(kg CO <sub>2</sub> eq L <sup>-1</sup> )
Inseticida	29,00	(kg CO <sub>2</sub> eq kg i.a <sup>-1</sup> )
Herbicida	25,00	(kg CO <sub>2</sub> eq kg i.a <sup>-1</sup> )
Fertilizante N	10,17	(kg CO <sub>2</sub> eq kg N <sup>-1</sup> )
Fertilizante P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,73	(kg CO <sub>2</sub> eq kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>-1</sup> )
Fertilizante K <sub>2</sub> O	0,55	(kg CO <sub>2</sub> eq kg K <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> )
Calcário	0,49	(kg CO <sub>2</sub> eq kg calcário <sup>-1</sup> )
Queima de resíduos	815,46	(kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup> )

### 2.2.2.1. Queima prévia do canavial

As emissões da queima dos resíduos da cana-de-açúcar foram quantificadas de acordo com o método proposto pelo IPCC (2006), por meio do "Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories", na qual somente o metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) da queima dos resíduos vegetais são contabilizados, uma vez que as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e monóxido de carbono (CO) (rapidamente convertidos em CO<sub>2</sub> na atmosfera) são compensadas durante o crescimento da cultura no próximo ciclo.

O cálculo das emissões de GEE é feito com base na quantidade de resíduos produzidos pela cultura. Neste estudo, considerou-se uma produtividade média de 82,4t ha<sup>-1</sup> e a geração de 140 kg de matéria seca por tonelada de cana-de-açúcar (MACEDO et. al., 2004). Os fatores de emissão considerados foram de 2,7 e 0,07 para o CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O (g kg<sup>-1</sup> de matéria seca queimada), respectivamente (ANDREA; MERLET, 2001). O fator de combustão adotado foi de 0,80 (IPCC, 2006). Deste modo, as emissões provenientes da queima prévia do canavial contabilizaram um valor médio de 815,46kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>.

### 2.2.2.2. Operação de calagem

O consumo médio de calcário no Estado de São Paulo é de 2 t ha<sup>-1</sup> na renovação e 1 t ha<sup>-1</sup> durante a fase de tratamento de soqueira em anos intercalados (AGRIANUAL CTC, 2012). O fator de emissão adotado neste estudo foi de 0,49 kg CO<sub>2</sub> eq kg<sup>-1</sup> de calcário (MACEDO et. al., 2008), incluindo as emissões indiretas devido à produção do mesmo (Tabela 2)

### 2.2.2.3. Emissões diretas e indiretas de N<sub>2</sub>O

As emissões de N<sub>2</sub>O estão relacionadas com a quantidade aplicada de fertilizante N sintético, uso de compostos orgânicos (vinhaça e torta de filtro) e com o N dos resíduos da cultura que retornam à superfície do solo após a operação de colheita no sistema cru mecanizado.

No cálculo das emissões de N<sub>2</sub>O, utilizou-se a metodologia do IPCC (2006), na qual o fator de emissão de 1% foi aplicado ao N presente na vinhaça, na torta de filtro, nos fertilizantes nitrogenados sintéticos e nos resíduos da cultura, como emissão direta. Para as emissões indiretas, o fator de 1% foi aplicado sobre a fração de 20% do N volatilizado dos compostos orgânicos (vinhaça e torta de filtro) e de 10% para os fertilizantes sintéticos. No cálculo das emissões indiretas de N<sub>2</sub>O devido à lixiviação e escoamento superficial da vinhaça, torta de filtro, resíduos da cultura e fertilizante nitrogenado sintético, foi contabilizada a fração de 30% do total e aplicou-se um fator de emissão de 0,75% (IPCC, 2006).

Neste estudo, considerou também, o fator de emissão de 3,97 kg CO<sub>2</sub> eq kg N<sup>-1</sup> para as emissões relativas à produção e transporte do fertilizante nitrogenado sintético (MACEDO et al., 2008). Deste modo, o fator de emissão adotado para o fertilizante nitrogenado sintético foi de 10,17 kg CO<sub>2</sub> eq kg N<sup>-1</sup> (Tabela 2).

### 2.2.2.4. Compostos orgânicos

A aplicação de vinhaça na cultura é variável de acordo com as características do solo, concentração de potássio e necessidades nutricionais da cana-de-açúcar. No Brasil, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), dispõe da norma técnica P4.231 estabelecendo os critérios e procedimentos de aplicação da vinhaça. Os teores médios de nitrogênio (N), fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e potássio (K<sub>2</sub>O) contidos na vinhaça e adotados neste estudo foram de 0,433, 0,034 e 2,206 kg m<sup>-3</sup> respectivamente (FIESP, 2009). A dose da vinhaça adotada foi 120 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (DE FIGUEIREDO; LA SCALA, 2011).

Em relação à torta de filtro, os cálculos foram realizados tendo por base a recomendação do boletim 100, com dose de 30 t ha<sup>-1</sup> e dedução de metade da adubação fosfática sintética nas áreas aplicadas. A torta de filtro adotada possui

77% de umidade e composição úmida de 3 g kg<sup>-1</sup> de N, 2 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 0,6 g kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (RAIJ et al., 1996).

Neste trabalho, foi assumido que toda a vinhaça e torta de filtro produzida no Estado de São Paulo foram aplicadas nas áreas de cana-de-açúcar. As estimativas do montante produzido no Estado de São Paulo foram feitas com base na relação 12 L L<sup>-1</sup> de etanol e 30 kg t<sup>-1</sup> de cana-de-açúcar para a vinhaça e torta de filtro respectivamente (FIESP, 2009) (Tabela 3). Adotou-se, arbitrariamente, que a aplicação de vinhaça foi realizada, primeiramente, nas áreas de soqueira sob manejo de cana crua seguido das áreas sob manejo de cana queimada. Em relação à torta de filtro foi considerado que a aplicação ocorreu somente nas áreas renovadas.

Tabela 3. Produção de cana-de-açúcar, etanol, e estimativas do montante de vinhaça e torta de filtro em São Paulo.

Ano-Safra	Produção total			
	Cana (t)	Etanol (m <sup>3</sup> )	Vinhaça* (m <sup>3</sup> )	Torta de filtro* (t)
2006/2007	265.379.217	11.060.113	132.721.356	7.961.377
2007/2008	297.135.707	13.351.305	160.215.660	8.914.071
2008/2009	352.277.735	16.904.039	202.848.468	10.568.332
2009/2010	362.644.755	14.918.631	179.023.572	10.879.343
2010/2011	361.723.269	15.465.605	185.587.260	10.851.698
2011/2012	305.636.316	11.639.325	139.671.900	9.169.089
2012/2013	331.173.721	12.018.061	144.216.732	9.935.211

Fonte: Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento – SAPCANA

\*Estimado pelo autor: Vinhaça: 12 L L<sup>-1</sup> de etanol; Torta de filtro: 30 kg t de cana<sup>-1</sup> (FIESP, 2009).

### 2.2.2.5. Aplicação de defensivos agrícolas

A quantidade de defensivos agrícolas aplicados por unidade de área foi estimada com base no montante comercializado e destinado de herbicida e inseticida no país para a cultura da cana-de-açúcar. Os dados foram fornecidos pelo SINDAG – Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para a Defesa Agrícola, e o montante comercializado foi dividido pelas áreas cultivadas com cana-de-açúcar no país, conforme o levantamento realizado pelo MAPA – Ministério da Agricultura,

Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2012) (Tabela 4). A quantidade de fungicidas aplicada foi irrelevante e, portanto, não foi considerada neste estudo.

Neste inventário, adotou-se a mesma quantidade de herbicida para o manejo CC e CQ, sendo metade da dose estimada aplicada durante o plantio e o restante no tratamento de soqueira. A aplicação de inseticida ocorreu somente durante a operação de plantio para a CQ e na fase de plantio e tratamento de soqueira para a CC. Os fatores de emissão de GEE relacionados ao uso de defensivos, conforme sugeridos por MACEDO et al. (2008) foram de 29,0 e 25,0kg CO<sub>2</sub> eq kg<sup>-1</sup> de ingrediente ativo (i.a) de inseticidas e herbicidas aplicados, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 4. Consumo estimado de defensivos agrícolas na cultura da cana-de-açúcar.

Classe	Produção (t i.a) e consumo (kg de i.a ha <sup>-1</sup> )						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Herbicida (kg ha <sup>-1</sup> )*	20.942 3,40	26.129 3,76	24.857 3,52	22.836 3,08	23.915 2,97	27.830 3,33	41.138 4,85
Inseticida (kg ha <sup>-1</sup> )*	1.700 0,28	1.885 0,27	1.808 0,26	1.399 0,19	2.264 0,28	1.797 0,21	2.255 0,27

Fonte: SINDAG- Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola.

Informação de área cultivada foi baseada no: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). \*Estimado pelo autor.

#### 2.2.2.6. Consumo de diesel

O cultivo de cana-de-açúcar demanda um grande consumo de óleo diesel, principalmente devido ao uso de máquinas agrícolas como tratores e caminhões. O consumo total de diesel no cenário de produção brasileiro varia de 164 L ha<sup>-1</sup> (MACEDO et al., 2008) a 600 L ha<sup>-1</sup> (OLIVEIRA et al., 2005), a depender do escopo adotado ou da porção contabilizada como operação essencial (MACEDO et al., 2008). Neste trabalho, as emissões relacionadas ao uso de diesel foram calculadas de acordo com cada fase agrícola e manejo. Tais valores foram baseados no consumo específico de diesel conforme sugeridos por MACEDO et al. (2004) e estão apresentados na Tabela 5. O fator de emissão adotado foi de 3,252 kg CO<sub>2</sub>eq L<sup>-1</sup>, sendo 2,671 kg CO<sub>2</sub> eq L<sup>-1</sup> referentes às emissões diretas (BRASIL, 2011) e 0,581 kg CO<sub>2</sub>eq L<sup>-1</sup> as emissões indiretas devido à extração, processamento e transporte do combustível (MACEDO et al., 2008).

Tabela 5. Consumo de diesel para cada operação agrícola nos sistemas de manejo cana crua e cana queimada (L ha<sup>-1</sup>)\*.

<b>Operações agrícolas</b>	<b>Cana crua</b>	<b>Cana Queimada</b>
Operação de preparo ou plantio (L ha <sup>-1</sup> )		
Aplicação de calcário	3,73	3,73
Aplicação de Gesso	3,73	3,73
Destruição mecânica da soqueira	11,09	11,09
Destruição química da soqueira	1,60	1,60
Grade pesada I	21,23	21,23
Subsolagem	26,00	26,00
Grade pesada II	20,44	20,44
Grade niveladora	9,38	9,38
Transporte de mudas	17,40	17,40
Aplicação de torta de filtro	9,60	9,60
Abertura dos sulcos e adubação	13,64	13,64
Distribuição de mudas	6,67	6,67
Fechamento dos sulcos e aplicação de inseticida	2,67	2,67
Aplicação de herbicida	1,60	1,60
Sistematização do plantio (quebra de meio)	6,15	6,15
<b>TOTAL (1)</b>	<b>154,93</b>	<b>154,93</b>
Tratamento de soqueiras (L ha <sup>-1</sup> )		
Aleiramento da palha	2,67	-
Adubação	7,08	7,08
Aplicação de calcário	3,73	3,73
Aplicação de herbicida	1,60	1,60
Aplicação de vinhaça (incluindo transporte)	24,7	24,7
<b>TOTAL (2)</b>	<b>39,78</b>	<b>37,11</b>
Colheita (L ha <sup>-1</sup> )		
Colhedora	74,00	-
Carregamento	-	12,70
Reboque/Transbordo	21,20	21,20
Transporte	51,75	51,75
<b>TOTAL (3)</b>	<b>146,95</b>	<b>85,65</b>

\* Adaptado de MACEDO et al. (2004).

### 2.2.2.7. Resíduos da colheita crua

A quantidade de resíduos da cultura deixados sob a superfície do solo após a operação de colheita sob o manejo CC é variável. Nas condições climáticas brasileiras, a relação resíduo/colmo pode variar de 14% (PAES et al., 2005) a 19,9% (TUFAILE NETO, 2005). Deste modo, a quantidade de nitrogênio deixado sob a superfície do solo pode variar de 39 a 60 kg N ha<sup>-1</sup> ou 0,35% (OLIVEIRA et al., 2003) a até 122,1 kg ha<sup>-1</sup> de N ou 0,63% (FRANCO et al., 2007).

Contudo, o nitrogênio presente nos resíduos da cultura da cana-de-açúcar tem uma taxa de decaimento de 3 a 30% durante o primeiro ano agrícola, na qual a cultura absorve de 5% (FRANCO et al., 2007) a 18,4% do N disponível (VITTI et al., 2011). Nas estimativas deste trabalho, adotou-se uma produtividade média de 82,4 t ha<sup>-1</sup> (MACEDO et al., 2004), relação resíduo/colmo de 19%, teor de nitrogênio presente nos resíduos vegetais de 0,5% e nitrogênio disponível para nitrificação e desnitrificação de 12% do total presente na palha, resultando em uma taxa média de 9,4 kg N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> disponível nas áreas sob manejo da cana crua (CC) para ser emitidos na forma de N<sub>2</sub>O.

#### **2.2.2.8. Fertilizantes sintéticos (N - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - K<sub>2</sub>O)**

A aplicação de fertilizantes sintéticos é uma prática destinada a manter a fertilidade do solo e aumentar a produção agrícola. Os resíduos agrícolas como vinhaça e torta de filtro podem ser utilizados para reduzir a quantidade de nutrientes aplicados pela adubação sintética. Neste estudo, adotou-se o manejo diferenciado da adubação nas áreas com e sem vinhaça (Tabela 6). No caso da vinhaça, a quantidade de potássio presente na mesma pode suprir a necessidade de adubação sintética de potássio. Além disso, a torta de filtro pode fornecer até metade das necessidades nutricionais de fósforo da cana-de-açúcar (RAIJ et al., 1996).

Foi considerado que toda a quantidade de torta de filtro produzida foi aplicada prioritariamente nas áreas de renovação do canavial e, se disponível, posteriormente nas áreas de expansão. As emissões de GEE do fósforo e potássio são de 0,73 e 0,55kg CO<sub>2</sub> eq kg<sup>-1</sup> de insumo respectivamente (Tabela 2) e estão relacionadas à produção, processamento e transporte desses insumos.



Tabela 6. Adubação da cana-de-açúcar em cada fase agrícola por hectare\*.

Estádio da cana	N			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			K <sub>2</sub> O		
	(kg ha <sup>-1</sup> )								
Cana planta <sup>(1)</sup>	30			120			120		
Cana crua									
Cana soca + vinhaça <sup>(2)</sup>	100			0			0		
Cana soca <sup>(3)</sup>	100			0			100		
Cana queimada									
Cana soca + vinhaça <sup>(2)</sup>	80			0			0		
Cana soca <sup>(4)</sup>	80			0			80		

\* Adotado pelo autor; <sup>(1)</sup> 500 kg ha<sup>-1</sup> de 6-24-24; <sup>(2)</sup> Fonte Nitrogenada; <sup>(3)</sup> 500 kg ha<sup>-1</sup> de 20-0-20; <sup>(4)</sup> 400 kg ha<sup>-1</sup> de 20-0-20.

## 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1. Emissões associadas à produção agrícola de cana-de-açúcar

Os resultados do inventário indicam que a maior parcela de emissões de GEE é proveniente das soqueiras de cana-de-açúcar correspondendo a 51,7% das emissões, seguido pela colheita com 31,8%, reforma com 9,7% e expansão com 6,8% do total das emissões no período de 2006 a 2012 (Figura 3).

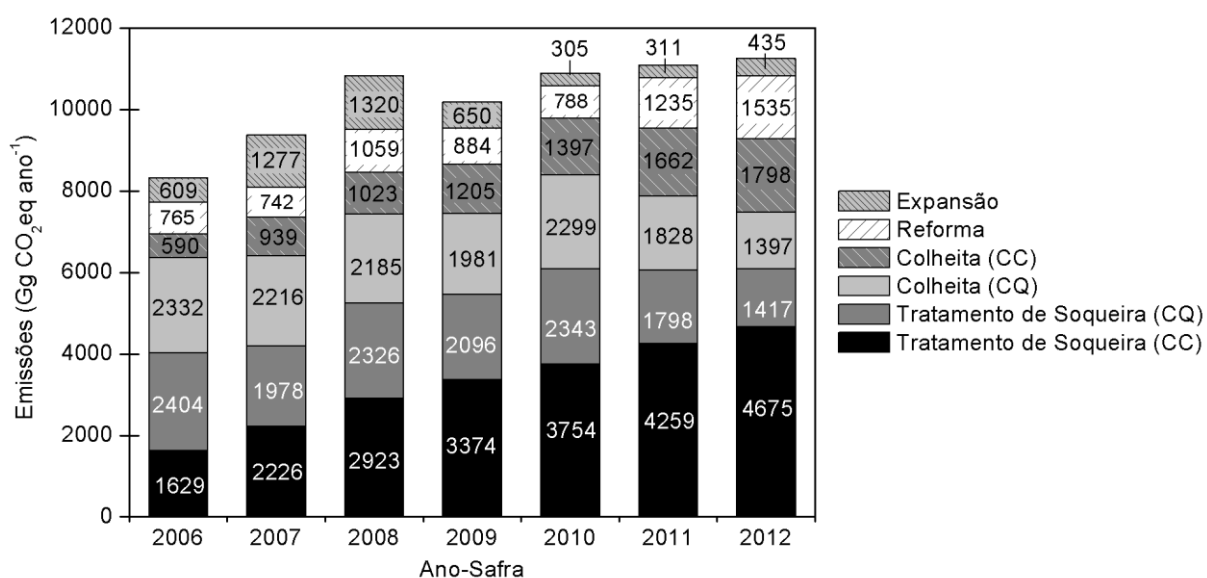


Figura 3. Emissões de GEE (em Gg CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup>) para cada fase agrícola da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

As áreas colhidas de cana-de-açúcar cresceram de 3.242.110 para 4.658.316 ha, ou seja, 44% (Tabela 1), enquanto que as emissões de GEE relacionadas exclusivamente com a fase de colheita cresceram de 2.922,7 para 3.195,2 Gg CO<sub>2</sub> eq, ou seja, 9% (Figura 3) de 2006 a 2012. No mesmo período, a área sob manejo de cana crua (CC) cresceu de 34,2 para 72,6% do total de áreas colhidas (Tabela 1). De acordo com AGUIAR et al. (2011), de 2006 a 2010, a cana-de-açúcar expandiu 1,5 milhões de hectares sob o sistema de manejo CC, porém as áreas sob CQ mantiveram-se estáveis. Uma elevada queda das áreas CQ foi observada nos anos de 2011 e 2012 neste estudo (Tabela 1). O aumento expressivo das áreas CQ foi observado no ano-safra de 2010 e pode ser atribuído à estiagem que atingiu todo o Estado de São Paulo, cujo reflexo foi o favorecimento da maturação de cana e consequente aumento do fluxo de moagem (CONAB, 2011).

Em estudo prévio realizado pela EMBRAPA sobre as emissões de GEE relacionados à queima do canavial paulista, foi demonstrado que entre 1986 e 2008, a área cultivada e a produtividade da cana-de-açúcar cresceram 170 e 23% respectivamente, resultando em um incremento na produção de 180%. Contudo, as emissões relacionadas à operação de colheita cresceram apenas 20,6% (EMBRAPA, 2010). De fato, vários estudos têm demonstrado menores emissões de GEE para o sistema de manejo CC em comparação com o sistema CQ (CAPAZ et al., 2013; GARCÍA et al., 2011; EMBRAPA, 2010; DE FIGUEIREDO; LA SCALA, 2011; BORDONAL et al., 2012). No entanto, a redução das emissões de GEE por hectare devido à conversão do sistema de manejo CQ para CC pode variar de 310,8 (DE FIGUEIREDO; LA SCALA, 2011) a 644 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> (CAPAZ et al., 2013). Neste estudo, considerando o período de 2006 a 2012, a participação da colheita CQ nas emissões totais reduziu de 28 para 12% e, no caso da colheita CC, houve um crescimento de 7 para 15% do total (Figura 3).

Para as soqueiras de cana-de-açúcar, de 2006 a 2012, as áreas cresceram 42% e as emissões de GEE em aproximadamente 51%. As áreas de soqueira sob manejo CC cresceram 204% (Tabela 1), demandando uma maior quantidade de fertilizantes nitrogenados sintético, defensivos e diesel, resultando em maiores emissões (MACEDO et al., 2008; TRIVELIN et al., 2005;).

Uma grande variação das áreas de reforma e expansão foi observada neste estudo. Houve um pico da expansão da cana-de-açúcar no ano-safra de 2008/2009, enquanto que a maior parcela de renovação do canavial ocorreu no ano-safra de 2011/2012 devido à maior quantidade de canaviais velhos. Tal fato causou uma expressiva variação nas emissões ao longo dos anos.

No balanço geral, do Estado de São Paulo, de 2006 a 2012, a área cultivada cresceu 51%, de 3.661.155 para 5.533.186 hectares, enquanto que as emissões apresentaram um crescimento de 35%, passando de 8.329,5 para 11.256,8 Gg CO<sub>2</sub> eq. Em 2009, houve uma redução das emissões de GEE mesmo com o incremento de área cultivada em relação ao ano anterior. Neste ano de 2009, houve uma redução das áreas expandidas em mais de 50% em relação ao ano anterior (Tabela 1). No ano de 2008, o setor canavieiro foi afetado pela crise econômica mundial, que resultou em menor expansão, renovação, tratamento de soqueira e até mesmo a manutenção do parque industrial no ano-safra seguinte (CONAB, 2009).

### **2.3.2. Emissões associadas às fontes de emissão**

As emissões relacionadas ao uso de fertilizante nitrogenado sintético responderam em média por 3.588,6 Gg CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup>, ou seja, 34,9% do total das emissões de GEE no período de 2006 a 2012, seguido pelo diesel com 23,9%, calagem com 15,9% e queima de resíduos com 14,7%. Tais fontes de emissão responderam, em média, por aproximadamente 90% do total das emissões de GEE associadas ao cultivo de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (Tabela 7).

No Brasil, as emissões devido à produção e uso de fertilizantes, vinhaça, torta de filtro e calagem responde por 42% do total das emissões do setor canavieiro, seguido pelo consumo de diesel com 27% e queima dos resíduos com 15%. Deste modo, tais fatores respondem conjuntamente por 84% das emissões totais de GEE relacionadas à produção agrícola da cana-de-açúcar (SEABRA et al., 2011).

A participação dos fertilizantes sintéticos (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) e de calcário nas emissões totais de GEE foi, em média, de 52,9% no período analisado. De 2006 a 2012, o incremento das áreas sob cultivo de cana-de-açúcar proporcionou maiores emissões devido principalmente às maiores taxas de fertilizantes nitrogenados

sintéticos. A variação das emissões de GEE relacionadas ao uso de calcário e fósforo fertilizante pode ser atribuída às variações anuais nas áreas destinadas à renovação e expansão da cana-de-açúcar (Tabela 1).

Ainda a respeito da participação dos fertilizantes sintéticos ( $N-P_2O_5-K_2O$ ) e de calcário, GARCÍA et al. (2011) reporta que para o cenário de 69% das áreas sob o manejo CQ no México, tais fatores respondem por 49% das emissões totais de GEE. Condição similar foi observada neste estudo, no ano-safra de 2006, em que o estado de São Paulo detinha 66% das áreas de cana sob o manejo CQ e as emissões relacionadas aos fatores acima citados responderam por aproximadamente 50% das emissões totais (Tabela 7)

Neste estudo, as emissões associadas ao uso de diesel cresceram de 1.784,4 para 2.930,1 Gg  $CO_2$  eq (Tabela 7). O aumento das áreas sob manejo CC refletiu em um maior consumo de diesel, principalmente na fase de colheita (Tabela 5), o que corrobora com os trabalhos de MACEDO et al. (2008) e CAPAZ et al. (2013). No estado de São Paulo, o consumo de diesel na fase de colheita da cana-de-açúcar representava 13,5% do total das emissões em 1990 e aumentou para 38,5% em 2009 (CAPAZ et al., 2013). Neste inventário, a participação do diesel englobou todas as operações agrícolas e aumentou de 21,42 para 26,03% das emissões totais (Tabela 7).

As emissões devido ao uso de defensivos agrícolas, como inseticida e herbicida aumentaram proporcionalmente ao aumento das áreas cultivadas, sendo que o aumento das áreas de soqueira em cana crua demandou maior uso de inseticidas. Em relação aos compostos orgânicos, como vinhaça e torta de filtro, estes se mantiveram constantes em todo o período. Apesar do aumento das áreas sob CC em 204% no período de 2006 a 2012, as emissões devido aos resíduos vegetais deixados no solo aumentaram de 0,72 para e 1,62% (Tabela 7).

Tabela 7. Emissões de GEE (em Gg CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup>) de acordo com as fontes de emissão para o Estado de São Paulo (Gg = 10<sup>9</sup>g).

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	[Gg CO <sub>2</sub> eq ano <sup>-1</sup> ]						
Diesel	1.784,4 (21,42%)	2.231,5 (23,80%)	2.471,7 (22,81%)	2.392,0 (23,48%)	2.589,1 (23,79%)	2.827,0 (25,48%)	2.930,1 (26,03%)
Calagem	1.296,7 (15,57%)	1.609,8 (17,17%)	1.944,3 (17,94%)	1.568,4 (15,39%)	1.459,6 (13,41%)	1.685,1 (15,19%)	1.856,3 (16,49%)
Herbicida	146,9 (1,76%)	178,4 (1,90%)	205,2 (1,89%)	169,5 (1,66%)	171,7 (1,58%)	200,4 (1,81%)	298,5 (2,65%)
Inseticida	12,8 (0,15%)	17,6 (0,19%)	21,3 (0,20%)	15,1 (0,15%)	22,5 (0,21%)	20,7 (0,19%)	29,9 (0,27%)
N	2.696,8 (32,38%)	2.886,0 (30,78%)	3.593,8 (33,17%)	3.664,7 (35,97%)	4.008,5 (36,83%)	4.116,2 (37,10%)	4.153,9 (36,90%)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	47,8 (0,57%)	74,7 (0,80%)	87,8 (0,81%)	50,8 (0,50%)	32,2 (0,30%)	53,6 (0,48%)	70,2 (0,62%)
K <sub>2</sub> O	116,9 (1,40%)	128,4 (1,37%)	155,4 (1,43%)	148,7 (1,46%)	152,5 (1,40%)	192,7 (1,74%)	202,3 (1,80%)
Torta de filtro	159,4 (1,91%)	178,5 (1,90%)	211,6 (1,95%)	217,8 (2,14%)	217,2 (2,00%)	183,6 (1,65%)	198,9 (1,77%)
Vinhaça	269,5 (3,24%)	325,3 (3,47%)	411,9 (3,80%)	363,5 (3,57%)	376,8 (3,46%)	283,6 (2,56%)	292,8 (2,60%)
Queima de resíduos	1.738,5 (20,87%)	1.651,7 (17,61%)	1.629,0 (15,03%)	1.476,4 (14,49%)	1.713,4 (15,74%)	1.362,2 (12,28%)	1.041,3 (9,25%)
Resíduos (palha)	59,8 (0,72%)	95,2 (1,01%)	103,8 (0,96%)	122,2 (1,20%)	141,7 (1,30%)	168,5 (1,52%)	182,3 (1,62%)
TOTAL	8.329,5 (100%)	9.377,0 (100%)	10.835,7 (100%)	10.189,3 (100%)	10.885,2 (100%)	11.093,5 (100%)	11.256,8 (100%)

### 2.3.3. Projeção dos cenários de emissão

Foi observada uma queda constante nas emissões associadas à operação de colheita de 901 para 686 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ou 24% (Figura 4) em virtude da redução das áreas sob manejo da cana queimada (CQ) em aproximadamente 850.000 ha de 2006 a 2012. Por extrapolação, pode-se estimar que as emissões associadas à colheita para o cenário exclusivamente de CC e CQ seria de 531 e 1.093 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> respectivamente. Assim, a conversão total das áreas de CQ para CC poderiam

apresentar um potencial de redução de GEE em 51% na operação de colheita neste estudo. Em uma revisão da literatura científica, o potencial de redução das emissões de GEE em virtude da conversão das áreas varia de 65% (CAPAZ et al., 2013) a 70% (GALDOS et al., 2013), dependendo do escopo adotado.

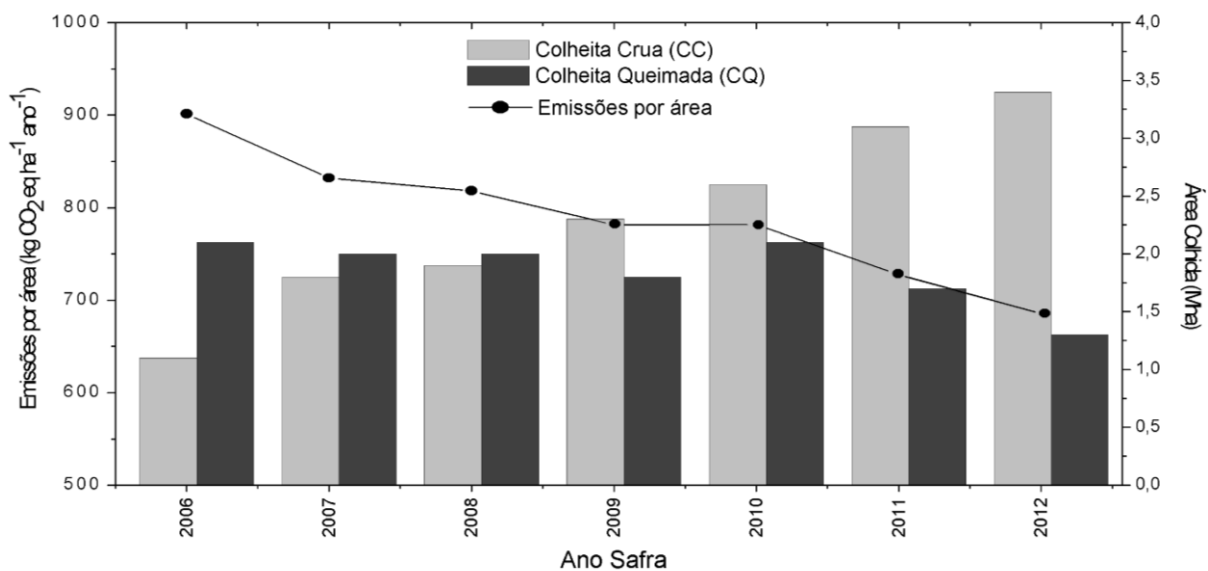


Figura 4. Emissões de GEE (em kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) associados à fase de colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

Considerando as áreas de soqueira de cana-de-açúcar, as emissões por unidade de área aumentaram de 1.418,3 para 1.507,9 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ou 6% (Figura 5). A tendência é que a mudança do manejo exclusivamente CQ para CC nas áreas de soqueira promova um aumento das emissões de 1.364 para 1.548 Kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ou 13%.

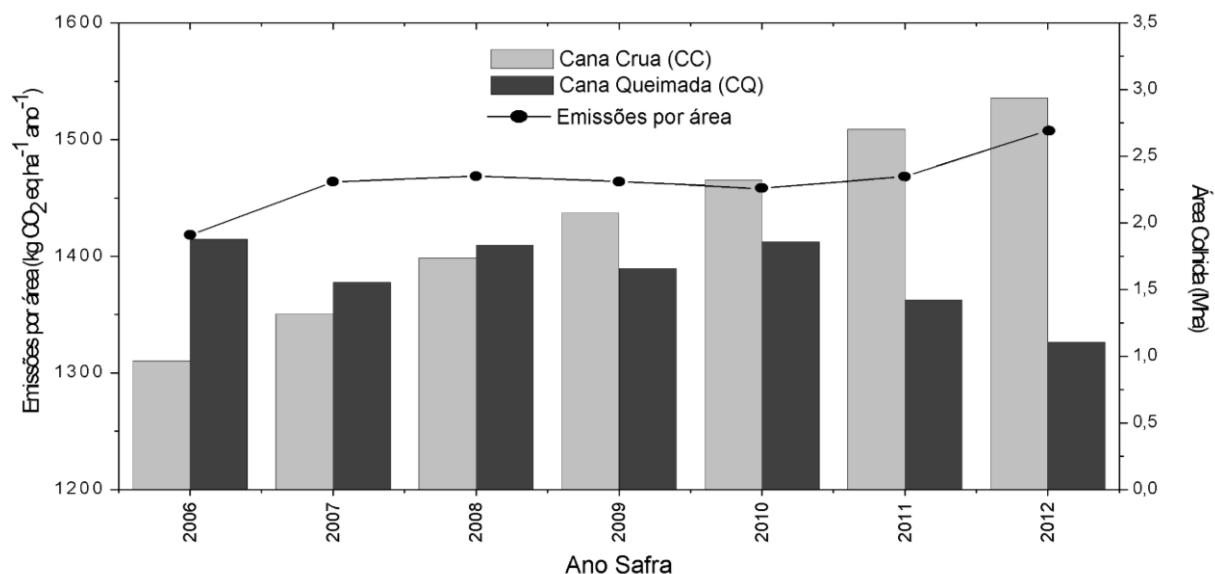


Figura 5. Emissões de GEE (em kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) associados à fase de tratamento de soqueira da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

Quando analisado o manejo da cana-de-açúcar, englobando todas as fases agrícolas, observou-se uma redução das emissões por área de 2.275 para 2.034 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ou 11% no período de 2006 a 2012 (Figura 6). Estudos demonstram que, considerando o balanço de gases de efeito estufa da CQ e CC, as emissões podem variar de 2.652 e 2.316 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> (BORDONAL et al., 2012) a 3.104 e 2.793 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> (DE FIGUEIREDO; LA SCALA, 2011), respectivamente. Assim, o potencial de redução das emissões de GEE em virtude da conversão dos sistemas de manejo CQ para CC pode variar de 10% (DE FIGUEIREDO; LA SCALA, 2011) a 13% (BORDONAL et al., 2012).

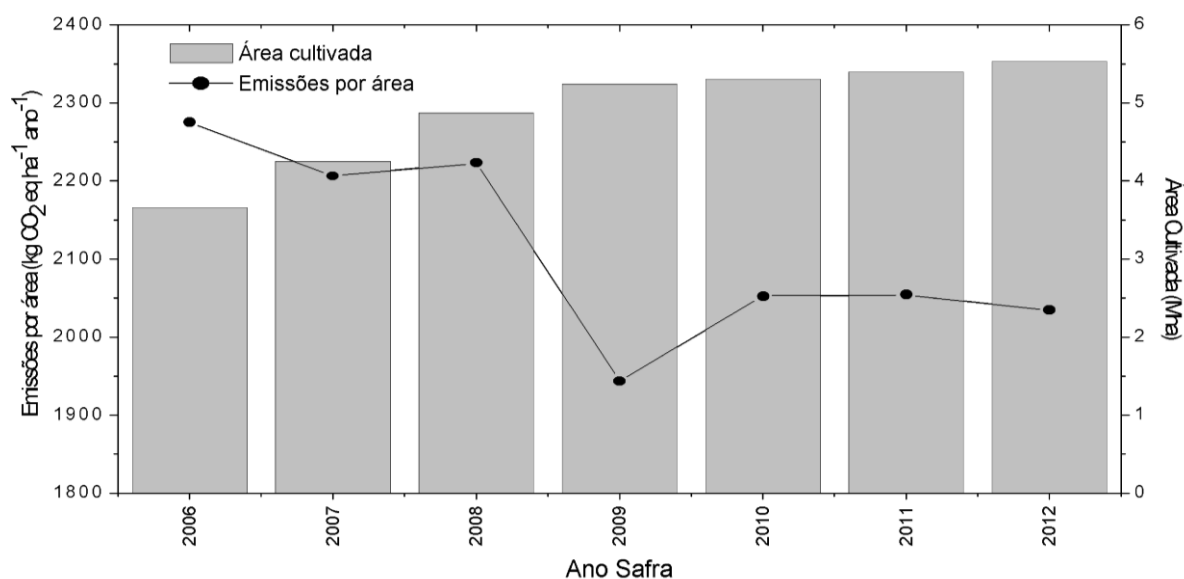


Figura 6. Emissões de GEE (em kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) associados ao manejo da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

Deste modo, certamente, mudanças nas emissões ao longo dos anos estudados devem estar fortemente relacionados com os cenários produtivos e às variações das fontes de emissão associados a tais cenários.

## 2.4. CONCLUSÕES

O estudo demonstra que o crescimento das áreas sob manejo da cana crua contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa ao longo dos anos, em contraste com o aumento das áreas cultivadas. As áreas de soqueira respondem pela maior parte das emissões totais de gases de efeito estufa, seguido da fase de colheita, renovação e expansão.

Os resultados deste trabalho podem ser usados tecnicamente no monitoramento e formulação de políticas públicas objetivando uma produção agrícola mais sustentável da cana-de-açúcar.



## 2.5. REFERÊNCIAS

AGRIANUAL 2012: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2012.

AGUIAR D.A.; RUDORFF B.F.T.; SILVA W.F.; ADAMI M.; MELLO M.P. Remote Sensing Images in Support of Environmental Protocol: Monitoring the Sugarcane Harvest in São Paulo State, Brazil. **Remote Sensing**, v.3, p.1-22, 2011.

ANDREA, M.O.; MERLET, P. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, v. 15, p. 955–966, 2001. Disponível em: <[http://www.nifc.gov/smoke/documents/Emissions\\_Trace\\_Gas\\_from\\_Biomass\\_Burning.pdf](http://www.nifc.gov/smoke/documents/Emissions_Trace_Gas_from_Biomass_Burning.pdf)> Acesso em: 24 ago. 2012.

ARB. **Australian National Greenhouse Accounts**: National Greenhouse Accounts Factors. Australian Government. Jul. 2012. Disponível em: <<http://www.climatechange.gov.au/~media/publications/nga/NGA-Factors-20120829-PDF.pdf>> Acesso em: 16 jul. 2012.

BORDONAL, R. O. de ; DE FIGUEIREDO, E. B.; LA SCALA, N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest, considering other conservationist management practices. **Global Change Biology Bioenergy**, Oxford, v. 4, p. 846-858, 2012.

BÖRJESSON, P. Good or bad bioethanol from a greenhouse gas perspective – what determines this? **Applied Energy**, London, v. 86, p. 589–594, 2009.

BRASIL. Lei Federal No 12.187/2009. Institui a política nacional sobre mudança do clima - PNMC e dá outras providências. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm)>. Acesso em: 16 jul. 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **1º inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**: relatório final, 2011, 114p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/163/\\_publicacao/163\\_publicacao27072011055200.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf)> Acesso em 23 ago. 2013.

FIESP. **Manual de conservação e reuso de água na agroindústria energética.** 2009. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/ambiente/downloads/publicaguab.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2012.

CAPAZ, R.S; CARVALHO, V.S.B.; NOGUEIRA, L.A.H. Impact of mechanization and previous burning reduction on GHG emissions of sugarcane harvesting operations in Brazil. **Applied Energy**, London, v. 102, p. 220-228, 2013.

CERRI, C.C.; MAIA, S.M.F.; GALDOS, M.V.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, p.831–843, 2009.

CETESB – **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Norma técnica p4.231 – vinhaça - critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola.** São Paulo: CETESB, 2006.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira:** Cana-de-açúcar, primeiro levantamento. Brasília. 2009. Disponível em:< <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/3c795837bb9cc54ab885ee4b4b410b37..pdf>> Acesso em: 18 jul. 2012.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira:** cana-de-açúcar, terceiro levantamento. Brasília, 2011. Disponível em: < [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_01\\_06\\_09\\_14\\_50\\_boletim\\_cana\\_3o\\_lev\\_safra\\_2010\\_2011..pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_09_14_50_boletim_cana_3o_lev_safra_2010_2011..pdf)> Acesso em:18 jul. 2012.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira:** cana-de-açúcar, segundo levantamento. Brasília. 2012. Disponível em: < [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_08\\_10\\_14\\_57\\_19\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_agosto\\_2012\\_2o\\_lev.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_10_14_57_19_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf)>. Acesso em: 18 jul. 2012.

DE FIGUEIREDO, E.B.; LA SCALA, N. Greenhouse gas balance due to the conversion of sugarcane areas from burned to green harvest in Brazil. **Agriculture ecosystem and Environment**, v.141, p.77-85, 2011

EMBRAPA Meio Ambiente. **Estimativa das 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.** Jaguariúna, 2010. (Documentos, 83).

FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT**.2010. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/home/index.html#VISUALIZE>> Acesso em: 14 jul. 2012

FRANCO, H.C.J; VITTI, A.C; FARONI, C.E; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Estoque de nutrientes em resíduos culturais incorporados ao solo na reforma de áreas com cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.25, n.6, p.32-36, 2007.

GALDOS, M. ; CAVALETT, O; SEABRA, J.E.A; NOGUEIRA, L.A.H; BONOMI, A. 2013. Trends in global warming and human health impacts related to Brazilian sugarcane ethanol production considering black carbon emissions. **Applied Energy**, London, v.104, p. 576-82, 2013

GARCÍA C.A.; FUENTES, A.; HENNECKE, A.; RIEGELHAUPT, E.; MANZINI, F.; MASERA, O. Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico. **Applied Energy**, London, v.6, p. 2088-2097, 2011.

IEA. **Biofuel production**. Paris: International Energy Agency, 2007. Disponível em: <<http://www.iea.org/techno/essentials2.pdf>> Acesso em 27 set. 2012

IPCC- Intergovernmental Panel On Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 2: Generic methodologies applicable to multiple land-use categories. Chapter 3: Mobile combustion. Chapter 5: Cropland. Chapter 11: N<sub>2</sub>O emissions from managed soils, and CO<sub>2</sub> emissions from lime and urea application. In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme (eds Eggleston HS, Buendia L, Miwa K et al.), 2006, 664p, IGES, Hayama, Japan.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. In: SOLOMON, S. (Ed.). **Climate change 2007: the physical science basis**, contribution of working group I to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 996p.

MACEDO, I.C.; LEAL, M.R.L.V.; SILVA, J.E.A.R. **Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2004. 37p.

MACEDO I.C.; SEABRA J.E.A.; SILVA, J.E.A.R. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: the 2005/2006 averages and a prediction for 2020. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 9, p. 582–595, 2008.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Evolução da Produtividade e da produção de cana-de-açúcar no Brasil por ano-safra**. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/Desenvolvimento\\_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/producao/SETEMBRO\\_2012/08\\_%20area\\_prodt\\_brasil.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/producao/SETEMBRO_2012/08_%20area_prodt_brasil.pdf)>. Acesso em 15 out. 2012

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **SAPCANA - Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/agroenergia/acompanhamento-producao-canavieira>>. Acesso em 15 out 2012.

OLIVEIRA, M. W. de; BARBOSA, M. H. P.; MENDES, L. C.; DAMASCENO, C. M. Matéria Seca e Nutrientes na Palhada de Dez Variedades de Cana-de-Açúcar. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 21, n. 3, p 30-31, 2003.

OLIVEIRA, M.E.D. de; VAUGHAN, B.E.; RYKIEL, E.J. Ethanol as fuel: energy, carbon dioxide balances, and ecological footprint. **BioScience**, Washington, v.55, p.593–602, 2005

PAES, L. A. D., OLIVEIRA, M. A. 2005. Potential trash biomass of the sugar cane plant. In: SULEIMAN, J. H.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO I. A. (Ed.). **Biomass power generation: sugarcane bagasse and trash**. Piracicaba: CTC, 2005. p.19-23. Série Caminhos para Sustentabilidade, 1).

RAIJ, B. van.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285p.

RENOUF, M.A.; WEGENER, M.K.; NIELSEN, L.K.; 2008. An environmental lifecycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as producers of sugars for fermentation. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.32, p.1144-1155, 2008.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº 11.241/2002: Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2002/lei%20n.11.241,%20de%2019.09.2002.htm>> Acesso em: 29 set. 2012

SEABRA, J.E.A.; MACEDO, I.C., CHUM, H.L., FARONI, C.E., SARTO, C.A. Life cycle assessment of Brazilian sugarcane products: GHG emissions and energy use. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Chichester, v.5, p. 519-532, 2011.

SINDAG – sindicato nacional da indústria de produtos para a defesa agrícola. **Dados** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <[juliana@sindag.com.br](mailto:juliana@sindag.com.br)> em 23 nov. 2012.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H; KUMAR, P; MCCARL, B.; OGLE, S.; O'MARA F.; RICE, C.; SCHOLLES, B.; SIROTENKO, O. 2007: Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Manejo do nitrogênio e enxofre na nutrição e adubação de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO DE TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 2005, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: GAPE, 2005. p. 1-46.

TUFAILE NETO, M. A. Characterization of sugar cane trash and bagasse. In: SULEIMAN, J. H.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO I. A. (Ed.). **Biomass Power generation: sugar cane bagasse and trash**, Piracicaba: Centro de Tecnologia Canavieira, 2005. p.24-26. (Série Caminhos para Sustentabilidade,1).

VITTI, A. C.; FRANCO, H.C.J; TRIVELIN, P.C.O; FERREIRA, D.A.; OTTO, R.; FORTES, C. FARONI, C.E. 2011. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília 2011.v. 46, n.3. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2011000300009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2011000300009&lng=en&nrm=iso)> Acesso em 12 nov. 2012

WALTER, A.; DOLZAN, P., QUILODRÁN, O., DE OLIVEIRA, J.G.; DA SILVA, C.; PIACENTE, F.; SEGERSTEDT, A. Sustainability assessment of bio-ethanol production in Brazil considering land use change, GHG emissions and socio-economic aspects. **Energy Policy**. v.39, p.5703-5716, 2011.

YUTTITHAM, M.; GHEEWALA, S.H.; CHIDTHAISONG, A. Carbon footprint of sugar produced from sugarcane in eastern Thailand. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v.19, p. 2119-2127, 2011.

### **CAPÍTULO 3. ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA ASSOCIADAS À ETAPA DE COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DE SÃO PAULO NO PERÍODO DE 2006 A 2012**

**RESUMO** – Neste trabalho foi realizado um inventário das emissões de gases de efeito estufa associados exclusivamente à etapa agrícola de colheita da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, nas suas cidades e regiões administrativas, no período de 2006 a 2012. Os dados referentes às áreas colhidas, bem como do sistema de colheita adotado como cana crua e cana queimada foram obtidos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais através do programa CANASAT que realiza o monitoramento anual das áreas cana-de-açúcar através do uso de imagens de satélite. Foram considerados os históricos de produtividade das cidades que compõe o Estado de São Paulo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística por meio da Produção Agrícola Municipal. As estimativas das emissões de gases de efeito estufa foram baseadas nas metodologias propostas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, bem como nas informações presentes na literatura científica. Os resultados indicam uma queda generalizada nas emissões por unidade de área produtiva de 902 para 673,5 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> no período de 2006 a 2012 em todo o Estado de SP, e a ocorrência de variações regionais em virtude da variação da produtividade canavieira, bem como da taxa de conversão do sistema de colheita cana manual com queima prévia para o sistema de colheita cru mecanizado.

**Palavras chave:** inventário de emissão, manejo da cana-de-açúcar, mitigação de gases de efeito estufa.

### **3.1 INTRODUÇÃO**

O Brasil é considerado líder mundial na produção de cana-de-açúcar (FAO, 2010) e pioneiro na utilização em larga escala de biocombustível renovável derivado da cana-de-açúcar como matriz veicular (CNI, 2012). O Estado de São Paulo, responde por aproximadamente 54% da produção e 52% da área cultivada no país (CONAB, 2012).

A etapa agrícola de colheita da cana-de-açúcar apresenta o predomínio de dois principais sistemas no Brasil: manual com a realização da queima prévia do canavial (MQ) e o sistema cru mecanizado (CM) que dispensa o processo de queima e há deposição de resíduos vegetais na superfície do solo.

A eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e consequente mecanização da colheita encontram respaldo legal no Estado de São Paulo na lei estadual N° 11.241/2002 (SÃO PAULO, 2002) que determina a extinção da prática de colheita queimada até o final do ano de 2021 em áreas com declividade do terreno de até 12% e para o ano de 2031 em áreas com declividade superior a 12%. Em 2007, o governo estadual e o setor sucroenergético estabeleceram um acordo voluntário denominado protocolo agroambiental, que antecipa os prazos legais de eliminação da queima de 2021 para 2014 nas áreas de menor declive e de 2031 para 2017 nas áreas de maior declive, cuja mecanização torna-se mais difícil.

Assim, o objetivo do trabalho foi estimar as emissões de gases de efeito estufa relacionado exclusivamente à etapa agrícola de colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo no período de 2006 a 2011 e analisar as variações regionais em virtude da crescente adoção da prática de mecanização da colheita, do crescimento das áreas colhidas e da produtividade da cana-de-açúcar nas emissões.

### **3.2 MATERIAL E MÉTODOS:**

No presente inventário agrícola foram utilizadas as seguintes fontes de emissão: a) queima de resíduos vegetais; b) consumo de diesel e c) resíduos da colheita crua mecanizada (palha). Os resultados foram expressos em carbono equivalente tendo como referência o potencial de aquecimento individual dos gases



de efeito estufa, sendo 1 para CO<sub>2</sub>, 25 para CH<sub>4</sub> e 298 para o N<sub>2</sub>O conforme a metodologia do IPCC (2006).

A metodologia de cálculo das emissões de gases de efeito estufa oriundas da queima de resíduos da colheita da cana-de-açúcar seguiu o modelo proposto pelo IPCC (2006), que é expressa através da seguinte equação (1):

$$L = A \times Mb \times Cf \times Gef \times 10^{-3} \quad (1)$$

Em que,

L – quantidade de gases de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O emitidos (t)

A – Área queimada (ha)

Mb – Biomassa disponível para combustão (t)

Cf – Fator adimensional de combustão (0,80)

Gef– Fator de emissão de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O(2,7 e 0,07 g kg<sup>-1</sup> matéria seca queimada, respectivamente)

As informações municipais de área colhida, bem como do percentual de cada sistema de colheita utilizado na cana-de-açúcar foram obtidas no INPE pelo programa CANASAT, que realiza o monitoramento anual das áreas de cana-de-açúcar por meio de imagens de satélite ([www.dsr.inpe.br/laf/canasat](http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat)). Para o cálculo da biomassa disponível para queima e da quantidade de resíduos oriundos da colheita crua mecanizada, utilizaram-se os dados de produtividade de área disponibilizados pelo IBGE, por meio da Produção Agrícola Municipal (PAM), cujo procedimento de coleta de informações é realizado mediante aplicação de um questionário em cada município do país, o qual é preenchido pelos agentes de coleta do IBGE (IBGE, 2002).

Considerando que a geração de resíduos tanto para a queima de resíduos no sistema MQ quanto para os resíduos deixados no solo após a colheita no sistema CM é variável em função da produtividade, neste trabalho adotou-se a relação produtividade/resíduo de 14% (LEAL et al., 2013). O fator de combustão adotado foi de 0,80 e de emissão de CH<sub>4</sub> e NO<sub>2</sub> de 2,7 e 0,07 g kg<sup>-1</sup> matéria seca queimada respectivamente (IPCC, 2006).

Para o cálculo das emissões de N<sub>2</sub>O devido aos resíduos da cultura no sistema de colheita cru mecanizado, aplicou-se a metodologia do IPCC (2006), aplicando o fator de emissão de 1% para as emissões diretas do teor de nitrogênio presente nos resíduos da cultura. Nas emissões indiretas devido à lixiviação e escoamento superficial, foi considerado a fração de 30% e fator de emissão de 0,75%. Na contabilização do nitrogênio presente nos resíduos da cultura, considerou-se o teor de 0,4% (BORDONAL et al., 2012), dos quais 20% estão disponíveis para mineralização (FORTES et al., 2012).

Nas emissões devido ao uso de diesel considerou-se o consumo de 146,95 L ha<sup>-1</sup> na colheita cru mecanizada e 85,65L ha<sup>-1</sup> na colheita manual, tendo como referência o trabalho de MACEDO et al. (2004) (Tabela 1). O fator de emissão do diesel considerado foi de 3,252, sendo 2,671 kg CO<sub>2</sub> eq L<sup>-1</sup> as emissões diretas (BRASIL, 2011) e 0,581 kg CO<sub>2</sub> eq L<sup>-1</sup> referentes à extração, transporte e processamento (MACEDO et al., 2008).

Tabela 1. Consumo de diesel elencado para a operação de colheita no sistema de colheita manual com queima (MQ) e cru mecanizado (CM)\*.

Equipamento	Colheita (L ha <sup>-1</sup> )	
	MQ	CM
Colhedora	74,00	-
Carregamento	-	12,70
Reboque/Transbordo	21,20	21,20
Transporte	51,75	51,75
TOTAL	146,95	85,65

\*Adaptado de MACEDO et al. (2004)

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES:

#### 3.3.1 Emissão de gases de efeito estufa no estado de São Paulo

Considerando o período de 2006 a 2012, a área colhida com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo teve um crescimento de aproximadamente 44%, saltando de 3,24 para 4,66 milhões de hectares, enquanto que as emissões totais de GEE

associadas exclusivamente à fase de colheita tiveram crescimento de aproximadamente 7% passando de 2.922 para 3.137 Gg de CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup>. Quando analisado as emissões por unidade de área, verificou-se uma queda constante em todo o período, de aproximadamente 902 para 674 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>, que representa uma redução de aproximadamente 25%. (Tabela 2). No mesmo período, o sistema CM aumentou a sua participação no Estado de São Paulo de 34,2 para 72,6% das áreas colhidas.

A queda das emissões por unidade de área em virtude da eliminação gradativa do sistema de MQ também foi observada em um estudo conduzido pela EMBRAPA (2010) que ao contabilizar as emissões de GEE no período de 1986 a 2008 verificou que apesar do crescimento da área e da produtividade da cana-de-açúcar ter resultado em um aumento de 180% na produção, as emissões de GEE tiveram um acréscimo de apenas 20,6%. Segundo CAPAZ et al. (2013), no período de 1990 a 2009 as emissões associadas à colheita no Estado de São Paulo apresentaram uma redução de 37,6%, caindo de 1.015 para 633 kg de CO<sub>2</sub>eq ha<sup>-1</sup>.

Tabela 2. Emissão total de GEE de acordo com o sistema de manejo da colheita e unidade área ao longo dos anos estudados.

Ano	CM	MQ	Área colhida	Emissão relativa
	Gg CO <sub>2</sub> eq ano <sup>-1</sup>		Mha	Kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup>
2006	588	2.334	3,24	902,0
2007	940	2.259	3,79	843,4
2008	1.025	2.245	3,92	833,8
2009	1.189	1.989	4,00	793,6
2010	1.401	2.174	4,56	783,4
2011	1.660	1.820	4,79	725,5
2012	1.788	1.348	4,65	673,5

A tabela 3 apresenta a participação das fontes de emissão ao longo dos anos estudados nas emissões de GEE no Estado de São Paulo. A crescente adoção do sistema CM, em contrapartida ao sistema de colheita MQ, resultou em um aumento das emissões provenientes do uso de diesel e dos resíduos deixados no solo (palha) ao mesmo tempo em que diminuiu as emissões oriundas da queima da palha do sistema MQ. As emissões totais relacionadas ao uso de diesel tiveram um

crescimento de 75%, passando de 1.124 para 1.971 Gg de CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup>. Já as emissões provenientes da palha cresceram em mais de 197%, passando de 58 para 173 Gg de CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup> e as emissões devido à queima de resíduos tiveram uma queda de 43% passando de 1.741 para 993 Gg de CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup>. A participação da queima de resíduos nas emissões de GEE relacionadas à fase de colheita teve uma queda de 60 para 32% do montante total.

Tabela 3. Participação das fontes de emissão de GEE no Estado de São Paulo na etapa de colheita da cana-de-açúcar.

Ano	CM		MQ	
	Palha	Diesel	Queima	Diesel
-----Gg CO <sub>2</sub> eq ano <sup>-1</sup> -----				
2006	58	530	1.741	593
2007	96	845	1.695	564
2008	106	919	1.689	556
2009	123	1.066	1.495	494
2010	145	1.255	1.634	539
2011	166	1.494	1.354	465
2012	173	1.616	993	355

### 3.3.2 Emissão de gases de efeito estufa nas regiões administrativas

O Estado de São Paulo é dividido em 14 regiões administrativas de acordo com o monitoramento realizado pelo projeto CANASAT: Araçatuba, Barretos, Bauru, Campinas, Central, Franca, Marília, Presidente Prudente, Registro, Ribeirão Preto, Santos, São José do Rio Preto, São José dos Campos e Sorocaba.

A redução das emissões por área, no período de 2006 a 2012, ocorreu de forma heterogênea nas diferentes regiões administrativas. A região de Barretos destaca-se por ter a maior redução percentual das emissões, reduzindo de 1.010,0 para 651,5 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> ou 35,5%, seguido da região de Presidente Prudente com 33,7% e Marília com 29,5%. Considerando os valores nominais das emissões por unidade de área, as regiões de São José do Rio Preto e Central destacaram-se pelos menores valores em 2006 e 2012, com 849,8 e 625 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em 2006 havia cinco regiões administrativas na qual as emissões

por unidade de área eram superiores ao valor estadual. Em 2012, esse número foi mantido, porém com regiões administrativas diferentes (Tabela 4). As regiões administrativas sem dados representam áreas que não cultivam a cana-de-açúcar, conforme os dados do CANASAT.

Tabela 4. Evolução das emissões de gases de efeito estufa por hectare no Estado de São Paulo e percentual de redução das emissões por unidade área de 2006 a 2012.

Região Administrativa	2006	2012	Redução das emissões por área (%)
	Kg CO <sub>2</sub> eq ha <sup>-1</sup>		
Araçatuba	903,8	668,8	26,0
Barretos	1010,0	651,5	35,5
Bauru	901,9	708,7	21,4
Campinas	856,0	687,3	19,7
Central	880,6	625,0	29,0
Franca	944,7	683,1	27,7
Marília	931,0	656,0	29,5
Presidente Prudente	962,6	638,1	33,7
Registro	-	-	-
Ribeirão Preto	863,1	704,2	18,4
Santos	-	-	-
São José do Rio Preto	849,8	669,2	21,3
São José dos Campos	-	-	-
Sorocaba	859,7	744,8	13,4
TOTAL SP	902,0	673,5	25,3

Em 2006 a região de Franca respondia pela maior parcela das emissões de GEE no Estado de São Paulo com 358,4 Gg de CO<sub>2</sub> eq ano<sup>-1</sup> ou 12,3%, seguido da região de São José do Rio Preto com 11,9% e Campinas com 11,6% (Tabela 5). Em 2012, São José do Rio Preto destacou-se como a região de maior emissão de GEE, respondendo por 15% das emissões totais do Estado, seguido de Araçatuba com 10,8% e Campinas com 9,2%.

Em cinco regiões administrativas houve uma queda nas emissões totais de GEE: Barretos, Campinas, Central, Franca e Ribeirão Preto, enquanto que nas demais houve um aumento das emissões. O maior aumento nas emissões ocorreu

na região de Presidente Prudente que teve também o maior crescimento percentual de área colhida no período estudado.

De 2006 a 2012, o Estado de São Paulo expandiu em 1.416.206 o montante de áreas colhidas. A maior expansão das áreas colhidas ocorreu na região oeste de São Paulo, nas regiões administrativas de São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Araçatuba. Juntas, tais regiões responderam por quase 60% das áreas incrementadas.

Tabela 5. Emissões totais de gases de efeito estufa nas regiões administrativas do Estado de São Paulo de 2006 a 2012.

Região Administrativa	2006	2012	Variação	Variação	Variação
	Gg CO <sub>2</sub> eq ano <sup>-1</sup>		Emissões (%)	Área (%)	Área (ha)
Araçatuba	235,7	350,6	48,8	101,1	263.585
Barretos	271,6	230,4	-15,1	31,5	84.825
Bauru	284,2	296,9	4,5	33,0	103.822
Campinas	338,4	298,4	-11,8	9,8	38.811
Central	283,0	246,4	-12,9	22,7	72.831
Franca	358,4	292,2	-18,5	18,1	48.302
Marília	231,4	251,8	8,8	54,4	135.321
Presidente Prudente	157,1	268,3	70,7	157,5	257.136
Registro	-	-	-	-	-
Ribeirão Preto	336,9	278,9	-17,2	1,5	5.841
Santos	-	-	-	-	-
São José do Rio Preto	294,5	451,4	48,5	94,6	327.974
São José dos Campos	-	-	-	-	-
Sorocaba	131,2	171,6	30,8	51,0	77.758
TOTAL SP	2922,4	3136,9	7,0	43,8	1.416.206

### 3.3.3 Emissão de gases de efeito estufa nos municípios

O Estado de São Paulo subdivide-se em 645 municípios distribuídos em 14 regiões administrativas (FUNDAÇÃO SEADE; IBGE). A cultura da cana-de-açúcar estava presente em 423 municípios paulistas em 2006, subindo esse número para

479 em 2012. Em 2006 o município com maior e menor emissão de GEE por unidade de área foi Murutinga do Sul com 1.428,45 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup> e Conchas com 514,31kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em 2012, Águas da Prata e Bofete destacaram-se como maior e menor emissão por unidade de área, com 1169,2 e 506,79kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Considerando o período de 2006 a 2012, 379 municípios tiveram uma redução percentual das emissões de GEE por unidade área e 43 tiveram um aumento (Figura 1). Nos municípios que tiveram um aumento das emissões por unidade de área, o maior valor percentual foi de 34,1%, relativo ao município Espírito Santo do Turvo que passou de 607,87 para 815,04 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>. Neste município em questão, a participação da colheita queimada aumentou de 26,1 para 52,8%, ao passo que a produtividade teve um crescimento de 60 para 80 toneladas por hectare. Em relação às áreas que tiveram uma redução das emissões por unidade de área, destaca-se Ribeirão dos Índios que passou de 1.268,17 para 524,25 kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>, uma redução de 58,7%. Neste município, a participação do sistema de colheita cana crua cresceu de zero para 99,7% e a produtividade teve uma queda de 100 para 70 toneladas por hectare. A única excepcionalidade verificada foi no município de Hortolândia que, de acordo com os dados do CANASAT deixou de colher a cultura da cana-de-açúcar em 2011 e 2012, tendo as emissões relacionadas à mesma zerada.

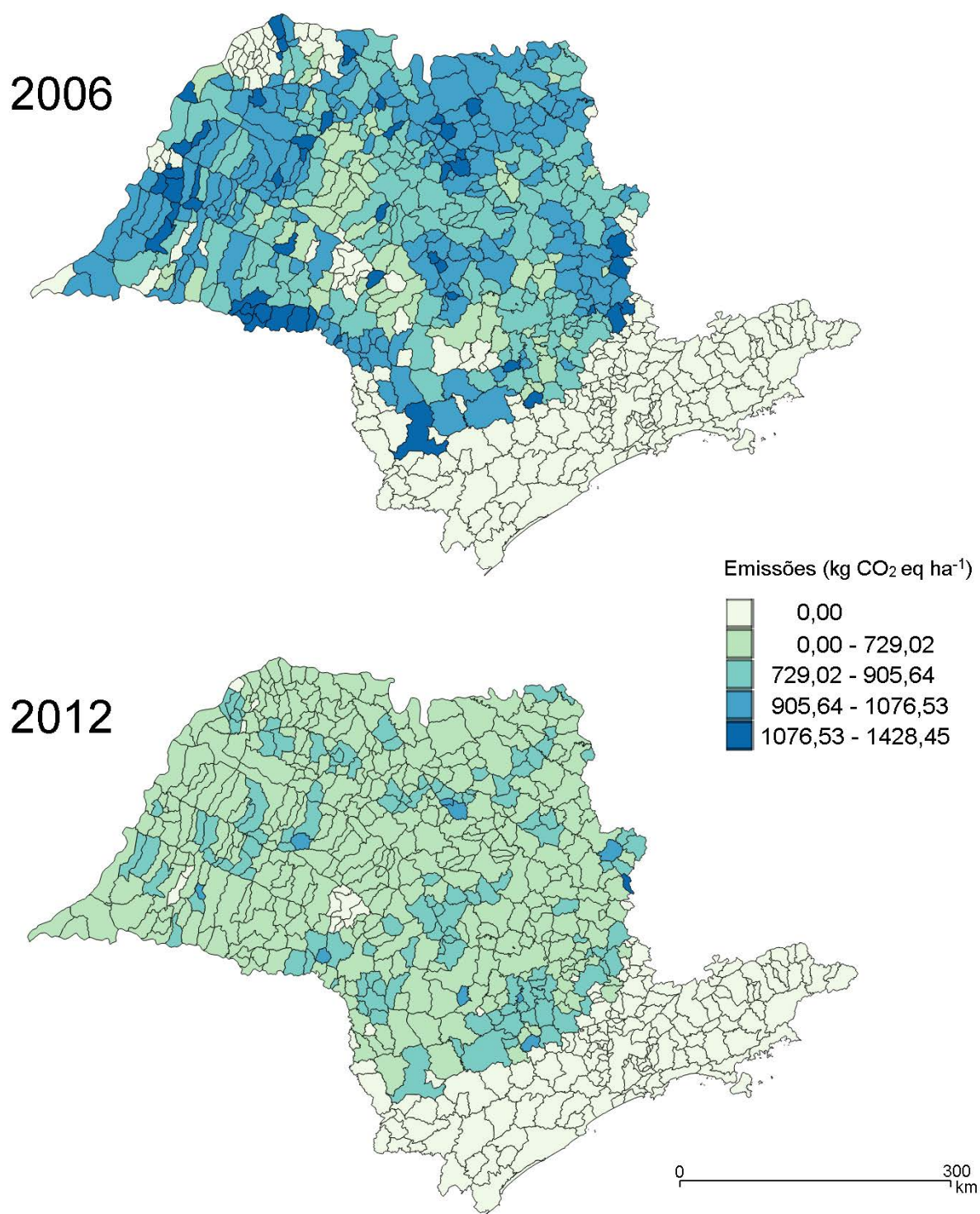


Figura 1. Mapa representativo das emissões de GEE associadas à etapa de colheita (kg CO<sub>2</sub> eq ha<sup>-1</sup>) nas cidades do Estado de São Paulo no período de 2006 a 2012.



### 3.3.4 Emissão de gases de efeito estufa em função da produtividade e sistema de colheita

Os avanços tecnológicos proporcionados pelos programas de melhoramento genético, o desenvolvimento de novas variedades e a melhoria das práticas de manejo desempenharam um importante papel na evolução da produtividade da cana-de-açúcar, sendo responsáveis pelo aumento constante da produtividade em 0,43 toneladas  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  no Estado de São Paulo entre 1980 e 2006 (GOUVÊA et al., 2009).

Neste estudo, a variação da produtividade da cultura da cana-de-açúcar e da participação de cada sistema de colheita adotado, manual ou mecanizado, são fatores que determinam a variabilidade das emissões de GEE por unidade de área, haja vista que as outras variáveis utilizadas neste estudo mantiveram-se constantes.

A produtividade da cultura está intimamente relacionada ao montante de biomassa disponível para queima de resíduos durante o processo de colheita no sistema MQ, bem como da quantidade de palha remanescente deixada no solo após a colheita no sistema CM. A figura 2 apresenta uma representação desse fato explorado nesse estudo.

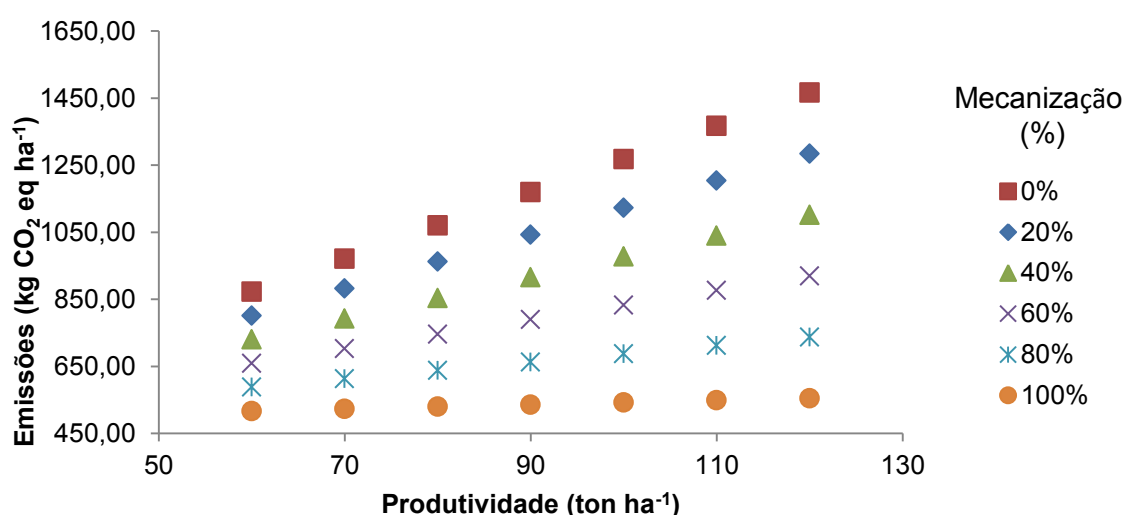


Figura 2. Emissão relativa de GEE em função da produtividade e nível de mecanização.

Verifica-se que o incremento da produtividade ocasiona um aumento diferenciado das emissões por unidade de área de acordo com o nível de mecanização das áreas, ou seja, do percentual de áreas submetidas no sistema de CM. Deste modo, para o cenário com 0% de mecanização, ou seja, colhido exclusivamente no sistema MQ, ao dobrar a produtividade de 60 para 120 toneladas  $\text{ha}^{-1}$  há um aumento das emissões em 68%, que passariam de 872,31 para 1.466,09  $\text{kg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1}$ . Para o cenário 100% mecanizado, ou seja, com a colheita realizada exclusivamente no sistema CM, a variação das emissões seria de aproximadamente 7,5% que passariam de 516,43 para 554,98  $\text{kg CO}_2 \text{ eq ha}^{-1}$  (Figura 2).

No sistema MQ, o incremento de produtividade da cultura resulta em uma maior quantidade de biomassa disponível para queima e maiores emissões por unidade de área. Já no sistema CM, o incremento de produtividade resulta em uma maior quantidade de resíduos depositados no solo e maiores emissões associadas à mesma. Neste estudo, a produtividade da cana-de-açúcar variou de 50 a 120 toneladas por hectare no ano de 2006 e de 45 a 120 toneladas por hectare no ano de 2012.

### **3.4 CONCLUSÕES**

A crescente substituição do sistema de colheita manual com queima pelo sistema cru mecanizado contribuiu para uma menor emissão de gases de efeito estufa no Estado de São Paulo no período de 2006 a 2012 em relação ao crescimento das áreas colhidas. A variação da produtividade da cultura somada às diferentes taxas de substituição do sistema de colheita resulta em diferentes valores de emissão nas regiões administrativas e cidades do Estado de São Paulo.

### 3.5 REFERÊNCIAS:

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **1º inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**: relatório final, 2011, 114p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/163/\\_publicacao/163\\_publicacao27072011055200.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf)> Acesso em 23 ago. 2013.

CAPAZ, R.S, CARVALHO, V.S.B., NOGUEIRA, L.A.H. Impact of mechanization and previous burning reduction on GHG emissions of sugarcane harvesting operations in Brazil. **Applied Energy**, London, v. 102, p. 220-228, 2013.

CNI. **Indústria automobilística e sustentabilidade**. Brasília: Confederação Nacional da indústria, 2012. 45p. Disponível em: <[http://www.cnisustentabilidade.com.br/docs/ANFAVEA\\_RIO20\\_web.pdf](http://www.cnisustentabilidade.com.br/docs/ANFAVEA_RIO20_web.pdf)>. Acesso em: 29 out. 2012.

CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira**: cana-de-açúcar, segundo levantamento. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2012. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_08\\_10\\_14\\_57\\_19\\_boletim\\_cana\\_portugues\\_-\\_agosto\\_2012\\_2o\\_lev.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_08_10_14_57_19_boletim_cana_portugues_-_agosto_2012_2o_lev.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2013.

EMBRAPA Meio Ambiente. **Estimativa das 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**. Jaguariúna, 2010. (Documentos, 83).

FAO. Food and Agriculture Organization of the United States. **FAOSTAT**. 2010. Disponível em: <[http://faostat3.fao.org/home/index.html#SEARCH\\_DATA](http://faostat3.fao.org/home/index.html#SEARCH_DATA)>. Acesso em: 25 ago. 2013.

FUNDAÇÃO SEADE. **Estado de São Paulo e suas regionalizações**. Secretaria de planejamento e desenvolvimento regional. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/produtos/divpolitica/>. Acesso em: 10 dez 2013.

GOUVEA, J.R.F.; SENTELHAS, P.C.; GAZZOLA, S.T.; SANTOS, M.C.; Climate changes and technological advances: impacts on sugarcane productivity in tropical southern Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.66, p.593–605, 2009.

IBGE. **Cidades@**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=35&search=sao-paulo>>. Acesso em: 10 dez. 2013.

IBGE. **Pesquisas agropecuárias, Departamento de Agropecuária**. 2. ed. Rio de Janeiro. Relatórios metodológicos, 2002.v. 6, 92p.

Disponível

em:<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/PesquisasAgropecuarias2002.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2014.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. In: EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K. (Ed.). **Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the national greenhouse gas inventories programme**. Hayama: IGES, 2006. 664p.

LEAL, M. R. L.V. ; GALDOS, M. V. ; SCARPARE, F. V. ; SEABRA, J. E. A. ; Walter, A. ; OLIVEIRA, C.O.F. . Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: A literature review. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 53, p.11-19, 2013.

MACEDO, I.C.; LEAL, M.R.L.V.; SILVA, J.E.A.R. **Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2004. 37p.

## **CAPÍTULO 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados deste trabalho podem vir a contribuir na formulação de políticas estratégicas de redução de gases de efeito estufa e dos impactos ambientais oriundos do cultivo da cana-de-açúcar. Este estudo demonstrou que a crescente adoção do manejo da cana crua, em contrapartida ao manejo da cana queimada, promoveu um crescimento reduzido das emissões de gases de efeito estufa, em todo o Estado de São Paulo. Também evidenciou que a substituição do sistema de colheita manual com queima prévia do canavial para o sistema cru mecanizado resultou em uma queda das emissões por unidade de área.

Dentre as práticas de manejo agrícola que visam à redução das emissões de gases de efeito estufa estão: redução do consumo de diesel, aumento da eficiência da adubação e calagem, redução do consumo de defensivos agrícolas, eliminação da prática de queima na pré-colheita na cana-de-açúcar e reutilização dos resíduos como vinhaça e torta de filtro. O desafio por uma produção agrícola sustentável continua e os caminhos a serem tomados demandam o aperfeiçoamento científico constante.