

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA
FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E
VETERINÁRIAS CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA ASSOCIADA
AO MANEJO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO PLANALTO
OCIDENTAL PAULISTA**

Willians Luiz Bueno de Souza

Físico

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE
MESQUITA FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS
AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS CAMPUS DE
JABOTICABAL**

**EMIÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA ASSOCIADA AO
MANEJO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO PLANALTO
OCIDENTAL PAULISTA**

Willians Luiz Bueno de Souza

Orientador: Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SP
Dezembro – 2016

S729e Souza, Willians Luiz Bueno de
Emissão de gases de efeito estufa associada ao manejo da cana-
de-açúcar no Planalto Ocidental Paulista / Willians Luiz Bueno de
Souza. -- Jaboticabal, 2016
xii, 77 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016

Orientador: Marcílio Vieira Martins Filho

Banca examinadora: Teresa Cristina Tarle Pissarra, Marcelo
Giroto Rebelato, Marcos Adami, Renato Farias do Valle Junior
Bibliografia

1. Cana crua. 2. Cana queimada. 3. Emissão de CO₂. 4.
Mudanças climáticas. 5. Sensoriamento remoto. I. Título. II.
Jaboticabal - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.61:504.7

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA ASSOCIADA AO MANEJO DA
CANA-DE-AÇÚCAR NO PLANALTO OCIDENTAL PAULISTA

AUTOR: WILLIANS LUIZ BUENO DE SOUZA

ORIENTADOR: MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO

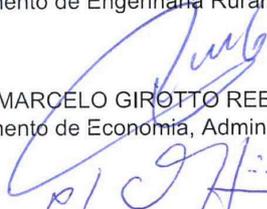
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA
(CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



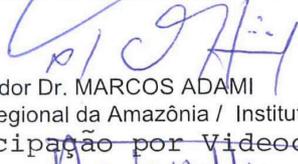
Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



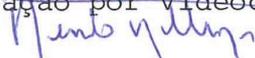
Prof. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. MARCELO GIROTO REBELATO
Departamento de Economia, Administração e Educação / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Pesquisador Dr. MARCOS ADAMI
Centro Regional da Amazônia / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - Belém, PA
Participação por Videoconferência



Prof. Dr. RENATO FARIAS DO VALLE JUNIOR
IFTM / Uberaba, MG

Jaboticabal, 02 de dezembro de 2016.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Willians Luiz Bueno de Souza – Filho de Luiz Elpídio Bueno de Souza e Jussara Bueno de Souza nasceu em Barretos, São Paulo, no dia 01 de julho de 1978. Em fevereiro de 1998, ingressou no Curso de Licenciatura plena em Física pelo Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos – SP. Possui Especialização em Didática do Ensino Superior pelas Faculdades Integradas Soares de Oliveira – FISO (2008). Mestre em Agronomia (Produção Vegetal) pela Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias (FCAV) – Campus de Jaboticabal – 2011 a 2013. Atua como docente no ensino superior a 9 anos. Lecionou na Universidade do Estado de Minas Gerais – Campus de Frutal, por 6 anos nos cursos de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira, Bacharelado em Administração e Bacharelado em Sistemas de Informação. Há 6 anos é docente no Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos, onde é coordenador e leciona no curso de Bacharelado em Sistemas de Informação. Desde 2010 tem se dedicado a estudar os temas: manejo da cana-de-açúcar, aquecimento global, inventário de gases de efeito estufa e bioenergia. Em março de 2013, ingressou no Curso de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Câmpus de Jaboticabal – SP. No mês de dezembro de 2016, submeteu-se à banca para a defesa de Tese, sendo aprovado como Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

“Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas. Muito conhecimento, que se sintam humildes. É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o céu, enquanto que as cheias as baixam para a terra, sua mãe”.

Leonardo da Vinci

DEDICO

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida por ter me proporcionando saúde, perseverança e momentos especiais ao longo da vida.

Aos meus pais, Luiz Elpídio Bueno de Souza e Jussara Bueno de Souza (*in memoriam*) pelo carinho e amor incondicional, dedicação, suporte e credibilidade, sempre me impulsionando em direção aos meus objetivos.

OFEREÇO

Ao meu irmão Carlos Alberto Bueno de Souza (*in memoriam*), à minha esposa Aline Aparecida Jandoza Bueno, por tudo o que passamos juntos com muito amor, carinho, dedicação e principalmente superação.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida, pelas bênçãos e por providencialmente me dar força e resignação, tirando as pedras do meu caminho.

Aos meus pais, a quem devo a minha existência, que sempre me incentivaram e me deram força ao longo da minha vida, sem os quais com certeza eu não chegaria onde estou, obrigado por todo o amor, carinho, educação e suporte.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/UNESP – Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, da qual me orgulho muito, por ser uma respeitada Universidade e ter me proporcionado esta oportunidade.

Ao meu orientador Professor Marcílio Vieira Martins Filho pelos ensinamentos, paciência, companheirismo, confiança e, principalmente por ser um profissional respeitável e ético, agradeço a oportunidade e amizade ao longo desta etapa.

Aos professores membros da Banca de Qualificação, Afonso Lopes, Teresa Cristina Tarlé Pissarra, Nelson José Peruzzi e Marcelo Giroto Rebelato, cujas críticas e sugestões contribuíram para a melhoria do presente estudo.

Aos professores membros da Banca de Defesa, Marcelo Giroto Rebelato, Teresa Cristina Tarlé Pissarra, Marcos Adami e Renato Farias do Valle Junior que disponibilizaram seu precioso tempo para ajudar neste estudo, pelas críticas e sugestões que contribuíram para o enriquecimento do trabalho. Deixo aqui toda a minha gratidão e admiração pelos senhores.

Aos amigos e companheiros do Departamento de Ciências Exatas, Luciano Ito Perillo, Mara Regina Moitinho, Sísara Rocha Oliveira, João Fernandes da Silva Júnior e Daniel De Bortoli Teixeira, por toda a ajuda, camaradagem, conversas e momentos vividos durante esses anos.

Aos pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Bernardo Friedrich Theodor Rudorff, Daniel Alves Aguiar, Márcio Pupin Mello e

Marcos Adami, pela amizade, conversas, ideias e parceria nesta e em futuras publicações.

Aos amigos Dr. Eduardo Barretto de Figueiredo, Dr. Alan Rodrigo Panosso, Dr. Diego Silva Siqueira e Dr. Ricardo de Oliveira Bordonal, pela confiança, bom convívio, conversas, incentivos e principalmente pela amizade conquistada.

Ao meu irmão (*in memoriam*) Carlos Alberto Bueno de Souza, pela amizade, carinho e companheirismo enquanto aqui presente.

À minha esposa, amiga e sempre parceira Aline Aparecida Jandoza Bueno, que sempre esteve ao meu lado nos momentos de alegria e tristeza, principalmente pelo carinho, incentivo e companheirismo.

E a todos, que de alguma forma direta ou indireta contribuíram e incentivaram minha formação pessoal e profissional ao longo desta jornada.

Meu Sincero Obrigado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. HIPÓTESE	3
1.2. JUSTIFICATIVA	4
1.3. OBJETIVOS GERAIS	4
2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E SISTEMAS DE PRODUÇÃO	5
2.2 O PAPEL DA AGRICULTURA NO PROCESSO DE MITIGAÇÃO DE GEE	19
2.3 ETAPAS DE MANEJO AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR	26
2.3.1 Área de cana-de-açúcar em fase de plantio	26
2.3.2 Área de cana-de-açúcar em tratamento de soqueira	26
2.3.3 Área de cana-de-açúcar disponível para colheita	27
2.3.4 Conversão no sistema de colheita da cana-de-açúcar	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 FONTES DE EMISSÃO ASSOCIADAS AO MANEJO AGRÍCOLA DA CANA-DE-AÇÚCAR	30
3.1.1 Emissões diretas e indiretas de N ₂ O devido ao manejo do solo	32
3.1.2 Fertilizante nitrogenado sintético	32
3.1.3 Compostos Orgânicos	34
3.2 EMISSÕES ASSOCIADAS À COLHEITA DA CANA-DE-AÇÚCAR	34
3.2.1 Emissões de N ₂ O dos resíduos da cana-de-açúcar (cana crua)	34
3.2.2 Emissões da queima dos resíduos da cana-de-açúcar	35
3.3 EMISSÕES PROVENIENTES DO USO DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS	36
3.4 EMISSÕES DE CO ₂ DEVIDO À CALAGEM	37
3.5 EMISSÕES DEVIDO AO USO DE DIESEL	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39

4.1 EXPANSÕES DAS ÁREAS DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	39
4.2 EMISSÕES DOS GEE NO PLANALTO OCIDENTAL PAULISTA	40
5 CONCLUSÃO	48
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
APÊNDICE.....	69

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Áreas de plantio, tratamento de soqueira e colheita da cana-de-açúcar no Planalto Ocidental Paulista	30
Tabela 2. Fontes de emissão de GEE consideradas para cada etapa de manejo agrícola.....	31
Tabela 3. Quantidades de insumos agrícolas e diesel consumido por hectare de acordo com as etapas de manejo agrícola da cana-de-açúcar	33
Tabela 4. Emissões totais de GEE (em t CO ₂ eq) associadas à produção da cana-de-açúcar no Planalto Ocidental Paulista, referentes ao período de 2008 a 2013	40
Tabela 5. Emissões dos GEE (em kg CO ₂ eq ha ⁻¹) durante as operações de manejo agrícola da cana-de-açúcar.....	43

LISTA DE FIGURAS**Página**

Figura 1. Localização da área de estudo, Planalto Ocidental Paulista, São Paulo, Brasil.	28
Figura 2. Expansão (ha) da área total de cana-de-açúcar cultivada no Planalto Ocidental Paulista no período de 2008 a 2013.	39
Figura 3. Mapa do Planalto Ocidental Paulista referente à área (ha) de expansão e conversão de colheita (Crua e Queimada) da cana-de-açúcar no período de 2008 a 2013.	45
Figura 4. Área (ha) de colheita (manual queimada e mecanizada crua) da cana-de-açúcar correlacionada pela área total (ha) cultivada no Planalto Ocidental Paulista no período de 2008 a 2013.	46
Figura 5. Área total (ha) de cana-de-açúcar cultivada no Planalto Ocidental Paulista, correlacionando as emissões acumuladas de GEE ($t\ CO_2eq\ ha^{-1}$) no período de 2008 a 2013.	47

Emissão de gases de efeito estufa associada ao manejo da cana-de-açúcar no Planalto Ocidental Paulista

RESUMO – O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar mundial, e 90% da produção desta cultura está concentrada na região Centro-Sul. O Planalto Ocidental Paulista é a unidade morfológica agrupada pelas regiões norte, noroeste e sudoeste do estado de São Paulo, região sudeste do Brasil com área cultivada de cana estimada em 4.989.511 ha, que representa 86% da produção do estado. Apesar dos benefícios econômicos apresentados pela expansão do setor sucroalcooleiro, algumas questões precisam ser mais bem discutidas sobre a cultura, como os impactos ambientais causados pelas queimadas. Uma das práticas mais comuns ainda hoje utilizada no Brasil é a queima da palha da cana-de-açúcar, com o propósito de facilitar as operações de colheita. Baseando-se nos dados gerados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e metodologias para inventário de emissões do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC. Os objetivos deste trabalho foram quantificar as emissões dos gases de efeito estufa provenientes das etapas de manejo da cana-de-açúcar que recentemente expandiu no Planalto Ocidental Paulista; e avaliar as mudanças na quantidade e qualidade de carbono do solo devido à conversão no sistema de colheita. Sendo observada uma expansão de 80,71% na área cultivada, mesmo com esse crescimento, as fontes de emissões reduziram de 1,54 para 1,45 t CO₂eq ha⁻¹ entre os anos de 2008 e 2013, equivalente a 5,84% a menos em emissões por área. Os resultados indicam que a redução progressiva da queimada que antecedente a colheita foi determinante para redução das emissões por hectare, sendo esta prática de queimada, determinante por 73,61% dos totais de emissões das operações de colheita. Conclui-se que apesar da área cultivada ter expandido consideravelmente, os níveis de emissões por área ou por tonelada de cana produzida diminuíram. Isso só foi possível devido à conversão no sistema de manejo da colheita antes realizada como manual queimada, e gradativamente convertido para mecanizada crua.

Palavras-chave: cana crua, cana queimada, emissão de CO₂, mudanças climáticas, sensoriamento remoto.

Emission of greenhouse gases associated with the management sugarcane in the Occidental Plateau Paulista

ABSTRACT – Brazil is the largest producer of sugarcane in the world, and 90% of the production of this crop is concentrated in the Center-South region. The Occidental Plateau Paulista is the morphological unit grouped by the north, northwest and southwest regions of the state of São Paulo, southeastern region of Brazil with an estimated area of 4,989,511 ha, which represents 86% of state production. Despite the economic benefits presented by the expansion of the sugar and alcohol sector, some issues need to be better discussed about the crop, such as the environmental impacts caused by the fires. One of the most common practices still used today in Brazil is the burning of sugarcane straw, in order to facilitate harvesting operations. Based on the data generated by the National Institute of Space Research - INPE and methodologies for inventory of emissions from the Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC. The objectives of this work were to quantify the emissions of greenhouse gases from the stages of sugarcane management that recently expanded in the São Paulo Occidental Plateau; And to evaluate changes in soil carbon quantity and quality due to conversion to the harvesting system. With an increase of 80.71% in the cultivated area, even with this growth, emission sources reduced from 1.54 to 1.45 t CO₂eq ha⁻¹ between 2008 and 2013, equivalent to 5.84% Less in emissions per area. The results indicate that the progressive reduction of the burning that preceded the harvest was determinant to reduce the emissions per hectare, being this practice of burning, determining by 73.61% of the emissions totals of the harvesting operations. It is concluded that although the area under cultivation has expanded considerably, the emission levels per area or per ton of cane produced have decreased. This was only possible due to the conversion to the harvest management system previously performed as a burned manual, and gradually converted to raw mechanized.

Keywords: raw cane, burnt cane, CO₂ emission, climate change, remote sensing.

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de fenômenos naturais extremos como as intensas ondas de calor, as tempestades, as secas e os furacões, cada vez mais severos, tem sido apontada como consequência das mudanças ocorridas no clima global, decorrentes principalmente da emissão adicional de gases do efeito estufa, como: o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Estudos sugerindo estratégias para redução desses gases na atmosfera e na mitigação do aquecimento global estão cada vez mais em foco (CERRI et al., 2009; CANELLAS et al., 2010; FIGUEIREDO, 2012).

As operações da colheita nos canaviais estão presentes nas principais discussões sobre a sustentabilidade e eficácia da produção sucroalcooleira. As condições de trabalho e a prática da queima prévia da palha da cana-de-açúcar estão associadas aos impactos sociais e ambientais, respectivamente, tendo em vista que, emissões relacionadas à queima da biomassa constituem numa importante fonte global de partículas e gases para a atmosfera (CANÇADO et al., 2006).

Conforme consta no Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 2012) do qual o Brasil é signatário, os gases de efeito estufa (GEE) devem ter as emissões reduzidas em pelo menos 5% dos níveis emitidos em 1990, o prazo anterior era de 2008 a 2012 e na última conferência do clima em Durban realizada na África do Sul, houve uma dilatação do prazo para 2013 a 2020.

É amplamente reconhecido que o uso da terra e a mudança de uso da terra e florestas - LULUCF (LEITE et al., 2012) são setores fundamentais que influenciam diretamente a mudança climática, contribuindo com um significativo volume liberado de gases de efeito estufa (GEE), especialmente CO₂.

A agricultura é responsável por 14% do total de emissões antropogênicas globais de GEE. É esperado um grande crescimento nas taxas de emissões de GEE com a agricultura, causado principalmente por aumentos de renda, população e consumo de produtos agrícolas diversos (IPCC, 2007). Ainda de acordo com o IPCC (2007), as oportunidades para mitigar os GEE na agricultura se dividem em três

grandes categorias que são: 1) redução das emissões, 2) promover o sequestro de carbono e 3) evitar emissões.

A cultura da cana-de-açúcar oferece uma das fontes de energia renováveis com boa relação custo benefício e prontamente disponível nos países em desenvolvimento (MACEDO et al., 2008). É ainda uma forma eficiente de converter energia solar e, de fato, tem a taxa mais alta de energia por volume dentre todas as culturas energéticas (JOHNSON et al., 2010). A cana-de-açúcar possui potencial para redução das mudanças climáticas através da substituição de combustíveis fósseis, sem necessidade de subsídios excessivos e nem de desenvolvimento de infraestruturas caras (OLIVEIRA et al., 2005).

A área total cultivada com cana-de-açúcar destinada à atividade sucroalcooleira no Brasil, em 2011, foi estimada em 8.033,60 mil hectares, distribuídos em todos estados produtores (CONAB, 2012). O estado de São Paulo destaca-se como o maior produtor com 54,23% (4.357 mil hectares), sendo o Planalto Ocidental Paulista responsável 4.989.511 hectares de área cultivada (INPE/Canasat, 2014).

São dois os procedimentos mais comuns adotados para colheita da cultura da cana-de-açúcar, manual com queima e mecanizada crua. Tradicionalmente a cana é queimada no campo poucos dias antes da colheita para a remoção de folhas e insetos e facilitar o corte manual (THORBURN et al., 2001). Entretanto, desde maio de 2000 essa prática antes comum vem sofrendo restrições da lei em algumas regiões do Brasil. Além da emissão de gases de efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O), outros gases poluentes e particulados são emitidos devido às queimadas, causando problemas à saúde humana como, por exemplo, respiratórios, e ainda precipitação de cinzas sobre áreas urbanas (CANÇADO et al., 2006; ANDREA & MERLET, 2001).

É estimado que cerca de 80% da área plantada na região sucroalcooleira mais produtiva do Brasil mecanize a colheita nos próximos 20 anos (CENBIO, 2002). Pela manutenção de resíduos da cultura em superfície, a colheita mecanizada favorece indiretamente o acúmulo de matéria orgânica no solo (THORBURN et al.,

2001; LUCA, 2002) e a redução de emissões de GEE, se comparado ao sistema de queimadas (ANDREA & MERLET, 2001).

A cana-de-açúcar no Brasil destinada à agroindústria do açúcar e do álcool teve uma área e produção total estimada para a safra 2012-2013 de 8,48 milhões de hectares e 588,91 milhões de toneladas, respectivamente CONAB (2013).

A colheita dessa matéria prima vem passando por mudanças, que se dão pelo sistema semimecanizado para o mecanizado, e isso se justifica pelo protocolo agro ambiental assinado por lideranças do setor canavieiro, com o objetivo de finalizar a queima dos canaviais em áreas mecanizáveis até 2014 e em áreas não mecanizáveis até 2017 (SEVERO e CARDOSO, 2009).

Por meio de dados obtidos através do monitoramento da cana-de-açúcar via imagens de satélite INPE/Canasat (2014), utilizando sensoriamento remoto, pode-se notar que o Planalto Ocidental Paulista apresentou expansão significativa quanto ao cultivo da cana-de-açúcar, estabelecendo a base de dados a partir do ano de 2008, com total cultivado em torno de 2.761.085 hectares, chegando ao ano de 2013 com 4.989.511 hectares de área, tendo assim, crescimento na ordem de 80,71% nos últimos 6 anos.

Observando-se o avanço nas áreas de cana-de-açúcar neste perímetro, faz-se necessário a condução de estimativas a partir do inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) baseado nos três tipos de operações agrícolas no setor canavieiro, distintamente separado em plantio (reformada/expansão), tratamento de soqueira (cana queimada e crua) e colheita (manual queimada e mecanizada crua).

1.1 Hipótese

Em função do exposto, a hipótese do presente trabalho é: A expansão da cultura da cana-de-açúcar no Planalto Ocidental Paulista, em função do sistema de cultivo e manejo, deve impactar as emissões de gases do efeito estufa (GEE) nesta região do Estado de São Paulo. Daí a importância em estudar, esclarecer, registrar e por fim tomar medidas para mitigar o efeito estufa a fim de preservar a biodiversidade e qualidade de vida no nosso planeta.

1.2 Justificativa

O presente trabalho compreende que o balanço de GEE associados com o uso da terra e a mudança de uso da terra são fatores fundamentais que influenciam diretamente as mudanças climáticas.

1.3 Objetivos Gerais

Os objetivos deste trabalho foram: (i) estimar a expansão do sistema de manejo da cultura da cana-de-açúcar; (ii) quantificar os níveis de gases de efeito estufa no sistema de manejo da cultura da cana-de-açúcar, e (iii) realizar uma análise comparativa entre os níveis de emissões de GEE e as formas de colheita queimada e crua, mais precisamente no Planalto Ocidental Paulista, SP.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mudanças climáticas e sistemas de produção

O mecanismo natural importante, responsável pelo aquecimento da atmosfera, e que ajuda a manter a temperatura média do planeta em condições aceitáveis, para a sobrevivência dos seres vivos, é denominado efeito estufa (YU, 2004). Quando parte da radiação solar recebida e absorvida pelo nosso planeta é emitida de volta para o espaço, ocorre a absorção desta pelos chamados gases de efeito estufa presentes na atmosfera, dando origem a esse fenômeno natural. Assim, a radiação, especialmente na faixa espectral do infravermelho, que iria diretamente ao espaço fica retida próxima à superfície do planeta. Como consequência, a radiação infravermelha que seria emitida pela superfície da terra permanece concentrada na baixa atmosfera, promovendo o aquecimento do planeta (IPCC, 2001). Não fosse pelos gases de efeito estufa presentes na atmosfera, a temperatura na superfície seria de aproximadamente -18°C (BAIRD, 2002; MELO, 1998).

O efeito estufa adicional foi em grande parte impulsionado pela queima de combustíveis fósseis desde a metade do século 20. Da mesma forma, a agricultura contribui diretamente com 14% das emissões globais de gases de efeito estufa antropogênico e é responsável por uma emissão adicional de 17%, quando a conversão de uso da terra de ecossistema natural para a produção agrícola é levada em conta (LYBBERT; SUMMER, 2012). O aumento da concentração de gases de efeito estufa antropogênico é relatado como um nexos de causalidade entre controladores externos das alterações climáticas e as mudanças observadas nas variáveis climáticas (por exemplo, intensidade de precipitação, ciclones, inundações e secas; IPCC, 2013).

O problema é quando temos uma condição de efeito estufa ampliado, causado principalmente pela emissão adicional de CO_2 , CH_4 , N_2O , clorofluorcarbonos (CFCs), entre outros gases. A temperatura do planeta se ajusta

para compensar esse desequilíbrio energético originando o fenômeno denominado “mudanças climáticas globais” (IPCC, 2001).

Duas fontes principais associadas às práticas agrícolas contribuíram para o aumento de CO₂ na atmosfera: a decomposição da matéria orgânica do solo e a queima da biomassa das plantas associado com a conversão da vegetação nativa, pradarias e florestas para o uso agropecuário (HOUGHTON et al., 1983).

As emissões atmosféricas de CO₂ (379 ppm) e CH₄ (1.774 ppb) em 2005 excederam consideravelmente os níveis naturais no decorrer dos últimos 650.000 anos (IPCC, 2007). De acordo com o IPCC (2007), o dióxido de carbono (CO₂) tem um potencial de aquecimento global (PAG) de 1, visto que o mesmo apresenta um tempo de vida curto na atmosfera e um baixo potencial para absorver a radiação infravermelha quando comparado com os demais gases de efeito estufa. Embora as concentrações de CH₄, N₂O e CFCs na atmosfera sejam ainda menores, o elevado potencial de aquecimento global (PAG) desses gases os torna um dos principais gases contribuintes para o aquecimento global. O potencial de aquecimento global do CH₄, N₂O e CFCs são de 25, 298 e 6.200 a 7.200 vezes maior que uma molécula de CO₂, respectivamente, para um período de 100 anos de permanência na atmosfera.

Fluxos de gases de efeito estufa na agricultura são complexos e heterogêneos, mas práticas de gestão em sistemas agrícolas poderiam oferecer oportunidades de mitigação. Além disso, as práticas que reduzem as emissões de gases de efeito estufa, ao mesmo tempo aumentam a capacidade de adaptação dos sistemas agrícolas às alterações climáticas. Com isso ocorreria um aumento nos rendimentos agrícolas e, conseqüentemente, outro aumento na segurança alimentar (HARVEY et al., 2014).

As práticas de manejo nos solos agrícolas podem reduzir ou aumentar o estoque de C do solo. Métodos de preparo do solo como aração e gradagem promovem perdas de C por meio de vários mecanismos segundo Bayer et al. (2000); Young & Ritz (2000); Cerri et al. (2004). O CO₂ e CH₄ originados a partir de uso dos solos agrícolas são provenientes da decomposição do carbono no solo, aplicações de fertilizantes sintéticos e orgânicos.

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas que tem a sua parcela de emissão associada ao uso de defensivos agrícolas, fertilizantes, diesel e a etapa da queima da palha que antecede a colheita, todas essas atividades como fontes diretas ou indiretas de GEE para a atmosfera. Mas gradativamente, um conceito vem se desenvolvendo na cultura, é com relação à redução gradativa da colheita manual com queima da palha, onde se faz o uso do fogo visando facilitar a operação de cisalhamento para os trabalhadores. Por meio dessa queima são emitidos para atmosfera gases que são considerados do efeito estufa. Na tentativa de mitigar estes efeitos esta sendo utilizada nas áreas de cultivo a colheita mecanizada crua que impede a queima e proporciona que a palha permaneça sobre o solo (REICOSKY & ARHER, 2007).

De acordo com CERRI et al. (2004), a prática da colheita mecanizada da cana-de-açúcar em substituição da colheita com queima da palha tem despertado interesse devido à sua contribuição para a mitigação de gases do efeito estufa. A adoção dessa prática vem aumentando, apontando para a necessidade de se quantificar as mudanças nas taxas de emissão de gases para a atmosfera.

Nos últimos 200 anos a quantidade de dióxido de carbono emitida para a atmosfera devido a atividades antrópicas, principalmente devido ao aumento do uso de combustíveis fósseis, aumentou a concentração desse gás na atmosfera de 280 ppm (partes por milhão), na era pré-industrial, para 365 ppm em 1995 (KEELING & WHORF, 1998). A concentração de carbono atmosférico foi de 379 ppm, segundo as últimas medidas feitas na estação de Mauna Loa, no Havaí (MARTINS et al., 2004). Em 2011, as concentrações de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) foram 391 ppm de 1803 ppb e 324 ppb, e superou os níveis pré-industriais em cerca de 40%, 150%, e 20%, respectivamente (IPCC, 2013).

As evidências das mudanças climáticas globais (MCG), em consequência do aumento da concentração de gases de efeito estufa, enfatizando o gás carbônico (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), e até vapores d'água (H₂O), têm se mostrado cada vez mais consistentes e comprovadas pela comunidade científica internacional. Relatórios demonstram, inclusive, que as mudanças climáticas globais

severas já ocorreram no passado e podem acontecer novamente, adiantando os cenários previstos para um futuro mais distante (ALLEY, 2005).

Os principais GEE decorrentes de atividades agrícolas são CO₂, CH₄ e N₂O. Os fluxos de CO₂ ocorrem, em sua maior parte, na captura realizada durante a fotossíntese das plantas e na liberação via respiração, assim como na decomposição e combustão de matéria orgânica. A emissão de N₂O ocorre principalmente como subproduto dos processos de nitrificação e desnitrificação. Já a emissão de CH₄ ocorre principalmente em processos anaeróbicos no solo, estocagem de estrume, fermentação entérica e durante a combustão incompleta de matéria orgânica. Os fluxos de GEE em sistemas agrícolas podem ser classificados de acordo com os componentes do ecossistema: biomassa, matéria orgânica morta, solos, gado e animais domésticos (IPCC, 2006).

A agricultura, por sua vez, além de contribuir com as mudanças climáticas é também vítima de seus impactos devido as suas fragilidades associadas à distribuição de chuvas e variações da temperatura ambiente (BORDONAL et al., 2012). Além da sua contribuição para as alterações climáticas, a agricultura também é afetada por esses impactos, com projeções de riscos suplementares para a segurança alimentar no futuro próximo (SCHMIDHUBER; TUBIELLO, 2007). Os efeitos das alterações climáticas na agricultura tropical poderá levar à diminuição da produtividade e qualidade dos produtos agrícolas, em mudanças na gestão das culturas e redução de áreas adequadas para a produção agrícola, com consequências sociais, econômicas e políticas (CERRI et al., 2007a).

Ainda que aparentemente distantes, as mudanças climáticas também ocorrerão no Brasil e, talvez, com efeitos mais prejudiciais pela vulnerabilidade histórica que o país oferece a desastres naturais, como enchentes, deslizamentos de encostas e secas (GODFRAY et al., 2011).

Os modelos de previsão de mudanças climáticas introduzidos pelo IPCC (2007) confirmaram resultados bastante variáveis, quanto à mudança de padrão de precipitações e temperaturas máximas e mínimas na América do Sul. Sobretudo, preveem aumento de temperatura para todo o continente. Para o período das monções as projeções indicam crescimento da precipitação em algumas regiões e

redução em outras, podendo inclusive haver inversão em função da época do ano. No entanto, os modelos para 2091 a 2100 ainda são divergentes em muitos pontos do Brasil, o que não permite estabelecer cenários seguros para alterações no ciclo hidrológico. Existe também, a previsão de aumento na frequência de fenômenos extremos que podem ser especialmente prejudiciais para a agricultura.

Ao contrário dos países desenvolvidos, as questões de mudanças climáticas no Brasil são principalmente relacionadas ao uso da terra e as mudanças em tal uso (LULUFC – *Land use, land use change and forest*), visto que 80% das emissões nacionais de GEE em 2005 foram provenientes de setores como a agricultura e (MCT, 2010). No entanto, as políticas públicas e intervenções, em cadeias de produção de carne bovina e no fornecimento de soja, já contribuíram para o recente declínio de 70% no desmatamento da Amazônia brasileira, e este alvo pode chegar a uma redução de 90% em 2018 (NEPSTAD et al., 2014). Mesmo segurando o maior potencial de expansão agrícola nos próximos anos, o Brasil tem alcançado resultados impressionantes na redução das emissões de GEE em 40% desde 2005, através da redução das taxas de desmatamento na Amazônia brasileira (LAPOLA et al., 2013).

Essas mudanças interferem diretamente na agricultura e nas áreas florestais brasileiras. NOBRE (2005), NOBRE et al., (2004), NOBRE et al., (2005) apresentaram resultados sobre o comportamento dos biomas brasileiros, por meio da aplicação das possibilidades do IPCC para 2091-2100 no Modelo de Vegetação Potencial do CPTEC-INPE, com o qual pôde ser observado, em maior ou menor grau, a desertificação do semiárido nordestino e uma “savanização” da Amazônia. Embora a valoração dessas alterações seja impraticável, já é percebida uma perda significativa de biodiversidade pela dificuldade de adaptação desses biomas as mudanças climáticas da ordem de poucas décadas (MEDLYN & MCMURTRIE, 2005). Em estudo da EMBRAPA (2011) foram avaliados os impactos que o aquecimento global poderá causar às principais culturas agrícolas do país nas próximas décadas. A ausência de medidas de mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e de adaptação de cultivos pode ocasionar o deslocamento de plantações

para áreas nas quais, atualmente, não se verifica sua ocorrência, como forma de aproveitar as condições climáticas mais adequadas (DOMINGUES, 2011).

O Brasil detém uma matriz energética relativamente limpa e resolvida a questão do desmatamento e das queimadas pode deixar de ser um dos maiores emissores de GEE do mundo, passando a ocupar uma posição de destaque no cenário ambiental global. Diante dessa questão, diversas organizações não governamentais influentes no país propuseram ao governo uma meta ambiciosa de acabar com as queimadas em sete anos, através de tratados de recompensa por serviços ambientais e fiscalização extensiva, com subsídio do monitoramento por satélites (sensoriamento remoto). A premiação por serviços ambientais também é proposta na declaração dos países detentores de florestas tropicais pluviais, com o objetivo de permitir a implantação das ações de redução das emissões resultantes das mudanças do uso da terra e queimadas, definido entre o período de 2008 a 2012 e dando continuidade a partir dos resultados obtidos. Para que essas políticas ambientais possam dar certo, é necessário que tais estudos sejam avaliados a fundo e que haja engajamento e coragem dos políticos em aplicá-las. Lembrando que ao fim do Protocolo de Quioto em 2012, foram estabelecidas metas também para os países em desenvolvimento e o Brasil deverá se esforçar para cumprir as metas determinadas atendendo as demandas (PELLEGRINO et al., 2007).

A sensibilização para as questões ambientais no médio e longo prazo é essencial para o desenvolvimento sustentável. É necessário desenvolver um conjunto de estratégias que incluam a adaptação, mitigação e novas pesquisas para mitigar a mudança climática. A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) é o principal fórum multilateral voltado para combater as alterações climáticas. Pautada pelas incertezas do futuro e uma forte preocupação sobre o clima global, um compromisso comum e diferenciada foi estabelecida entre todos os membros, tais como a redução e estabilização das concentrações de gases de efeito estufa, a fim de garantir a segurança alimentar e desenvolvimento económico, limitando o aquecimento ao longo o século 21 para abaixo de 2° C em relação aos níveis pré-industriais.

Na Contribuição Nacionalmente Determinada (INDC) publicada pelo governo brasileiro em 2015, e submetido à UNFCCC no âmbito da Conferência das Partes, em Paris (COP21), o Brasil se comprometeu a reduzir em 37%, até 2025, e em 43%, até 2030, as emissões de gases do efeito estufa. Para isso, o País pretende também zerar o desmatamento na Amazônia Legal e restaurar 12 milhões de hectares de florestas até 2030, uma área equivalente ao território da Inglaterra. A redução absoluta das emissões é exigida apenas das economias desenvolvidas, mas será perseguida voluntariamente pelo governo brasileiro em todos os setores da economia como pecuária, agricultura e indústria (UNFCCC, 2015).

As exigências impostas aos governantes mundiais para mitigação e adaptação às mudanças climáticas resultou em metodologias como as Diretrizes do IPCC para inventários nacionais de GEE (IPCC, 2006). Esta é uma ferramenta importante para estimar inventários nacionais de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa, ajudando as partes no cumprimento de seus compromissos no âmbito da UNFCCC. Tal metodologia é, também, importante para quantificar e analisar os potenciais impactos, em termos de balanço de GEE associadas à produção agrícola, com o objetivo de orientar a formulação de políticas públicas.

A determinação do potencial de mitigação de GEE e a substituição efetiva dos combustíveis fósseis pelo uso do etanol de cana-de-açúcar deverá estar apoiada em estudos de impactos ambientais, em particular por metodologias destinadas a analisar o balanço de GEE e do consumo de energia fóssil em diferentes sistemas de produção. Estudos de inventários de GEE são adequados neste contexto, pois permitem uma análise abrangente de toda a cadeia de produção (IPCC, 2013).

A quantificação de emissões de GEE a partir do etanol de cana-de-açúcar foi desencadeada pela necessidade de novos estudos na comunidade científica. Vários autores têm demonstrado as vantagens estratégicas do etanol de cana-de-açúcar para a mitigação de GEE em comparação com outras culturas de bioenergia em substituição de combustíveis fósseis (NGUYEN et al., 2007; RENOUF et al., 2008; BÖRJESSON, 2009; GOLDEMBERG; GUARDABASSI, 2010). No entanto, as rápidas mudanças, nos setores industriais e agrícolas, continuam a incentivar o

debate e a exigir uma análise e discussão mais aprofundada da temática GEE e uso do etanol.

Por exemplo, restrições legais para a queima na pré-colheita da cana-de-açúcar, e consequente aumento da colheita mecanizada sem queima pode influenciar o balanço de GEE em áreas agrícolas de várias formas, uma vez que a quantidade de diesel e insumos agrícolas (fertilizantes nitrogenados, vinhaça, torta de filtro, calcário e pesticidas) utilizados na produção das culturas pode variar de acordo com o sistema de manejo adotado, ou seja, com ou sem a prática da queima (BORDONAL et al., 2012).

No Estado de São Paulo, as emissões de GEE provenientes das operações da colheita nos canaviais diminuíram 37,6% nos últimos 20 anos, de 1.015 t CO₂eq ha⁻¹ em 1990 para 0,633 t CO₂eq ha⁻¹ em 2009 (Capaz et al., 2013). Logo, as ações governamentais pode ser eficazes para reduzir a queima da palha da cana-de-açúcar (FRANÇA et al., 2014).

Introduzida no período colonial, a cana-de-açúcar se tornou uma das principais culturas agrícolas da economia brasileira. O Brasil não é apenas o maior produtor, mas também o primeiro no mundo na produção de açúcar e etanol. O país atrai cada vez mais o mercado externo com o combustível produzido através da biomassa como fonte alternativa de energia (BRASIL, 2009).

O uso de práticas ecológicas no setor de produção sucroalcooleira torna-se necessário, uma vez que nos últimos anos o setor de produção da cana-de-açúcar ofereceu considerável desenvolvimento em todo o território nacional. O Brasil tem se conservado como o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e derivados. A área cultivada e colhida na safra 2008/2009 foi, nesta ordem, 8,92 e 8,14 milhões de hectares e a produção nacional neste mesmo período foi de 563.638.524 toneladas (BRASIL, 2009).

Esse desenvolvimento na produção aumenta a responsabilidade de que se venha a fazer uso de uma política de racionalidade nas práticas de uso e manejo das áreas agrícolas. Tendo em vista que, no Brasil essas práticas e, as mudanças no uso da terra e o desmatamento são as principais fontes dos gases de efeito estufa para a atmosfera (UNFCCC, 2012).

Nos últimos cinco anos o setor sucroalcooleiro, embora esteja enfrentando a instabilidade financeira mundial, tem se fortalecido no já consolidado mercado interno, impulsionado pela força e pela expansão dos motores bicompostível. Tal assertiva justifica-se, uma vez que o setor visava aumentar significativamente as exportações para a Europa, Ásia e América do Norte, segundo informações do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA (BRASIL, 2012). O MAPA fez, ainda, para 2019, projeções de aumento nas exportações de açúcar na ordem de 4% ao ano e crescimento na produção de etanol de 21,5 para 58,8 bilhões de litros, o que mediante a referida instabilidade financeira mundial poderá não se concretizar. Portanto, os desafios do setor sucroalcooleiro são: expandir seus mercados com sustentabilidade e responsabilidade socioambiental.

O Brasil é destaque mundial no uso de energias renováveis, que representam mais de 44% da matriz energética do país. O setor sucroenergético possui papel chave nesta participação, uma vez que somente os produtos da cana-de-açúcar são responsáveis por 15,7% de toda a oferta de energia do país. Este valor já ultrapassa o fornecido pelas usinas hidroelétricas (UNICA, 2012).

O desenvolvimento de tecnologias, a melhoria dos processos, o gerenciamento e controle da fabricação de açúcar e álcool elevaram os rendimentos de extração do açúcar da cana de 88% em 1977 para 98% em 1995 e ganhos de 17% em 2003 no rendimento da fermentação, chegando algumas destilarias a rendimentos de fermentação de 92% (PROCANA, 2004). Fica evidente o crescimento das áreas de cana-de-açúcar para indústria no Brasil, ocupando uma situação de destaque o Estado de São Paulo, desenvolvendo sobre áreas de pastagem que ficaram mais eficientes e, assim, ocupam menos terras para o mesmo tamanho de rebanho, mantendo a mesma eficiência, e assim sobrando mais áreas úteis. A cana-de-açúcar também progride sobre algumas áreas que em outro momento eram ocupadas por laranjas que, em alguns casos, ficaram menos produtivas, bem como sobre outras culturas como é o caso do milho e da soja (TORQUATO, 2006).

Grandes são as vantagens da produção e utilização da cana-de-açúcar para fins combustíveis, tais como a relação *output/input* de energia (renovável/fóssil) de

10:1 (MACEDO, 2000), que resulta em redução na emissão de CO₂, eliminação dos aditivos à base de chumbo, redução das emissões de SO_x e particulados, uso de fertilizantes menos agressivos e em menores quantidades, quando comparadas à outras culturas, utilização praticamente integral dos resíduos de processamento, cogeração de energia elétrica limpa, geração de empregos diretos e indiretos, entre outras.

A substituição de áreas naturais em agroecossistemas tem sido responsável por um problema ambiental de dimensões globais, ou seja, o aumento das concentrações dos GEE, transferindo para a atmosfera dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrogênio (N₂O), metano (CH₄), entre outros. Assim, o carbono que estava estocado no solo acaba sendo emitido para a atmosfera através das ações antropogênicas, contribuindo assim, para o acúmulo desses gases na atmosfera (ROSSETO et al., 2008).

No Brasil, a cultura da cana-de-açúcar é uma das mais importantes, devido aos aspectos de área de abrangência, nível tecnológico, econômico, ambiental e social. Na esfera econômica ela assume valor devido à geração de energia por meio do uso da queima da palha e preferencialmente na produção industrial. Nesse último fator, é evidenciada a produção de álcool, um concorrente e substituto direto dos combustíveis fósseis. No aspecto ambiental, se adotado um manejo coerente, o cultivo da cana-de-açúcar pode proporcionar a mitigação de emissões dos gases de efeito estufa. Através da fotossíntese a cana-de-açúcar atua como sumidouro de CO₂ da atmosfera. Este CO₂ é devolvido e proporciona o aumento do estoque de carbono no solo. O ciclo produtivo da cana-de-açúcar e seus produtos e subprodutos constitui uma importante fonte de distribuição de riqueza e de bem estar para inúmeras comunidades afastadas dos grandes centros urbanos, contribuindo para a diminuição na migração para as metrópoles e de seus consequentes problemas sociais (URQUIAGA et al, 1991).

Há uma discussão em pauta de que a expansão da cultura cana-de-açúcar no Brasil e a produção de biocombustíveis, principalmente do etanol, causariam impactos negativos na produção e no aumento de preços dos alimentos, com consequente aumento do desmatamento e utilização de novas áreas, inclusive na

Amazônia, o que é muito pouco provável. A área total plantada com cana-de-açúcar em 2005 ocupava apenas 2% da área agrícola do país, da qual, 99,7% situando pelo menos a 2 mil quilômetros da floresta amazônica (MACEDO, 2005).

A expansão da cana-de-açúcar nos últimos 25 anos aconteceu principalmente no Centro-Sul do Brasil, em áreas muito distantes dos biomas atuais da Floresta Amazônica, Mata Atlântica e Pantanal. Entre 1992 e 2003, no Centro-Sul a expansão deu-se quase totalmente (94%) nas áreas já utilizadas com cana-de-açúcar, sendo que novas fronteiras agrícolas foram muito pouco envolvidas. Em São Paulo (que é responsável por 58% da cana produzida no país), o crescimento ocorreu principalmente pela substituição de áreas de pastagens degradadas (MACEDO, 2008).

No início do século XXI, o setor agrícola brasileiro foi marcado por um novo ciclo no plantio da cana-de-açúcar para obtenção de álcool combustível, agora não mais apenas para a substituição do consumo de petróleo pela elevação dos preços, como ocorreu nos anos 1970 quando foi criado o PROÁLCOOL.

A cana-de-açúcar ocupa atualmente 0,9% do território nacional e tem potencial para dobrar sua produção até 2017. Uma iniciativa pioneira estabeleceu o zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar no Brasil. O objetivo deste zoneamento foi disciplinar a expansão da produção nacional de cana diante da demanda mundial de biocombustíveis e, ainda, do interesse de empresas nacionais e transnacionais em aportar recursos para a produção de etanol no país (EMBRAPA, 2011).

A área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2012/13 está estimada em 8.567,2 mil hectares, distribuídos em todos estados produtores conforme suas características. O Estado de São Paulo é o maior produtor com 51,66% (4.426,45 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 8,97% (768,64 mil hectares), Goiás com 8,54% (732,02 mil hectares), Paraná com 7,17% (614,01 mil hectares), Mato Grosso do Sul com 6,31% (540,97 mil hectares), Alagoas com 5,35% (458,09 mil hectares) e Pernambuco com 3,48% (298,39 mil hectares). Nos demais Estados produtores as áreas são menores, com representações abaixo de 3% (CONAB, 2012).

A expansão da área plantada com cana-de-açúcar tem comportamento diferenciado ao longo do País. O maior percentual de aumento está na região Sudeste, responsável por 96,38% do total da área nova agregada. A região Sudeste foi a que apresentou o maior aumento, acrescentando 357.183 hectares à área existente. Em São Paulo o aumento foi de 246.011 mil hectares e em Minas Gerais 106.640 hectares. Outra região que apresentou crescimento significativo na área de expansão foi a Centro-Oeste, 188.396 hectares, puxado por Goiás pelo plantio de 115.792 hectares, seguido pelo Mato Grosso do Sul, 65.347 hectares. Na região Sul, o Paraná vai plantar 50.066 hectares de novas lavouras. O total da área de expansão em todo País deve ficar em 618.056 hectares (CONAB, 2012).

São Paulo pode ser considerado o Estado onde as transformações provocadas pelo capital no processo de produção agrícola associada à cana-de-açúcar são as mais evidentes do País. Elas podem ser avaliadas em termos da presença marcante do trabalho assalariado, especialmente o temporário e o volante, ainda, em termos de produtividade da terra e do trabalho, revelada através da renda agrícola, dos investimentos, da mecanização, enfim, da intensificação cada vez maior da produção através do capital (SILVA, 1982).

A prática do cultivo de monoculturas, embora importante economicamente, conduz a inúmeros efeitos negativos. Entre eles, enfatiza-se à fragmentação da paisagem aberta, diminuição da biota microbiológica do solo, além de promover o depauperamento da diversidade genética da flora e da fauna. Além disso, emprega-se com frequência em diferentes regiões do país a colheita manual com a queima da palha da cana-de-açúcar (TIMM, 2002). Essa prática de colheita é danosa ao ambiente, pois promove a poluição do ar devido à dispersão de cinzas e emissão de carbono para a atmosfera. Em adição, o solo exposto à ação da chuva e do vento, promovendo uma deterioração através de processos erosivos; ocasiona o desequilíbrio ecológico naquela área, favorecendo o aparecimento de ervas daninhas e eliminando os seres que promovem o controle biológico das pragas da lavoura de cana-de-açúcar, reduzindo consideravelmente o aporte de matéria orgânica do solo.

As práticas de plantio sofrem variações conforme, seja ele realizado de forma mecanizada ou semimecanizada, mas basicamente pode ser dividido em três etapas: o corte dos colmos, sua distribuição no sulco e cobertura. A relação das atividades que constituem o sistema de plantio convencional, o qual é, muitas vezes, chamado “manual”, devido ao predomínio de operações manuais em sua realização. Tais atividades são: o corte, o carregamento e o transporte das mudas; a sulcação e a adubação; a distribuição, o alinhamento e o seccionamento (picamento) dos colmos no sulco; a cobertura dos sulcos juntamente à aplicação de inseticida; o repasse manual da cobertura de sulcos (COLETI, 1987).

Outras operações, como os tratos culturais e a colheita, envolvem menos energia, porém maior complexidade operacional, o que abre a possibilidade de complementar o trabalho manual com auxílios mecânicos. Nesses casos, a mão-de-obra executa as funções que demandam discernimento e/ou manuseio delicado, e o equipamento executa a parte da operação que demanda mais energia e apresenta maiores riscos de acidentes ocupacionais.

Contudo, havia pressão de parte da sociedade para que a prática das queimadas fosse interrompida, com argumentos que iam desde a necessidade de se preservar o meio ambiente e de se poluir menos o ar, passando pela diminuição de problemas de saúde, especialmente os respiratórios, dos canavieiros e da população de maneira geral, até os relacionados com a manifestação de contrariedade com a sujeira urbana provocada pela fuligem da queimada de cana. Ao mesmo tempo, porção expressiva do Ministério Público ajuizava ações solicitando o fim imediato das queimadas (BACCARIN et al., 2014).

Legislações e normas específicas foram elaboradas entre o final da década de 1990 e o início do século XXI, propondo a redução gradativa das queimadas dos canaviais. No âmbito federal, como destaca Oliveira (1999), foi publicado o Decreto 2.661 de 8 de julho de 1998 que estabelece que a prática da queimada da palha da cana deveria ser, gradativamente, eliminada em 20 anos.

No Estado de São Paulo havia sido aprovado o decreto n. 42.056, de 6 de agosto de 1997, estabelecendo que a queimada da palha da cana deveria ser eliminada, gradativamente, em áreas mecanizáveis (com declividade igual ou

inferior a 12%) em prazo máximo de oito anos e em área não mecanizáveis (declividade superior a 12%) em prazo de 15 anos (OLIVEIRA, 1999). Imediatamente, houve reação empresarial contrária e novas propostas passaram a ser discutidas na Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Acabou-se por editar a Lei 11.241, de 19/09/2002 (ALESP, 2012) que estabelece um calendário gradativo para que a eliminação completa da queimada dos canaviais ocorra até 2031, em áreas não mecanizáveis ou em imóveis menores que 150 hectares, e até 2021, em áreas mecanizáveis. Portanto, a atual legislação estadual paulista mostrou-se bastante cautelosa, estabelecendo prazos de 20 a 30 anos, a partir de 2002, para a eliminação total da queimada da palha de cana em seu território.

Em virtude dos impactos ocasionados pela queima da palha, com base na legislação brasileira, os órgãos de controle ambientais têm agido com menos tolerância à prática da colheita manual da cana-de-açúcar, exigindo que as indústrias e empresas do seguimento busquem formas mais eficientes e sustentáveis para solucionar os problemas causados ao ambiente (BUSATO, 2004; CHAVES, 2008).

Uma saída para resolver este problema é impedir a colheita manual com a despalha pelo uso da queima, o que permitirá a deposição dos resíduos da cultura sobre o solo com a colheita mecanizada. Esse método irá colaborar para uma melhor infiltração da água, diminuindo a erosão e adicionado ao solo material orgânico. Em adição, tem sido sustentado que tal prática ajuda a mitigar a emissão de gases de efeito estufa, conseqüentemente, aprimorando a fertilidade do solo (CANELAS et al, 2003).

Uma camada de proteção do solo é fornecida pela deposição dos resíduos da colheita mecanizada de cana crua. Em média, a cana-de-açúcar produz cerca de 10 Mg ha⁻¹ de palha, composta de diversos elementos químicos, evidenciando-se o carbono (C) e o nitrogênio (N). Depositada sobre o solo a palha forma uma camada na ordem de 15 a 20 cm de espessura (URQUIAGA, et al., 1991). Porém, esta conservação da palha de cana-de-açúcar sobre o solo ocasiona alguns impactos negativos sobre o sistema de cultivo, por exemplo: risco de incêndio, dificuldade

para execução de cultivo, demora ou falha na brotação, proliferação de algumas pragas (ROSSETO, et al., 2008).

A cultura da cana-de-açúcar é classificada como uma planta mitigadora de carbono. Logo, são indispensáveis estudos que venham reforçar a autonomia sobre os efeitos benéficos dos cultivos racionais no melhoramento da MOS (matéria orgânica do solo). Por fim, pode-se dizer que, a compreensão das transformações nas propriedades químicas do solo, em consequência do cultivo contínuo de cana-de-açúcar, deverá contribuir com a formação de elementos para a produção em bases sustentáveis, uma vez que o conteúdo e a qualidade da MOS agregam atributos dos solos que podem ser utilizados para avaliar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (BARROS, 2011).

2.2 O papel da agricultura no processo de mitigação de GEE

Os fluxos de gases de efeito estufa (GEE) na agricultura são complexos e heterogêneos, mas as atividades de manejo dos sistemas agrícolas oferecem possibilidades de mitigação. Muitas dessas oportunidades baseiam-se em tecnologias que podem ser adotadas imediatamente (IPCC, 2007). Algumas práticas para mitigar as mudanças climáticas em áreas agrícolas incluem: melhoria do manejo de solos agrícolas; melhoria do manejo de pastagens, manejo de solos agrícolas orgânicos; recuperação de áreas degradadas, manejo da criação de gado, manejo dos resíduos/biossólidos e produção de bioenergia (IPCC, 2007).

Os ecossistemas terrestres que compreendem a vegetação e o solo são considerados um grande sumidouro de carbono, especialmente os solos. Há várias maneiras pelas quais o manejo apropriado da biosfera, particularmente do solo, pode resultar em significativa redução na emissão de gases de efeito estufa (GARRITY et al., 2001). O manejo do solo que interage com o estoque de C e as emissões de GEE está relacionado ao tipo de cultura, frequência de pousio, manejo de resíduos, culturas de cobertura, rotações, preparo, irrigação, drenagem e adubação (PAUSTIAN et al., 1997).

A eficiência em acumular carbono no solo pelos diversos sistemas de manejos e tipos de vegetação difere devido às características da cultura agrícola em questão, como a relação carbono por nitrogênio (C/N) de suas partes. Em adição, há outros aspectos relacionados com a condição climática da região, pois, por exemplo, a taxa de mineralização da matéria orgânica em regiões temperadas (ex. Europa Central) é de aproximadamente 2%, quando comparada aos trópicos úmidos (ex. Amazônia), que é de 4 a 5%. Por outro lado, a produção de biomassa, ou seja, de vegetação, é maior nos trópicos úmidos (MACHADO, 2005). Portanto, é importante aperfeiçoar os manejos dos ecossistemas baseados nas variações climáticas e características geográficas de cada região, visando obter um sequestro de C da atmosfera mais efetivo (WANG et al., 2010).

O preparo resulta em efeitos diretos sobre a dinâmica do coeficiente de ocupação do solo (COS), devido à mudança no ambiente do solo, tais como a temperatura, umidade e oxigenação, que favorecem a atividade microbiana; e efeitos indiretos, como o rompimento dos agregados do solo. Os efeitos diretos (temperatura, umidade e oxigênio) somados a uma maior exposição do C no solo, devido à quebra dos agregados, intensificam a atividade microbiana no solo, e conseqüentemente aumentam as emissões de CO₂ (BALESDENT et al., 2000). Características intrínsecas do solo também estão relacionadas com um maior ou menor acúmulo de carbono orgânico, a exemplo da textura, em que solos de textura argilosa apresentam um maior potencial em acumular C orgânico do que solos de textura arenosa, ambos sob a mesma condição climática (SILVA et al., 1994).

A estabilização do carbono orgânico em solos tropicais e temperados está condicionada à estrutura do solo, biota do solo e suas interações, assim como às práticas de manejo agrícolas adotadas (SIX et al., 2002), sendo o preparo conservacionista uma excelente estratégia para reduzir a erosão do solo, diminuir as perdas de C do sistema, melhorar a estrutura do solo e, até mesmo reduzir o consumo de óleo diesel pelo maquinário durante as operações agrícolas, que também é uma fonte de emissão de gases de efeito estufa.

Um potencial global de mitigação de 770 MtCO₂eq por ano até 2030 proveniente somente da melhoria na eficiência energética no setor agrícola pela

redução do uso de combustível fóssil, foi apresentado por SMITH et al. (2007). A agricultura de precisão e um melhor planejamento da nutrição das culturas podem promover o uso mais eficiente de fertilizantes e, assim, reduzir as emissões associadas com aplicações excessivas (VITOUSEK et al., 2009), reduzindo custos e melhorando a eficiência de produção das culturas. Finalmente, muita atenção tem sido dada ao preparo reduzido e ao potencial de sequestro de carbono orgânico no solo em sistemas agrícolas, que podem incrementar a fertilidade e melhorar o rendimento em solos degradados (LAL, 2004; WEST & POST, 2002; GOMIERO et al., 2008; ALVAREZ, 2005; SMITH, et al., 2008; ROBERTSON et al., 2000).

O sequestro de carbono no solo é o mecanismo responsável pela maior parte do potencial de mitigação com uma contribuição estimada de 89% para o potencial técnico. A mitigação das emissões de CH₄ e N₂O de solos contabiliza 9% e 2%, respectivamente, do potencial de mitigação total previsto para 2030 (IPCC, 2007).

Aumentos dos teores da matéria orgânica do solo (MOS), em áreas de cana queimada convertidas para o sistema de colheita mecanizada sem queima variam de 0,93 a 1,45 t C ha⁻¹ ano⁻¹ em solos arenosos e 1,59 a 2,27 t C ha⁻¹ ano⁻¹ em solos argilosos (CERRI et al., 2011). Mas, em estudos que consideraram as operações de replantio durante a reforma do canavial, os resultados mostraram menores taxas de acúmulo (0,16 t C ha⁻¹ ano⁻¹) e perdas de 0,14 t C ha⁻¹ ano⁻¹, mesmo após 12 anos de adoção da colheita crua (CERRI et al. 2011; REZENDE et al., 2006).

Não se pode afirmar, que o sequestro de carbono no solo ocorre em áreas de cana queimada convertidas para colheita crua. É imprescindível considerarmos, neste caso, a reforma do canavial em estudos que determinam as variações do estoque de C do solo, quando ocorre a conversão do sistema de colheita manual queimada para mecanizada crua, bem como a contribuição das emissões devido a outras operações e manejos agrícolas nestas áreas (LA SCALA JR. et al., 2012).

Entretanto, o sequestro de C obtido pela adoção de manejos conservacionistas por muitos anos pode ser considerado uma solução de curto prazo. LA SCALA et al. (2006) demonstraram que em poucos dias após o preparo convencional do solo, aproximadamente 25 dias, a perda de carbono do solo pode ser tão alta quanto à taxa anual de sequestro de C obtida por sistemas

conservacionistas durante muitos anos. VANDEN BYGAART & KAY (2004) constataram que, no solo franco-arenoso, o carbono perdido em 18 meses após o preparo foi aproximadamente 66% da quantidade de carbono sequestrado durante 22 anos.

Para o presente estudo foram compiladas informações de diversas literaturas tendo como objetivo a pesquisa da expansão das áreas de cultivo e emissões de GEE nas etapas agrícolas da cultura da cana-de-açúcar no Planalto Ocidental Paulista, SP no período de 6 anos, porém o potencial de acúmulo de carbono no solo mediante essas práticas não foram considerados como sumidouro de GEE, levando em consideração apenas as etapas de plantio, tratamento de soqueira e colheita.

Em condições naturais, os fluxos de CO_2 entre a atmosfera e os ecossistemas são fundamentalmente controlados pela absorção por meio da fotossíntese das plantas e emissões via respiração, decomposição e combustão da matéria orgânica do solo. O N_2O é principalmente emitido a partir de ecossistemas como um subproduto do processo de nitrificação e desnitrificação, enquanto o CH_4 é emitido por meio da metanogênese sob condições anaeróbicas nos solos e do armazenamento de esterco, por meio da fermentação entérica, e durante a combustão incompleta de materiais orgânicos (IPCC, 2006).

Os principais gases de efeito estufa emitidos em atividades agrícolas são CO_2 , N_2O e CH_4 . Os componentes principais de tais emissões agrícolas, excluindo-se a mudança no uso da terra, por sua vez, são o N_2O emitido de solos, relacionado com a aplicação de fertilizante nitrogenado (38%), CH_4 a partir da fermentação entérica do gado, CH_4 e N_2O do manejo dos dejetos (38%), CH_4 a partir do cultivo de arroz (11%), CH_4 e N_2O da queima de áreas naturais, como cerrado, mata e resíduos agrícolas (13%) (EPA, 2006). Nota-se, então, que as atividades agrícolas emitem basicamente N_2O e CH_4 . Além destas fontes de emissões diretas, o setor agrícola é responsável indireto pelas emissões nos setores industriais e de energia por meio da produção de fertilizantes e pesticidas, produção e operação de máquinas agrícolas, e no uso de energia em áreas agrícolas (WEST & MARLAND, 2002).

Segundo orientação do IPCC (2006), as fontes de emissões que devem ser consideradas para estimar as emissões e remoções de gases de efeito estufa para o Setor AFOLU (Agricultura, Florestas e Outros Usos da Terra), incluem as emissões e remoções de CO₂ decorrentes de mudanças nos estoques de C da biomassa, para todas as terras manejadas; CO₂ e as emissões de gases não CO₂ provenientes do fogo em todas as terras manejadas; as emissões de N₂O de todos os solos manejados (uso de fertilizantes N, e o N dos resíduos vegetais e compostos orgânicos); as emissões de CO₂ associadas à calagem e aplicação de ureia em solos manejados; emissões de CH₄ provenientes do cultivo de arroz inundado; emissões de CO₂ e de N₂O de solos orgânicos cultivados; emissões de CO₂ e N₂O do manejo de áreas úmidas; emissão de CH₄ da criação de animais (fermentação entérica); CH₄ e N₂O provenientes de sistemas de manejo de dejetos, e mudança no estoque de C associada a produtos de madeira colhida.

Agricultura de precisão pode ser definida como um sistema de gerenciamento que leva em consideração a variabilidade espacial que existe dentro de uma área de produção, independente de seu tamanho e trata de maneira localizada essa variabilidade. Há uma evidência bem comprovada que tanto a qualidade, quanto a produtividade, são espacialmente variáveis no campo e sistemas vêm sendo desenvolvidos para explorar esta variação e aumentar o rendimento das culturas (SCOTFORD, 2005).

No contexto da agricultura de precisão, Molin (1997) define sensoriamento como uma técnica que consiste em medir com a devida precisão as quantidades que definem a variabilidade e que normalmente dizem respeito à cultura e ao solo. Técnicas de sensoriamento remoto se baseiam em obter informações de um objeto sem que haja o contato físico entre o instrumento de medida e o objeto (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

Estudos que utilizam dados de sensoriamento remoto para a estimativa da produtividade de culturas agrícolas podem ser vistos em Fontana et al. (2001), Berka, Rudorff e Shimabukuro (2003), e Rizzi e Rudorff (2007), dentre outros. Estes estudos tiveram por base o emprego da variável índice de vegetação, extraída de

imagens de sensoriamento remoto, cuja informação está relacionada com o vigor vegetativo das culturas e, por conseguinte, à produtividade agrícola.

Durante as duas últimas décadas o desenvolvimento na capacidade de aquisição de dados terrestres, aéreos e de satélite, processamento e interpretação, tem tornado possível utilizar as tecnologias do sensoriamento remoto em conjunto com os sistemas de agricultura de precisão (McNAIRN et al., 2001). Medidas indiretas e não destrutivas da cultura são uma alternativa para tomadas de decisão sobre o manejo (MOGES et al., 2004).

O sensoriamento remoto é definido como uma técnica de aquisição e de aplicação das informações sobre um objeto sem nenhum contato físico com ele. A informação é adquirida pela detecção e medição das mudanças que o objeto impõe ao campo ao seu redor, e este sinal pode incluir um campo eletromagnético emitido e/ou refletido, ondas acústicas refletidas e/ou perturbadas pelo objeto ou as perturbações do campo de gravidade ou potencial magnético com a presença do objeto. Geralmente a aquisição de informações é baseada na captação dos sinais eletromagnéticos que cobrem o espectro inteiro das ondas eletromagnéticas desde a onda longa de rádio, passando pelas micro-ondas, infravermelho termal, médio e próximo, visível, ultravioleta, raios X, até os raios gama (LIU, 2007).

A mensuração da refletância espectral, por exemplo, é a abordagem sem contato e não destrutiva mais promissora para a determinação da deficiência de nitrogênio nas culturas (TUMBO; WAGNER; HEINEMANN, 2002). Com esse propósito, as técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para avaliar as condições das culturas em relação ao nitrogênio, sendo que propriedades espectrais, refletância e transmitância das folhas são afetadas pela deficiência de nitrogênio (BLACKMER et al., 1996).

Associado a esse fato, percebe-se um aumento no interesse em agricultura de precisão e desenvolvimento de sistemas inteligentes para manejar os recursos agrícolas. Essas abordagens relativamente novas objetivam aumentar a produtividade, aperfeiçoar a rentabilidade e proteger o ambiente (HABOUDANE et al., 2002).

No estudo da resposta espectral de folhas verdes, MOREIRA (2005) mencionou que no intervalo de comprimentos de ondas de 400 a 700 nm, correspondente à faixa do visível, a refletância é baixa, da ordem de 10%, com um suave aumento da resposta na região do verde (550 nm). Na faixa do infravermelho próximo (700 a 1300 nm) ocorre outro aumento na refletância para valores próximos a 50%. Daí em diante, até 2500 nm (infravermelho médio - IVM), há um gradual decréscimo, aparecendo algumas feições de absorção pelo conteúdo de água.

As contribuições do solo na resposta espectral da vegetação variam com a quantidade exposta, com as suas propriedades intrínsecas e com as condições da superfície. Na determinação dos índices de vegetação, a influência do solo é significativa em situações de cobertura parcial pela vegetação, especialmente onde possam ocorrer variações espaciais ou temporais da superfície do solo. Essa influência ocorre tanto em relação ao brilho do dossel, associado à amplitude da radiância refletida, quanto ao perfil da curva espectral, associado às características mineralógicas, orgânicas e de absorção de água (HUETE, 1989).

Sistemas de visão artificial foram utilizados para seleção de produtos agrícolas (PARK; CHEN, 1996), identificação de plantas (GUYER et al., 1986; JIA; KRUTZ, 1992; PÉREZ et al., 2000) e avaliação das condições da cultura (BACCI et al., 1998). No entanto, poucos têm sido os trabalhos publicados onde se utiliza processamento de imagens digitais para levantamento de falhas de plantio em culturas.

Conforme apontado por Fontana, Berlato e Bergamaschi (1998), as mudanças estruturais da vegetação no decorrer da estação de crescimento resultam em uma diferenciação da sua refletância, o que permite empregá-la para o monitoramento da vegetação, bem como distinguir diferentes tipos de vegetação e detectar possíveis problemas de crescimento.

2.3 Etapas de manejo agrícola da cana-de-açúcar

2.3.1 Área de cana-de-açúcar em fase de plantio

São as áreas cultivadas com cana-de-açúcar passíveis de serem colhidas na safra corrente. Esta etapa envolveu dois tipos de áreas: a) Reformada: são as áreas de cana-de-açúcar que passaram por reforma dos talhões na safra anterior, ou seja, áreas onde as socas pouco produtivas foram substituídas e estarão disponíveis para colheita na safra corrente; b) Expansão: Áreas que nas safras anteriores eram destinadas a outros usos do solo e na safra corrente estão sendo cultivadas com cana-de-açúcar e estarão disponíveis para colheita pela primeira vez. Lavouras de cana-de-açúcar que foram convertidas em outro uso por um período igual ou maior a duas safras e voltaram a ser cultivadas com cana-de-açúcar também se inserem nessa classe. Para identificar essas áreas foi necessário que o intérprete analisasse as imagens sob a classe “outros” do mapa da safra anterior (INPE/Canasat, 2012).

2.3.2 Área de cana-de-açúcar em tratamento de soqueira

Para a cana-de-açúcar as melhores produtividades foram consideradas aquelas obtidas nas safras que sucederam o plantio, quando houve a recomendada e adequada fertilização do solo, já que nos demais anos, além do baixo vigor da soqueira, surgem e/ou se agravam outros problemas, como: nível nutricional, compactação, pragas e doenças. Tal procedimento justifica-se uma vez que foi observada queda na produtividade agrícola ao longo dos ciclos, a qual foi mais drástica da cana-planta (cana de ano e meio) para a primeira soca (CAPAZ et al., 2013).

Nesta etapa também incluiu-se lavouras reformadas com cana planta de ano; Como Cana Soca, receberam esta denominação as áreas cultivadas com cana-de-açúcar a partir da segunda colheita, ou seja, a partir da primeira rebrota, que por sua vez foi dividida em tratamento de soqueira para cana-de-açúcar colhida crua, e queimada (INPE/Canasat, 2012).

2.3.3 Área de cana-de-açúcar disponível para a colheita

As áreas consideradas foram as cultivadas e colhidas utilizando dois tipos específicos de manejo no sudeste do Brasil: colheita manual, que é baseada na queima prévia da cana-de-açúcar, e colheita mecanizada, que não envolve a queima prévia (também conhecida como colheita crua) e deixa grande quantidade de resíduos da cultura sobre a superfície do solo (SILVA-OLAYA et al., 2013). A propósito, os sistemas de colheita agrícola devem ser adaptados com intuito de atender a Lei Estadual Nº 11.241/2004 (São Paulo, 2004), que obriga o fim da colheita queimada no final de 2021 em áreas que apresentam a declividade do terreno de até 12%, e para 2031 em áreas com declividade superior a 12%.

2.3.4 Conversão no sistema de colheita da cana-de-açúcar

Na localidade estudada a cana-de-açúcar vem ganhando espaço nos últimos anos em substituição especialmente de áreas de pastagens. Esse processo tem sido acompanhado de ganhos de produtividade com a mecanização da colheita que, se por um lado torna ocioso um expressivo contingente de mão de obra, por outro, gera ganhos ambientais. Contando também que a área de plantio da cana-de-açúcar tem aumentado significativamente.

A conversão no sistema de colheita da cana-de-açúcar, passando de manual queimada para mecanizada crua ocorreu em pequenas áreas, nas quais antes prevalecia na sua maioria a tolerância pela queima prévia do canavial, e com o passar do tempo após exigência imposta pela legislação ambiental vigente, este sistema teve que ser adaptado, mas por outro lado, na sua maior parte conforme a cana-de-açúcar foi expandindo e ocupando novas áreas nesses casos já era adotado diretamente o sistema de colheita mecanizada crua.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo para realizar a estimativa da emissão de GEE está localizada no Planalto Ocidental Paulista, unidade morfológica agrupada pelas regiões norte, noroeste e sudoeste do estado de São Paulo, região sudeste do Brasil, ocupando aproximadamente metade do território do estado de São Paulo, caindo de 700 metros de altitude a leste, para 300 metros a oeste em relação ao nível do mar. A região (Figura 1) é formada por 375 municípios (Apêndice A) dos 645 que compõem o estado de São Paulo.



Figura 1. Localização da área de estudo, Planalto Ocidental Paulista, São Paulo, Brasil (INPE/Canasat).

A região sudeste do Brasil representa 63% da área total de cana-de-açúcar produzida no país (CONAB, 2014). As metodologias do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) foram aplicados para estimar o balanço de GEE a partir do cultivo de cana-de-açúcar. Os dados foram considerados em termos de equivalente de dióxido de carbono (CO_2eq) para o período de 100 anos de acordo

com os potenciais de aquecimento global de 1, 25 e 298 para o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), respectivamente. Além disso, a razão molar de 1 C = 44/12 equivalente CO₂ foi usado para converter massa C em CO₂ equivalente (IPCC, 2013).

Foram consideradas duas abordagens principais: (i) a expansão da área de cana-de-açúcar, e (ii) o cultivo da cana-de-açúcar de 2008 a 2013 no Planalto Ocidental Paulista. As imagens de satélite foram usadas para monitorar o uso do solo e delinear as áreas cultivadas de cana-de-açúcar com práticas na gestão de colheitas específicas (colheita manual queimada e mecanizada crua), de acordo com as metodologias propostas por Adami et al. (2012), Rudorff et al. (2010) e Aguiar et al. (2011).

Na elaboração deste trabalho, foram utilizados os dados das áreas de cana-de-açúcar referentes aos anos de 2008 a 2013 (Tabela 1), em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, por meio da Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR e do projeto Canasat. Na etapa de interpretação visual utilizaram-se imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*), a bordo do satélite Landsat-5. Como alternativa às imagens TM com cobertura de nuvens, foram utilizadas imagens do sensor CCD (*High Resolution CCD Camera*) a bordo dos satélites CBERS-2 e CBERS-2B. Para cada órbita/ponto do sensor TM/Landsat foi criado um banco de dados com imagens do período de interesse dos dois sensores. Todas as imagens foram registradas utilizando polinômio de primeiro grau e interpolação por vizinho mais próximo, com base nos mosaicos ortoretificados de imagens TM/Landsat-7 obtidos da NASA (GeoCover). Todos os registros foram realizados com erro médio quadrático menor que 0,5 pixel.

Para a edição e a atualização do mapa a cada safra, utilizou-se a função de edição matricial do programa SPRING, que permite modificar ou corrigir o resultado de uma classificação, bem como definir novos polígonos de classes. Nesse procedimento, o intérprete utilizou as imagens de diversas datas contidas nos bancos de dados para confirmar a qual etapa de manejo de cana-de-açúcar pertencia. A fim de homogeneizar os resultados, o mapa temático resultante de cada banco de dados foi revisado por um intérprete com maior experiência e

posteriormente submetido à reclassificação de pixels isolados. Esta técnica permite a correção controlada e automática de pixels isolados ou de um grupo de pixels que foram classificados incorretamente ou inseridos involuntariamente pelo intérprete no momento da interpretação (BERKA et al., 2005).

Tabela 1. Áreas de plantio, tratamento de soqueira e colheita da cana-de-açúcar no Planalto Ocidental Paulista (Fonte: INPE/Canasat).

Ano	Plantio		Tratamento de soqueira		Colheita	
	Reformada (ha)	Expansão (ha)	Queima (ha)	Crua (ha)	Queima (ha)	Crua (ha)
2008	234.630	608.076	1.491.810	1.423.020	1.699.633	1.621.412
2009	337.036	283.629	1.595.168	1.929.286	1.514.402	1.831.491
2010	252.610	128.931	1.612.814	2.254.845	1.606.281	2.245.616
2011	220.954	143.779	1.267.886	2.510.082	1.371.598	2.715.166
2012	402.976	199.432	946.872	2.615.477	1.061.169	2.931.535
2013	518.155	322.442	587.945	3.039.106	668.421	3.454.785
Total	1.966.361	1.686.289	7.502.495	13.771.816	7.921.503	14.800.004

3.1 Fontes de emissões associadas ao manejo agrícola da cana-de-açúcar

O presente estudo aplicou as metodologias do IPCC (2006) para o cálculo das estimativas de emissões de GEE, considerando-se os principais sistemas de manejo utilizados em áreas de cana-de-açúcar no Planalto Ocidental Paulista, que compreendem o sistema de colheita manual com queima, considerando o uso do preparo convencional nas áreas de reforma do canavial; sistema de colheita mecanizada sem queima que utiliza o preparo convencional durante a reforma (BORDONAL et al., 2012).

As seguintes fontes de GEE foram consideradas: a) Emissões de N₂O do manejo do solo associadas à aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos, compostos orgânicos (vinhaça e torta de filtro) e resíduos da cana-de-açúcar

depositados na superfície do solo; b) Emissões de CH₄ e N₂O devido à queima da palha na pré-colheita da cana-de-açúcar; c) Aplicação de calcário; d) Aplicação de defensivos; e) Fontes móveis, representados pelo consumo de óleo diesel durante as operações agrícolas. As emissões de GEE relacionadas às fases de produção dos insumos agrícolas (fertilizante nitrogenado sintético, calagem e defensivos), assim como as fases de extração, processamento e transporte do óleo diesel também foram incluídas nos cálculos (DE FIGUEIREDO & LA SCALA JR, 2011).

Considerando o ciclo de cultivo médio de 6 anos da cana-de-açúcar, identificou-se no Planalto Ocidental Paulista as áreas de reforma/expansão, de tratamento de soqueiras e de colheita, relativas aos tipos de manejos agrícolas associados à cultura da cana-de-açúcar, sendo as principais fontes de emissão de GEE apresentadas na Tabela 2 de acordo com cada etapa de manejo da cultura.

Tabela 2. Fontes de emissão de GEE consideradas para cada etapa de manejo agrícola.

Manejos	CQ – Cana Queimada	CC – Cana Crua
Plantio	Fertilizantes Sintéticos	Fertilizantes Sintéticos
	Torta de Filtro	Torta de Filtro
	Calcário	Calcário
	Inseticida	Inseticida
	Herbicida	Herbicida
Tratamento de Soqueira	Diesel	Diesel
	Fertilizantes Sintéticos	Fertilizantes Sintéticos
	Vinhaça	Vinhaça
	-	Inseticida
Colheita	Herbicida	Herbicida
	Diesel	Diesel
	-	Resíduos da colheita crua
	Queima de resíduos	-
	Diesel (L)	Diesel (L)

O balanço das emissões de GEE nas três etapas de manejo foram classificados em termos de CO₂ equivalente (CO₂eq) de acordo com o potencial de aquecimento global individual para cada gás no período de 100 anos, sendo 1 para CO₂, 25 para CH₄ e 298 para N₂O (IPCC, 2007). As emissões de GEE foram estimadas representando o consumo dos insumos e óleo diesel por hectare durante

as operações de plantio, tratamento de soqueira e colheita, com os resultados sendo expressos em termos de $\text{kg CO}_2\text{eq ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ após aplicar as metodologias do IPCC (2006).

3.1.1 Emissões diretas e indiretas de N_2O devido ao manejo do solo

O N_2O é um gás de efeito estufa altamente estável e de longa vida cujas concentrações atmosféricas estão aumentando a uma taxa de 0,2 a 0,3% por ano, sendo a maior parte das suas emissões atribuída às atividades antrópicas (CAST, 2004).

Os solos são responsáveis por boa parte das emissões de N_2O , sendo que as emissões antrópicas de óxidos de N estão relacionadas com a adição de fertilizantes e aumento na mineralização do N orgânico do solo em sistemas agrícolas (DUXBURY, 1995). O impacto do N_2O na mudança radiativa é direta já que este gás participa numa variedade de reações que afetam os níveis troposféricos de ozônio, proporcionando a sua degradação e radicais OH que iniciam a destruição oxidativa de CH_4 (HUANG et al., 2004).

O preparo do solo direcionado à cultura da cana-de-açúcar devido ao manejo pode ocasionar diretamente ou indiretamente efeitos significativos nas emissões de N_2O associados às entradas de combustíveis provenientes dos maquinários e insumos agrícolas como é o caso dos fertilizantes N sintéticos, vinhaça e torta de filtro.

Deste modo, considerou-se neste estudo as emissões relacionadas às fases de produção e transporte do fertilizante N sintético, com um fator de emissão de $3,97 \text{ kg CO}_2\text{eq kg}^{-1}$ do N aplicado no solo (MACEDO et al., 2008).

3.1.2 Fertilizante nitrogenado sintético

O nitrogênio é, depois do carbono, hidrogênio e oxigênio o elemento mais demandado pelos vegetais (LISBOA et al., 2011). Parte da quantidade de N requerido pelas culturas pode ser suprida pelo solo, no entanto, em muitas situações

o solo é ineficiente para atender toda a demanda por N, tornando-se necessária a fertilização através dos fertilizantes nitrogenados sintéticos.

A adubação mineral no plantio da cana-de-açúcar tem o objetivo de proporcionar produtividades em torno de $100 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Para esse tipo de nutriente é recomendado uma aplicação que varia entre 30 a 90 kg N ha^{-1} (Tabela 3; SPIRONELLO et al., 1997).

Para o tratamento de soqueiras considerou-se uma produtividade de $100 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para a qual é proposto uma aplicação de $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de fertilizante nitrogenado (Tabela 3) durante os ciclos de soqueira (SPIRONELLO et al., 1997). Entretanto, na conversão dos sistemas de colheita queimada para o de colheita crua nos primeiros anos é recomendado uma taxa de $130 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Tabela 3) devido à alta relação C/N dos resíduos da cultura, o que pode levar à imobilização do nitrogênio do solo e dos fertilizantes pelos microrganismos, reduzindo a sua acessibilidade para a cultura da cana-de-açúcar (VITTI et al., 2007; TRIVELIN & VITTI, 2005; GENTILE et al., 2008).

Tabela 3. Quantidade de insumos agrícolas e diesel consumidos por hectare de acordo com as etapas de manejo agrícola da cana-de-açúcar.

Manejos	CQ - Cana Queimada	CC – Cana Crua
PLANTIO		
Fertilizantes Sintéticos (kg N)	60	60
Torta de Filtro (kg N)	105	105
Calcário (t)	2,0	2,0
Inseticida (kg)	0,16	0,16
Herbicida (kg)	2,0	2,0
Diesel (L)	166,72	166,72
TRATAMENTO DE SOQUEIRA		
Fertilizantes Sintéticos (kg N)	100	130
Vinhaça (kg N)	44,1	44,1
Inseticida (kg)	-	1,5
Herbicida (kg)	2,0	2,0
Diesel (L)	16,09	20,36
COLHEITA		
Diesel (L)	94,70	177,20

Adaptado de Bordonal et al. (2012). * kg: quilograma; N: nitrogênio; t: tonelada; L: litro.

3.1.3 Compostos Orgânicos

A vinhaça é utilizada na fertirrigação das áreas de cana-de-açúcar como adubo orgânico promovendo a reciclagem de nutrientes e substituindo o uso de adubos minerais (BORGES et al., 2011).

Na aplicação dos cálculos (Tabela 3), o conteúdo de N na vinhaça foi considerado como $0,368 \text{ kg N m}^{-3}$, com uma taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ em cada ano, chegando a um valor de $44,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ no tratamento de soqueira (DE FIGUEIREDO & LA SCALA JR, 2011).

A torta de filtro é um composto basicamente orgânico, tem composição química variável e apresenta altos teores de matéria orgânica, fósforo, nitrogênio, cálcio e possui, ainda, teores consideráveis de potássio, magnésio (NUNES JÚNIOR, 2005), e expressivas quantidades de Fe, Mn, Zn e Cu (CERRI et al., 1988).

Para o cálculo, foi considerado para a torta de filtro um teor de 1,4% de N em 25% de matéria seca, sendo aplicado no sulco de plantio a uma quantidade de 30 t ha^{-1} durante a reforma do canavial, independente se a colheita anterior foi realizada crua ou queimada, (DE FIGUEIREDO & LA SCALA JR, 2011), que corresponde a uma taxa de aplicação de 105 kg N ha^{-1} .

3.2 Emissões associadas à colheita da cana-de-açúcar

3.2.1 Emissão de N_2O dos resíduos da cana-de-açúcar (cana crua)

A quantidade de resíduos vegetais depositados no campo após a colheita da cana mecanizada é função direta de características da variedade, como produtividade, facilidade de despalha do colmo, uniformidade de altura dos ponteiros e tamanho dos mesmos (MANECHINI, 1997). A quantidade média de palha sobre o solo após a colheita mecanizada da cana-de-açúcar foi considerada igual a 15 t ha^{-1} , com um teor de N presente nesses resíduos, variando de 40 a 80 kg ha^{-1} (PAES & OLIVEIRA, 2005; TRIVELIN et al., 1996; RESENDE et al., 2006). A palha da cana é composta por folhas secas, folhas verdes e ponteiros. Após a colheita mecanizada

da cana, estes três materiais vegetais são depositados no solo. As folhas secas, as folhas verdes e os ponteiros apresentam praticamente a mesma composição, sendo constituídas por 45% de carbono (C), 6% de hidrogênio, 43% de oxigênio e entre 0,5% e 1% do macronutriente nitrogênio (N) (TUFAILE NETO, 2005).

Com a deposição de material orgânico no solo, o equilíbrio entre a mineralização e imobilização do N é comprometida, já que ambos os processos ocorrem respectivamente, e a relação C/N do material será responsável por qual deles será predominante (CASSMAN; MUNNS, 1980). Assim, a matéria seca da cana-de-açúcar, tem uma relação C/N da ordem de 100, poderá melhorar a imobilização do N inorgânico disponível no solo para sustentar o crescimento da população de microrganismos, promovido pela abundância de C como fonte de energia. A metabolização do substrato reduz gradualmente a relação C/N, chegando a um ponto em que os microrganismos não necessitam do N inorgânico, acontecendo dessa forma, a mineralização líquida e a consequente potencialização na disponibilidade de N no solo (CANTARELLA, 2007).

Nas estimativas das emissões de N_2O dos resíduos da cultura depositados na superfície do solo, a quantidade de N disponível para nitrificação e desnitrificação foi considerada em 20% do total presente na palha (60 kg ha^{-1} de N) durante o período de 1 ano (Tabela 3), portanto, uma quantidade média de $12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de N estaria disponível para atividade microbiana do solo em áreas de colheita crua (BORDONAL et al., 2012).

3.2.2 Emissões da queima dos resíduos da cana-de-açúcar

A colheita manual da cana-de-açúcar faz uso da queima prévia da palhada para aumentar a eficiência da operação. Proporcionando um maior acesso à cultura, a queima da palhada (o resíduo do processo de colheita, que inclui a palha e a ponteira da cana) dobra a quantidade média de cana cortada por um trabalhador, que é em média 6 t dia^{-1} . Apesar dessa vantagem, o processo de queima causa vários problemas, do aspecto social, ou através da liberação de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa, como é o caso do monóxido de carbono

(CO), o metano (CH₄), as espécies de nitrogênio (N₂O, NO_x) e os compostos orgânicos voláteis não-metano (NMVOC) são lançados para a atmosfera (LEVINE, 2000) e fuligem que causa incômodo para a população local.

Os fatores de emissão empregado nos cálculos foram: 2,7 e 0,07 para o CH₄ e o N₂O (g kg⁻¹ de matéria seca queimada), respectivamente (ANDREA & MERLET, 2001). A produtividade média anual da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo foi considerada em 73 t ha⁻¹ de colmos (CONAB, 2012), com a produção média de 13,5 t ha⁻¹ de matéria seca, que resulta na relação resíduo-produção de 0,1849. O fator de combustão aplicado aos cálculos foi de 0,80 valor esse obtido das metodologias do IPCC (2006).

3.3 Emissões provenientes do uso de defensivos agrícolas

Outros ingressos de energia fóssil vêm da aplicação de defensivos agrícolas, que são os herbicidas e inseticidas. A quantidade de herbicidas usada é grande, enquanto a aplicação de fungicidas é praticamente nula e o consumo de inseticidas é relativamente baixo (BORDONAL et al., 2012).

Atualmente, os herbicidas têm sido consumidos em quantidades semelhantes tanto em áreas de cana queimada quanto em áreas de cana crua. Sendo assim, considerou-se a aplicação das mesmas doses para todos os cenários, com a dose de 2,0 kg ha⁻¹ de herbicida aplicado no plantio e no tratamento de soqueiras (MACEDO et al., 2008) (Tabela 3).

São consideradas neste trabalho, como emissões de GEE das fases de produção e transporte dos inseticidas e herbicidas consumidos nos cenários de produção, tendo como base os fatores de emissão sugeridos por MACEDO et al., (2008), que descreve uma emissão de 4,64 e 50,0 kg CO₂eq kg⁻¹ de inseticida e herbicida aplicados respectivamente (Tabela 3).

No sistema de colheita manual com queima da palhada é comum a aplicação dos inseticidas apenas no plantio a uma taxa de 0,16 kg ha⁻¹ Tabela 3; (MACEDO et al., 2008). Já no sistema de colheita mecanizada sem queima, os níveis de infestação por pragas de solo têm aumentado com a deposição de resíduos vegetais

na superfície do solo (BORDONAL et al., 2012). Portanto, considerou-se a taxa de aplicação de $0,16 \text{ kg ha}^{-1}$ de inseticida tanto no plantio quanto no tratamento de soqueiras (Tabela 3) em áreas colhidas mecanicamente sem queima (MACEDO et al., 2008).

3.4 Emissões de CO₂ devido à calagem

A calagem é uma prática agrícola com seus benefícios bem estabelecidos, entre eles, a correção da acidez do solo, aumento na disponibilidade de cálcio, fósforo e magnésio, a melhoria da estrutura do solo e a atividade microbiana. A elevação do pH melhora a capacidade do solo em adsorver alguns nutrientes, reduzindo assim, suas perdas por lixiviação. Dentre esses nutrientes está o potássio, nutriente mais extraído pela cultura da cana e que possui potencial de perdas por lixiviação em condições de alta acidez do solo (LEVINE, 2000; ROSSETTO et al., 2004), para os cálculos, foi considerado a dose de 2 t ha^{-1} de calcário durante a reforma do canavial (DE FIGUEIREDO & LA SCALA, 2011), que resulta em um valor de emissão considerado como $0,13 \text{ t de C por t de calcário dolomítico aplicado}$ (IPCC, 2006) As emissões relacionadas às fases de produção do calcário também foram consideradas com uma quantidade emitida de $0,01 \text{ kg CO}_2\text{eq kg}^{-1}$ de calcário aplicado (MACEDO et al., 2008).

3.5 Emissões devido ao uso de diesel

As estimativas das emissões associadas às fontes móveis foram relacionadas às fases de extração, processamento e transporte do diesel, assim como as emissões diretas devido ao consumo de diesel pelo maquinário durante as operações agrícolas de preparo do solo, plantio, tratamento de soqueiras, colheita e transporte da cana-de-açúcar dentro do setor sucroalcooleiro.

As emissões diretas de CO₂, CH₄ e N₂O foram estimadas de acordo com a metodologia do IPCC (2006). Os fatores de emissão aplicados para o CO₂, CH₄ e N₂O foram: $74.100 \text{ kg CO}_2 \text{ TJ}^{-1}$, $4,15 \text{ kg CH}_4 \text{ TJ}^{-1}$ e $28,6 \text{ kg N}_2\text{O TJ}^{-1}$,

respectivamente. Para determinar o fator de emissão, a densidade do diesel foi considerada como sendo 852 g L^{-1} , com o consumo específico de 195 g kWh^{-1} (DE FIGUEIREDO & LA SCALA, 2011). As emissões de GEE relacionadas às fases de extração, processamento e distribuição do diesel foram consideradas como sendo $0,581 \text{ kg CO}_2\text{eq L}^{-1}$ de diesel (MACEDO et al., 2008).

Os transportes que envolvem as operações agrícolas é o processo que corresponde às maiores emissões de CO_2 e tem o maior consumo final de combustíveis fósseis, principalmente os associados à colheita mecanizada. É o que mais elevou o crescimento das emissões em anos recentes (GARCIA & SPERLING, 2010).

Os dados utilizados para estimar as emissões de GEE do diesel foram baseados no consumo médio anual de todas as operações agrícolas durante o manejo da cana-de-açúcar em suas diferentes fases: plantio, tratamento de soqueiras e colheita (Tabela 3) (BORDONAL et al., 2012).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Expansões das áreas de cana-de-açúcar

Tendo como ponto de partida a base de dados adquirida do projeto INPE/Canasat, e de acordo com os resultados apresentados por Aguiar et al. (2011), é observado que o Planalto Ocidental Paulista, SP foi uma das áreas que mais expandiu para a cultura da cana-de-açúcar no estado de São Paulo.

O presente estudo relata a expansão na área de cana-de-açúcar cultivada no do Planalto Ocidental Paulista, SP, destacando principalmente os anos de 2008 a 2009, onde a expansão registrada foi de 2.761.085 para 4.458.236 hectares para este período (Figura 2). O aumento de 61,47% é bastante significativo, atingiu no ano de 2013 4.989.511 hectares de área, totalizando 80,71% de expansão em relação ao ano de 2008, 48,82% dessa área foi colhida na forma mecanizada crua e 51,18% manual queimada, já para o ano de 2013, 83,79% foi colhida mecanizada crua e 16,21% manual queimada.

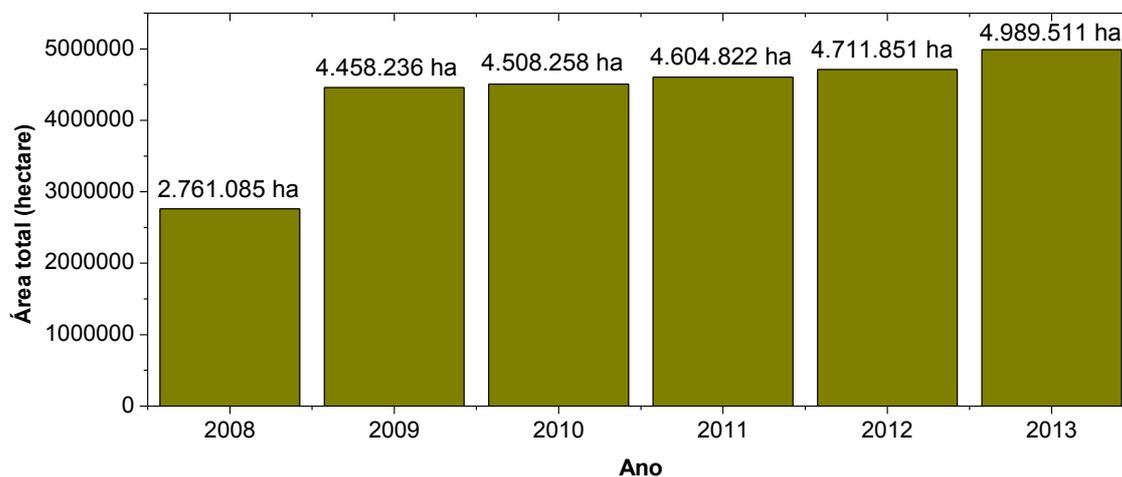


Figura 2. Expansão (ha) da área total de cana-de-açúcar cultivada no Planalto Ocidental Paulista no período de 2008 a 2013.

4.2 Emissões dos GEE no Planalto Ocidental Paulista

As estimativas do balanço das emissões totais de GEE das etapas agrícolas e das fontes móveis para a cultura da cana-de-açúcar no Planalto Ocidental Paulista, SP durante o período estudado (em t CO₂eq) estão apresentadas na Tabela 4, divididos em três tipos de manejo, sendo: plantio (reformada / expansão), tratamento de soqueira (crua / queimada) e colheita (manual queimada / mecanizada crua).

Tabela 4. Emissões totais de GEE (em t CO₂eq) associadas à produção da cana-de-açúcar no Planalto Ocidental Paulista, referentes ao período de 2008 a 2013.

Ano Safra	Plantio		Tratamento de soqueira		Colheita		TOTAL (t CO ₂ eq)
	Reformada (t CO ₂ eq)	Expansão (t CO ₂ eq)	Queimada (t CO ₂ eq)	Crua (t CO ₂ eq)	Queimada (t CO ₂ eq)	Crua (t CO ₂ eq)	
2008	704.078	1.824.714	2.127.754	2.550.009	2.440.961	1.251.908	10.899.425
2009	1.011.378	851.114	2.275.172	3.457.223	2.174.939	1.414.112	11.183.937
2010	758.032	386.896	2.300.340	4.040.615	2.306.892	1.733.863	11.526.638
2011	663.039	431.452	1.808.373	4.497.992	1.969.848	2.096.407	11.467.110
2012	1.209.251	598.456	1.350.515	4.686.856	1.524.019	2.263.468	11.632.564
2013	1.554.878	967.583	838.580	5.445.987	959.967	2.667.474	12.434.468
Total	5.900.655	5.060.215	10.700.734	24.678.681	11.376.626	11.427.231	69.144.142

Os valores das emissões anuais de gases de efeito estufa estão relacionadas às áreas e atividades naquele ano executadas. Considerado, especialmente, para cada ano os seguintes aspectos:

2008: para este período, é observada nas etapas de plantio (reformada/expansão) 620.665 hectares de área, para o tratamento de soqueira (queimada/crua) de 3.524.454 hectares, e colheita (queimada/crua) de 3.345.893 hectares, produzindo 11.183.937 t CO₂eq na emissão de GEE sendo por área 1,49 t CO₂eq por hectare,

apresentando como destaque o aumento nas emissões proveniente do tratamento de soqueira na ordem de 22,54%;

2008/2009: para este período, é observada nas etapas de plantio (reformada/expansão) 704.078 hectares de área, para o tratamento de soqueira (queimada/crua) de 3.524.454 hectares, e colheita (queimada/crua) de 3.345.893 hectares, produzindo 11.183.937 t CO₂eq na emissão de GEE sendo por área 1,49 t CO₂eq por hectare, apresentando como destaque o aumento nas emissões proveniente do tratamento de soqueira na ordem de 22,54%;

2009/2010: para este período, é observada nas áreas das etapas de plantio (reformada/expansão) de 381.541 hectares, tratamento de soqueira (queimada/crua) de 3.867.659 hectares, e colheita (queimada/crua) de 3.851.897 hectares, totalizando 11.526.638 t CO₂eq na emissão de GEE no valor de 1,42 t CO₂eq por hectare, tendo como destaque 38,53% de redução nas emissões advindas das operações de plantio, e aumento nas emissões proveniente do tratamento de soqueira 10,62%, e 12,58% na colheita;

2010/2011: para este período, é observada nas áreas das etapas de plantio (reformada/expansão) de 364.733 hectares, tratamento de soqueira (queimada/crua) de 3.777.968 hectares, e colheita (queimada/crua) de 4.086.764 hectares, totalizando 11.467.110 t CO₂eq na emissão de GEE e por hectare 1,39 t CO₂eq, sendo essa emissão por hectare a menor registrada, devido a desaceleração das emissões nas operações de plantio, que comparada com o início deste estudo chega a 56,72% de diferença;

2011/2012: para este período, é observada nas áreas das etapas de plantio (reformada/expansão) de 602.408 hectares, tratamento de soqueira (queimada/crua) de 3.562.349 hectares, e colheita (queimada/crua) de 3.992.704 hectares, totalizando 11.632.564 t CO₂eq na emissão de GEE e por hectare 1,43 t CO₂eq,

tendo como destaque o aumento significativo nas emissões proveniente do plantio na ordem de 65,16%;

2012/2013: para este período, é observada nas áreas das etapas de plantio (reformada/expansão) de 840.596 hectares, tratamento de soqueira (queimada/crua) de 3.627.051 hectares, e colheita (queimada/crua) de 4.123.206 hectares, totalizando 12.434.468 t CO₂eq na emissão de GEE e por hectare 1,45 t CO₂eq, tendo como destaque o aumento expressivo nas emissões proveniente do plantio na ordem de 39,54%;

As emissões totais de GEE (em t CO₂eq) referentes ao setor agrícola da cana-de-açúcar para cada etapa de manejo consideradas neste estudo (plantio, tratamento de soqueira e colheita) ao longo do período estudado. Para o ano de 2008 as emissões totais provenientes de todas essas operações agrícolas totalizaram 10.899.425 t CO₂eq, no ano de 2013 essas emissões totais alcançaram o valor de 12.434.468 t CO₂eq, caracterizando 14,10% de aumento nas taxas de emissão no período de 6 anos.

As análises das emissões de GEE (em kg CO₂eq ha⁻¹) referente aos insumos agrícolas (Tabela 5) e combustíveis utilizados na cana-de-açúcar estão divididos por etapa de produção (plantio, tratamento de soqueira e colheita), sendo o plantio dividido em áreas de reforma e de expansão, o tratamento de soqueira separado em cana queimada e cana crua, e a área de colheita dividida em manual queimada e mecanizada crua:

Tabela 5. Emissões dos GEE (em kg CO₂eq ha⁻¹) durante as operações de manejo agrícola da cana-de-açúcar.

Manejos	CQ - Cana Queimada (kg CO ₂ eq ha ⁻¹)	CC – Cana Crua (kg CO ₂ eq ha ⁻¹)
PLANTIO		
N Fertilizantes Sintéticos	610,49	610,49
Torta de Filtro de N	700,67	700,67
Calcário	973,33	973,33
Inseticida	4,64	4,64
Herbicida	50,00	50,00
Diesel	661,67	661,67
Total (1)	3.000,80	3.000,80
TRATAMENTO DE SOQUEIRA		
N Fertilizantes Nitrogenados	1.017,48	1.322,72
Vinhaça	294,95	294,95
Inseticida	-	43,5
Herbicida	50,00	50,00
Diesel	63,86	80,80
Total (2)	1.426,29	1.791,97
COLHEITA		
Resíduos da colheita crua	-	68,84
Queima de resíduos da cana	1.060,32	-
Diesel	379,75	710,57
Total (3)	1.440,07	779,41

Adaptado de Bordonal et al. (2012).

Plantio - As fontes de emissões anuais foram classificadas em insumos e combustíveis utilizados no plantio, tais como fertilizantes sintéticos nitrogenados (610,49 kg CO₂eq ha⁻¹), torta de filtro (700,67 kg CO₂eq ha⁻¹), calcário (973,33 kg CO₂eq ha⁻¹), inseticida (4,64 kg CO₂eq ha⁻¹), herbicida (50 kg CO₂eq ha⁻¹) e diesel (661,67 kg CO₂eq ha⁻¹), totalizando para essa etapa um valor de 3.000,80 kg CO₂eq ha⁻¹.

Tratamento de soqueira - As fontes de emissões foram estimadas anualmente, fazendo distinção entre cana queimada e crua para soqueiras, sendo os valores quantificados respectivamente para os fertilizantes N sintéticos (1.017,48 kg CO₂eq ha⁻¹ e 1.322,72 kg CO₂eq ha⁻¹), vinhaça (294,95 kg CO₂eq ha⁻¹ e 294,95

kg CO₂eq ha⁻¹), herbicida (50 kg CO₂eq ha⁻¹ e 50 kg CO₂eq ha⁻¹), diesel (63,86 kg CO₂eq ha⁻¹ e 80,80 kg CO₂eq ha⁻¹). Já as emissões referente ao uso de inseticida (43,5 kg CO₂eq ha⁻¹) foram calculadas apenas para a soca de cana crua, totalizando nesse manejo 1.426,29 kg CO₂eq ha⁻¹ e 1.791,97 kg CO₂eq ha⁻¹ observando um valor de 25,64% a mais nas emissões para o manejo da soca de cana crua.

Colheita - Neste estudo as emissões da colheita estão divididas em duas etapas, colheita queimada e colheita crua, as emissões anuais foram baseadas nos resíduos adicionados na superfície do solo após a colheita mecanizada para cana crua (68,84 kg CO₂eq ha⁻¹), resíduos da pré-colheita para cana queimada (1.060,32 kg CO₂eq ha⁻¹), diesel de operações agrícolas para cana queimada (379,75 kg CO₂eq ha⁻¹) e consumo de diesel para cana crua (710,57 kg CO₂eq ha⁻¹), totalizando para cana queimada 1.440,07 kg CO₂eq ha⁻¹ e 779,41 kg CO₂eq ha⁻¹ para cana crua, o que equivale a diferença de 84,76% a mais nas emissões envolvendo a colheita manual queimada. É possível dizer que boa parte das emissões provenientes das operações agrícolas envolvendo a cultura da cana-de-açúcar é derivada dos resíduos da queima da palhada da cana.

O mapeamento dos dados referentes à área cultivada de cana-de-açúcar no Planalto Ocidental Paulista, SP, relacionando as áreas de colheita divididas entre cana queimada e cana crua, observando a conversão no sistema de colheita juntamente com a expansão da área no período de 2008 a 2013 (Figura 3).

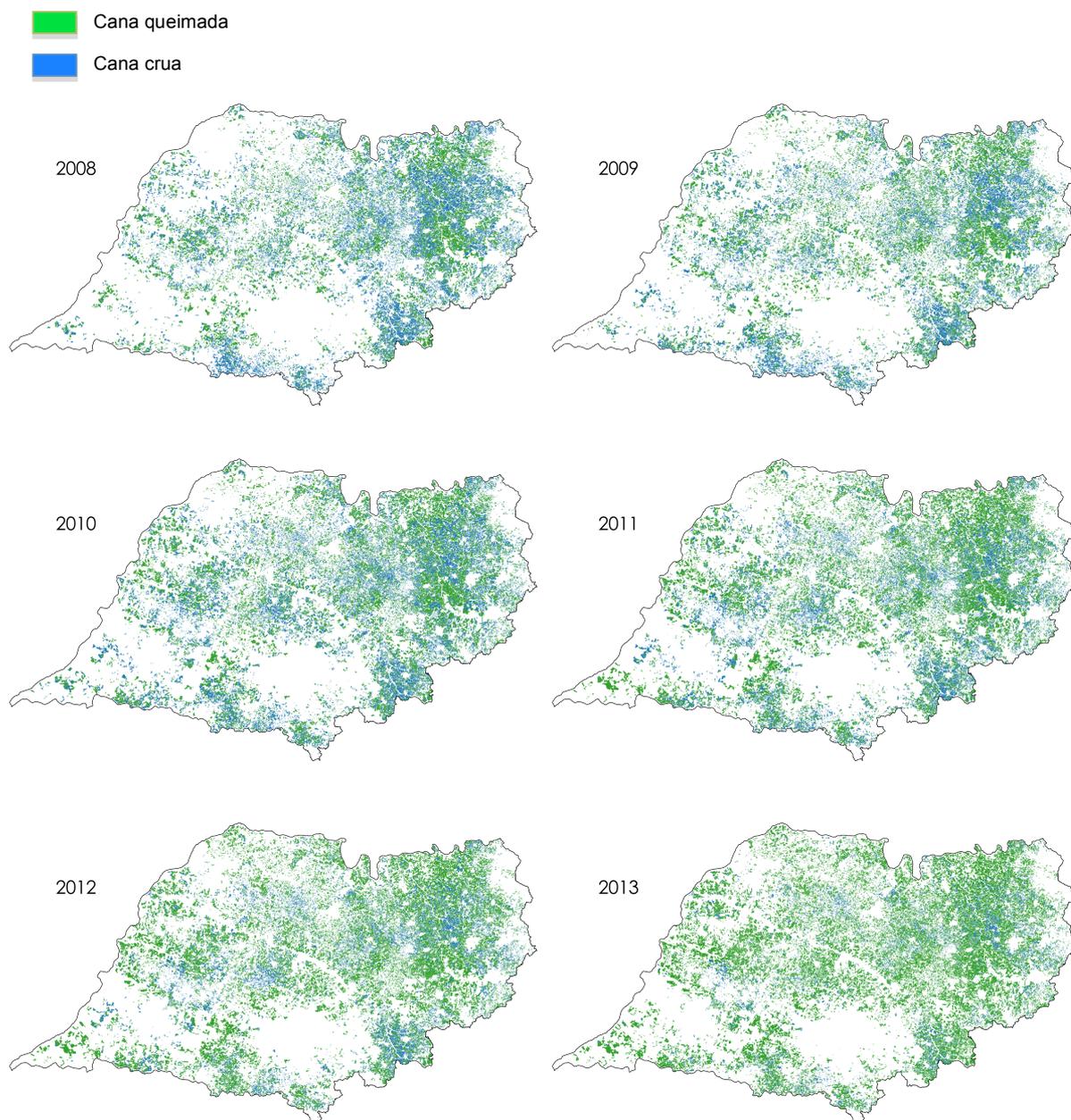


Figura 3. Mapa do Planalto Ocidental Paulista referente à área (ha) de expansão e conversão de colheita (Crua e Queimada) da cana-de-açúcar no período de 2008 a 2013.

Sendo assim apenas algumas áreas passaram por conversão conforme pode ser observado na Figura 3, ao longo do período estudado onde a expansão ocorreu em áreas consideradas de pastagem e ao passar dos anos sendo ocupadas pela cana-de-açúcar.

Para o período estudado houve uma conversão no sistema de manejo na operação de colheita, sendo esta convertida de manual queimada para mecanizada crua para um período de 6 anos.

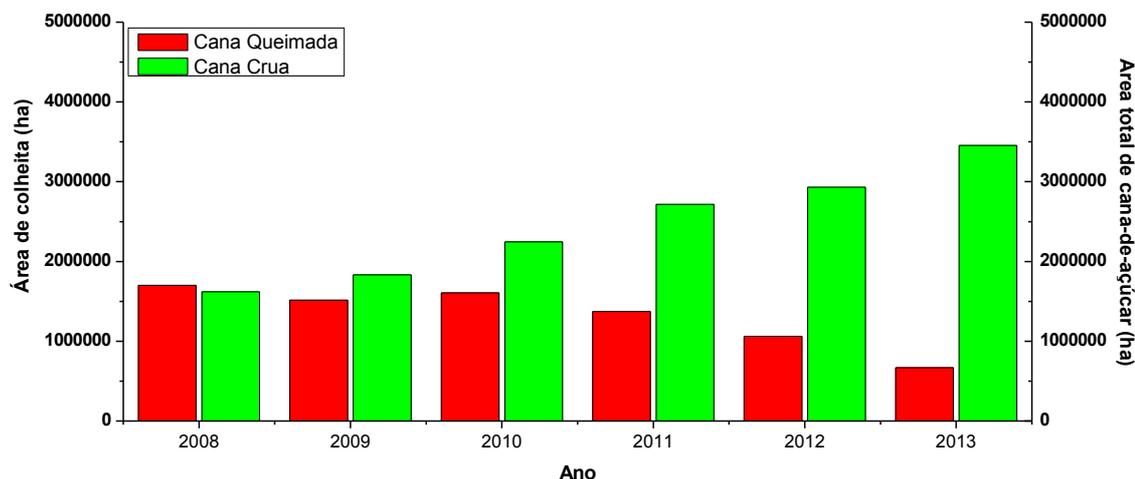


Figura 4. Área (ha) de colheita (manual queimada e mecanizada crua) da cana-de-açúcar correlacionada pela área total (ha) cultivada no Planalto Ocidental Paulista no período de 2008 a 2013.

Na Figura 5 é apresentada a correlação entre a área total (ha) de cana-de-açúcar cultivada no Planalto Ocidental Paulista e as emissões totais de GEE (t CO₂eq ha⁻¹) durante o período de 2008 a 2013. Para o ano de 2008, observou-se que a área total cultivada com cana-de-açúcar foi de 2.761.085 hectares e as emissões provenientes do plantio, tratamento de soqueira e colheita foram de 1,54 t CO₂eq ha⁻¹. No ano 2013, a área total cultivada com cana foi de 4.989.511 hectares e suas emissões foram de 1,45 t CO₂eq ha⁻¹, resultando em 5,84% de redução se comparado ao ano de 2008.

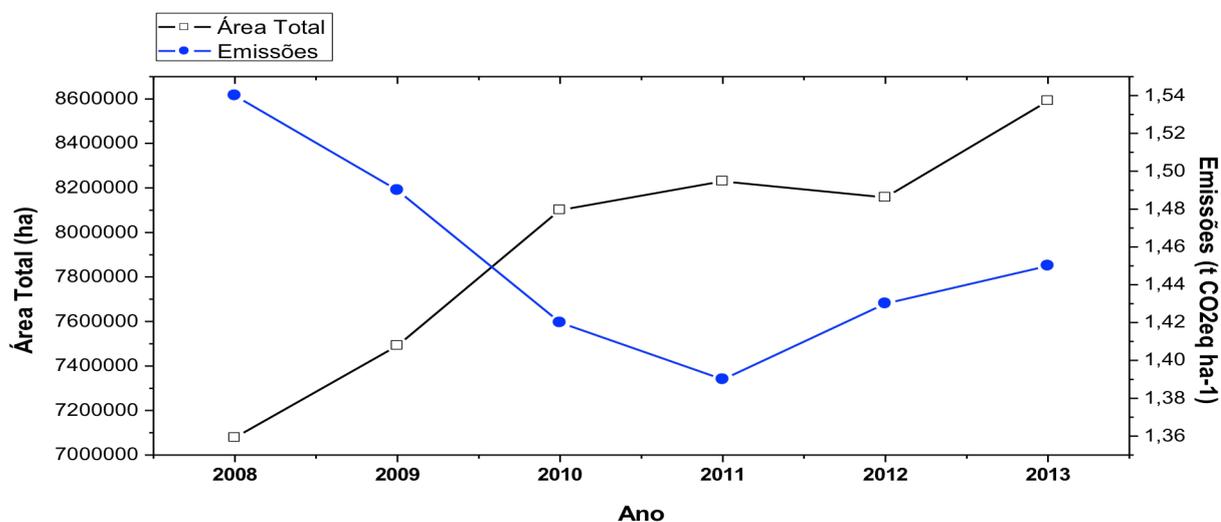


Figura 5. Área total (ha) de cana-de-açúcar cultivada no Planalto Ocidental Paulista, correlacionando as emissões acumuladas de GEE (t CO₂eq ha⁻¹) no período de 2008 a 2013.

A chamada agricultura sustentável, idealizada e tão aclamada seria uma forma de agricultura que conserva os recursos naturais a fornecer produtos saudáveis, sem comprometer os níveis tecnológicos já alcançados de segurança alimentar dos indivíduos. Tal conceituação resulta de emergentes pressões sociais pela agricultura que não prejudique o ambiente, a economia, a saúde, em suma, a sociedade como um todo. Este estudo recomenda que os sistemas das operações nos manejos agrícolas da cana-de-açúcar sejam aperfeiçoados, propondo um ganho na eficiência da aplicação de fertilizantes nitrogenados, o encerramento das práticas da queima na pré-colheita da cultura, e a redução no consumo de diesel que envolve as operações agrícolas.

5 CONCLUSÃO

A área cultivada da cana-de-açúcar no Planalto Ocidental Paulista, aumenta de 2.761.085 para 4.989.511 hectares, um crescimento de 80,71%.

As emissões específicas das etapas de manejo agrícola da cana-de-açúcar no Planalto Ocidental Paulista diminuíram de 1,54 para 1,45 t CO₂eq ha⁻¹ entre 2008 e 2013, chegando 5,84% de redução durante esse período.

A redução progressiva da queima que antecede à colheita foi um fator determinante, responsável em média por 73,61% dos totais de emissões desta operação.

Apesar da expansão da área cultivada com cana-de-açúcar, no período analisado, os níveis de emissões de gases de efeito estufa diminuíram devido à conversão no sistema de manejo da colheita antes manual queimada mudando para mecanizada crua.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI M, RUDORFF BFT, FREITAS RM, AGUIAR DA, SUGAWARA LM. Remote Sensing Time Series to Evaluate Direct Land Use Change of Recent Expanded Sugarcane Crop in Brazil. **Sustainability** 2012;4:574-85.

AGUIAR, D.A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B.F.T.; SUGAWARA, L.M.; DE FREITAS, R.M. Avaliação da conversão do uso e ocupação do solo para cana-de-açúcar utilizando imagens de sensoriamento remoto. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, INPE. p. 5547-5554, 25-30 abr. 2009.

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. 2682-2703, 2011.

ALESP (Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo). Texto da **Lei n. 11.241**, de 19 de setembro de 2002. Disponível em www.al.sp.gov.br. Acesso em novembro de 2016.

ALLEY, R.B. - Mudança Climática Brusca. In: **Scientific American Brasil**. n. 12. p. 8-15, set. 2005.

ALVAREZ, R. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon Energy and environmental issues in organic and conventional agriculture storage. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 21, n. 1, p. 38-52, 2005.

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

BACCARIN, J. G.; CAMARGO, R. A. L. de ; SOARES, C. J. B. ; FERREIRA, J. V. B. N. ; SILVA, B. M. . As mudanças tecnológicas na lavoura canavieira e os efeitos na ocupação sucroalcooleira no Centro Sul do Brasil, de 2007 a 2013. In: **52 Congresso SOBER**, 2014, Goiânia. Anais da 52 SOBER, 2014.

BACCI, L.; DE VINCENZI, M.; RAPI, B.; ARCA, B.; BENINCASA, F. Two methods for the analysis of colorimetric components applied to plant stress monitoring. **Computers and Electronics Agriculture**, Oxford, v. 19, n. 8, p. 167-186, 1998.

BAIRD, C. Química Ambiental. 2ª. ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2002.

BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil Tillage** v. 53, p. 215-230. doi:10.1016/S0167- 1987(99)00107-5, 2000.

BARROS, J.D. de S. **Estoques de carbono em solos dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos: diferenças entre ambientes**. 2011. 106 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais)- Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2011.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C.A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil & Tillage Research**, n. 53, p. 95–104, 2000.

BEAULAIR, E.G. F.; SCARPARI, M.S. Noções fitotécnicas. In: RIPOLI, T. C.C.; RIPOLI, M. L.C.; CASAGRANDI, D.V. (Org). **Plantio de cana de açúcar: estado da arte**. Piracicaba: Ed. dos Autores. v. 1. p. 80-91, 2006.

BERKA, L. M. S.; RUDORFF, B. F. T.; FREITAS, R. M. Reclassificação controlada de pixels isolados em mapas de cana-de-açúcar. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 12., Goiânia, 2005. Anais. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 33-40.
<<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.19.37/doc/Berka.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2014.

BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S.; VARVEL, G.E.; WATER-SHEA, E.A. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p. 1-5, 1996.

BORDONAL, R.O.; 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. n. 4, p. 846-858, 2012.

BORGES, V. M. S.; CASTRO S. S.; SANTANA, G. R. S.; SILVA, A. P. Avaliação econômica da adubação com vinhaça e adubação mineral de soqueiras de cana-de-açúcar na usina São Francisco S/A - Quirinópolis - GO. In: **XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 2011, Uberlândia - MG. Solos nos biomas brasileiros: Sustentabilidade e mudanças climáticas, 2011.

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

BRASIL. **Ministério da Agricultura**, Pecuária e Abastecimento. Anuário Estatístico da Agroenergia, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília. MAPA/ACS, 2009.

BRASIL. **Ministério da Agricultura**, Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 26 dez. 2012.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**, A agenda 21 – Capítulo 14. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/cap14.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2012.

BUSATO, J. G. **Formas de Fósforo de um Cambissolo Cultivado com Cana-de-açúcar, com Preservação do Palhiço e Adição de Vinhaça por Longo Tempo**. 2004. 78f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Câmpus dos Goytacazes-RJ, 2004.

CAMPBELL C.L.; MADDEN, L.V. Introduction to plant disease epidemiology. New York: **John Wiley**, 1990. 532p.

CAMPOS, B.C. **Dinâmica do carbono em Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo de solo e de culturas**. 2006. 188 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

CANÇADO, J.E.D.; SALDIVA, P.H.N.; PEREIRA, L.A.A.; LARA, L.B.L.S.; ARTAXO, P.; MARTINELLI, L.A.; ARBEX, M.A.; ZANOBETTI, A.; BRAGA, A.L.F.: The Impact of Sugar Cane–Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. **Environmental Health Perspectives**, n. 114, v. 5, p. 725–729, 2006.

CANELLAS, L. P.; BUSATO, J. G.; DOBBS, L. B.; BALDOTTO, M. A.; RUMJANEK, V. M. & OLIVARES, F. L. Soil organic matter and nutrient pools under long-term non-burning management of sugar cane. **Eur. J. Soil Sci.**, 61:375-383, 2010.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.; V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. p. 375-470, 2007.

CAPAZ RS, CARVALHO VSB, NOGUEIRA LAH. Impacto da mecanização e redução de queima prévia sobre as emissões de GEE de operações de colheita de cana-de-açúcar no Brasil. *Energia Aplicada* 2013; 102: 220-8.

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. **Appl Energy** 2013;102:220-8.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; DE MELO, C.R.; CERRI, C.E.P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** [online]. v. 34, n. 2, p. 277-290. ISSN 0100-0683, 2010.

CASSMAN, K.G.; MUNNS, D.N. Nitrogen mineralization affected by soil moisture, temperature and depth. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 1233-1237, 1980.

CAST: **Council for Agricultural Science and Technology** Climate Change and Greenhouse Gas Mitigation: Challenges and Opportunities for Agriculture, Task Force Report, CAST, Ames, IA, USA. p. 141:120, 2004.

CENBIO - **Centro Nacional de Referência em Biomassa**. Estado da Arte da Gaseificação. São Paulo, Centro Nacional de Referência em Biomassa. Set. 2002.

CERRI, C. C.; GALDOS, M. V.; MAIA, S. M. F.; BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; POWLSON, D.; CERRI, C. E. P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 62, n.1, p. 23-28., 2011.

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. **Sci. Agric.**, 66:831-843, 2009.

CERRI, C.C.; POLO, A.; ANDREAUX, F.; LOBO, M.C.; EDUARDO, B.P.: Resíduos orgânicos da agroindústria canavieira: características físicas e químicas. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba. n 6, p. 34-37, 1988.

CERRI, C.E.P.; DAVIDSON, E.A.; BERNOUX, M.; FELLER, C. A ciência do solo e o sequestro de carbono. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p. 29-34, 2004.

CERRI, CEP; Sparovek, G .; Bernoux, M .; Easterling, WE; MELILLO, JM Agricultura tropical e aquecimento global: impactos e opções de mitigação. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99, 2007a.

CHAVES, L.H.G.; FARIAS, C.H. de A. Variabilidade espacial do estoque de carbono nos Tabuleiros Costeiros da Paraíba: Solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 3, n. 1, p. 20-2, 2008.

CHRISTOPHER, S. F.; LAL, R. Nitrogen management affects sequestration in North American cropland soils. **Critical Reviews Plant Sciences**, v. 26, p. 45-64, 2007.

COLETI, J.T. **Técnica cultural de plantio**. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill. v. 1. p. 284-329, 1987.

CONAB: **Companhia Nacional de Abastecimento**, Safra 2012 Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_12_12_10_34_43_boletim_cana_portugues_12_2012.pdf>. Acesso em: 03 Dez. 2012.

CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar - Safra 2014/2015, Primeiro Levantamento, Abril de 2014. Companhia Nacional de Abastecimento (**CONAB**). Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 04 de Dez. 2014.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, quarto levantamento. Brasília, DF, 2013. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_30_34_boletm_cana_portugues_abril_2013_4o_lev.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2015.

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

DOMINGUES, E.P.; MAGALHÃE, A.S.; RUIZ, R.M. **Cenários de Mudanças Climáticas e Agricultura no Brasil**: Impactos Econômicos na Região Nordeste. v. 42, p. 230-246, n. 2, Abril – Junho, 2011.

DUXBURY, J.M. The significance of greenhouse gas from soils of tropical agroecosystems. In: Lal, R.; Kimble, J.; Levine, E.; Stewart, B.A. (ed.) Soil management and greenhouse effect. *Advances in Soil Science*. Boca Raton: **CRC Lewis Publishers**. p. 279-291, 1995.

EMBRAPA. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/publicacoes/institucionais/titulos-avulsos/aquecimentoglobal.pdf>>. Acesso em: 10 Dez. 2012.

EMBRAPA. **Zoneamento define área de expansão da cana-de-açúcar e etanol no país**. Meio Ambiente. Lima, E. 26 maio de 2011.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY U.S. Global Anthropogenic Non-CO₂ Greenhouse Gas Emissions, 1990-2020. **EPA Report 430-R-06-003**. (U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC). 2006.

FELLER, C.F. Efeitos da colheita sem queima da cana-de-açúcar sobre a dinâmica do carbono e as propriedades do solo. Piracicaba, FAPESP, (**Relatório Técnico**), 150p., 2001.

FIGUEIREDO, E. B. Balanço de gases de efeito estufa e emissões de CO₂ do solo nos sistemas de colheita da cana- de-açúcar manual queimada e mecanizada crua. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2012. 111p.
Tese de Doutorado

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. Relação entre o índice de vegetação global e condições hídricas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 8, 1399-1405, 1998.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; LAUSCHNER, M.H.; MELO, R.W. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 4, p. 399-403, 2001.

FRANÇA, D.; LONGO, K.; RUDORFF, B.; AGUIAR, D.; FREITAS, S.; STOCKLER, R.; PEREIRA, G. Pre-harvest sugarcane burning emission inventories based on remote sensing data in the state of São Paulo, Brazil. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 99, p. 446-456, 2014.

GARCIA, J. C. C.; SPERLING, E. V. Emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida do etanol: estimativa nas fases de agricultura e industrialização em Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, p. 217-222, 2010.

GARRITY, D.; FISHER, M. Proceedings of the Workshop on Tropical Agriculture in Transition: Opportunities for Mitigating Greenhouse Gas Emissions, **Center for Development Research**: Bonn, Germany, 2001.

GENTILE, R.; Vanlauwe, B.; Chivenge, P.; Six, J. Interactive effects from combining fertilizer and organic residue inputs on nitrogen transformations. *Soil Biology & Biochemistry*, **Elmsford**. n. 40, p. 2375-2384, 2008.

GODFRAY, H. C. J.; PRETTY, J.; THOMAS, S. M.; WARHAM, E. J.; BEDDINGTON, J. R. Linking policy on climate and food. **Science**, Washington, v. 331, p. 1013-1014, 2011.

GOLDEMBERG, J.; GUARDABASSI, P. The potential for first-generation ethanol production from sugarcane. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Hoboken, v. 4, n. 1, p. 17-24, 2010.

GOMIERO, T.; PAOLETTI, M. G.; PIMENTEL, D. Critical Reviews, **Plant Science**, Shannon, v. 27, p. 239-254, 2008.

GUYER, D.E.; MILES, G.E.; SCHREIBER, M.M.; MITCHELL, O.R.; VANDERBILT, V.C. Machine vision and image processing for plant identification. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 6, p. 1500-1507, 1986.

HABOUDANE, D.; MILLER, J.R.; TREMBLAY, N.; ZARCO-TEJADA, P.J.; DEXTRAZE, L. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 81, n. 7, p. 416-426, 2002.

HARVEY, C. A.; CHACÓN, M.; DONATTI, C. I.; GAREN, E.; HANNAH, L.; ANDRADE, A.; BEDE, L.; BROWN, D.; CALLE, A.; CHARÁ, J.; CLEMENT, C.; GRAY, E.; HOANG, M. H.; MINANG, P.; RODRÍGUEZ, A. M.; SEEBERG-ELVERFELDT, C.; SEMROC, B.; SHAMES, S.; SMUKLER, S.; SOMARRIBA, E.; TORQUEBIAU, E.; VAN ETTEN, J.; WOLLENBERG, E. Climate-Smart Landscapes: Opportunities and Challenges for Integrating Adaptation and Mitigation in Tropical Agriculture. **Conservation Letters**, Hoboken, v. 7, n. 2, p. 77-90, 2014.

HOUGHTON, R. A.; HOBBIE, J. E.; MELLILO, J. M.; MOORE, B.; PETERSON, B. J.; SHAVER, G. R.; WOODWELL, G. M. Changes in the carbon content of terrestrial biota and soils between 1860 and 1980: A net release of CO₂ to the atmosphere. **Ecological Monographs**, Lawrence, v. 53, p. 235-262, 1983.

HUANG, Y.; ZOU, J.; ZHENG, X.; WANG, Y.; XU, X. Nitrous oxide emissions as influenced by amendment of plant residues with different C:N ratio. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 6, n. 36, p. 973-981, 2004.

HUETE, A.R. Soil influences in remotely sensed vegetation-canopy spectra. In: ASRAR, G. (Ed.). **Theory and application of optical remote sensing**. New York: Wiley Interscience, 1989. p. 107-141.

INPE DPI Canasat, **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, Divisão de Processamento de Imagens. Dados do Município do Planalto Ocidental Paulista - SP 2006 a 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/canasat>>. Acesso em: 16 Jul. 2013.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. In Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Edited by: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 996, 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - Diretrizes do IPCC para Inventários Nacionais de Gases Casa Verde, elaborado pelo **Programa Nacional de Estoques de Gás de Efeito Estufa**. 2006, In: Eggleston HS, Buendia L, Miwa K. Ngara T, K Tanabe, editores. Japão: IGES. Capítulo 11, N₂O provenientes solos gerenciados, e as emissões de CO₂ provenientes da cal e aplicação de uréia. Capítulo 2 metodologias genéricas aplicáveis a várias categorias de uso da terra. 2006.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. In: HOUGHTON, J. T. (Ed.). **Climate change 2001: the scientific basis, contribution of working group I to the third assessment report of the IPCC**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 886p.

IPCC 2013 – Intergovernmental Panel on Climate Change. In: STOCKER, T. F.; QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Eds.). **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.

JIA, J.; KRUTZ, G.W. Location of the maize plant with machine vision. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 52, n 17, p. 169-181, 1992.

JOHNSON, J.M.F.; KARLEN, D.L.; ANDREWS, S.S. Conservation considerations for sustainable bioenergy feedstock production: If, what, where, and how much. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, 2010, 65:88A-91A.

KEELING, C. D.; WHORF, T.P. Rising carbon. *New Scientist*, New Scientist Published Expediting Inc., **Elmont**. v. 157, n. 2124, p. 54-54, 1998.

LA SCALA JR., N.; DE FIGUEIREDO, E. B.; PANOSSO, A. R. On the mitigation potential associated with atmospheric CO₂ sequestration and soil carbon accumulation in major Brazilian agricultural activities. **Brazilian Journal of Biology (accepted 2012)**. LEE, MI-SUN; NAKANE, K.; NAKATSUBO, M.O.; WEN_HONG, T.; KOYSUMI, H. Effects of rainfall events on soil CO₂ flux in a cool temperate deciduous broad-leaved forest. *Ecological Research*, Tokyo, v. 17, n.9, p. 401-409, 2002.

LA SCALA JUNIOR, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G. T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**. v. 91, p. 244-248, 2006.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, v. 304, n. 5.677, p. 1.623-1.627, 2004.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma**, Amsterdam, v. 123, n. 3, p. 1-22, 2004.

LAL, R.; FAUSEY, N.R.; ECKERT, D.J. Land use and soil management effects on emissions of radioactively active gases from tow soils in Ohio. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Ed.). **Soil management and greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Press. p. 41-57, 1995.

LAPOLA, D. M.; MARTINELLI, L. A.; PERES, C. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERREIRA, M. E. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, London, v. 4, n. 1, p. 27-35, 2013.

LEITE, C. C.; HISSA, L. B. V.; COSTA, M. H.; SOARES FILHO, BRITALDO S. Historical land use change and associated carbon emissions in Brazil from 1940 to 1995. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 26, p. GB2011-29, 2012.

LEVINE, J. Global biomass burning: a case study of the gaseous and particulate emissions released to the atmosphere during the 1997 fires in Kalimantan and

Sumatra, Indonesia. In: Biomass Burning and its Inter-relationships with the Climate System (Ed.) INNES, J.; BENISTON, M.; VERSTRAETE, M.), **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, p. 15-31, 2000.

LIMA, M.A.; LIGO, M.A.; CABRAL, M.R.; BOEIRA, R.C.; PESSOA, M.C.P.Y.; NEVES, M.C. Emissão de gases do efeito estufa provenientes da queima de resíduos agrícolas no Brasil. **Embrapa Meio Ambiente**, Jaguariúna, SP, 1999, 60p.

LISBOA, C.C.; BUTTERBACH-BAHL, K.; MAUDER, M.; KIESSE, R. Bioethanol production from sugarcane and emissions of greenhouses gases - Known and unknowns. **Global Change Biology Bioenergy**, n. 3, p. 277-292, 2011.

LIU, W.T.H. Aplicações de sensoriamento remoto. Campo Grande: Uniderp, 2007. 908 p.

LUCA, E.F. **Matéria orgânica e atributos de solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar**. 2002. 101f. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo – Centro de Energia na Agricultura, Piracicaba.

LYBBERT, T. J.; SUMNER, D. A. Agricultural technologies for climate change in developing countries: Policy options for innovation and technology diffusion. **Food policy**, Oxford, v. 37, n. 1, p. 114-123, 2012.

MACEDO, I.C. Emissões de Gases de Efeito Estufa e Emissões Evitadas na Produção e Utilização de Cana-de-açúcar, Açúcar e Álcool no Brasil: 1990-1994. **Centro de Tecnologia Copersucar** – CTC. Piracicaba – SP / Brasil. 2000.

MACEDO, I.C. Greenhouse Gas Emissions and Energy Balances in Bio-Ethanol Production and Utilization in Brazil (1996). **Biomass & Bioenergy**, n. 14, p. 77-81, 1998.

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**, n. 32, p. 582-595, 2008.

MACEDO, I.C. Sugarcane's Energy: Twelve Studies on Brazilian Sugarcane Agribusiness and its Sustainability. **União da Agroindústria Canavieira de São Paulo**, São Paulo, n. 2, p. 195-230, 2005.

MACEDO, I.C.; SEABRA, J.E.A.; SILVA, J.E.A.R. da, 2008, Green house gas emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and the prediction for 2020, **Biomass & Bioenergy**, 2008.

MACHADO, P.L.O.A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MANECHINI, C. Diluição de uran e nitrato de amônio em vinhaça para aplicação em soqueiras de cana colhida sem queimar. **Relatório Interno Copersucar-RT786**, Ribeirão Preto, Usina São Martinho, 1997. 17p.

MARTINS, M.C.; FATIGATI, F.L.; VESPOLI, T.C. Influence of socioeconomic conditions on air pollution adverse health effects in elderly people: an analysis of six regions in Sao Paulo, Brazil. **J Epidemiol Community Health**; v.1 n, 58, p. 41-46, 2004.

McNAIRN, H.; DEGUISE, J.C.; PACHECO, A.; SHANG, J.; RABE, N.; Estimation of crop cover and chlorophyll from hyperspectral remote sensing. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 23., 2001, Quebec. **Proceedings ... Ontario: Canadian Aeronautics and Space Institute**, 2001. 1 CD-ROM.

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia, 2010. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília/DF: **Ministério da Ciência e Tecnologia**, p. 520. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/326988.html>>. Acesso em: 12 de ago. de 2015.

MEDLYN, B.E.; MCMURTRIE, R.E. Effects of CO₂ on Plants at Different Timescales. In: EHLERINGER, J.R.; CERLING, T.E.; DEARING, D.M. (ed.) - A History of Atmospheric CO₂ and Its Effects on Plants, Animals, and Ecosystems. **Springer**. New York. USA. 2005. 530p.

MELO, G.C.B. de. **Efluentes atmosféricos e qualidade do ar**. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais/Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1998, 71p.

MOGES, S.M.; RAUN, W.R.; MULLEN, R.W.; FREEMAN, K.W.; JOHNSON, G.V.; SOLIE, J.B. Evaluation of green, red, and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.27, n. 12, p. 1431-1441, 2004.

MOLIN, J.P. Agricultura de precisão. Parte I: O que é estado da arte em sensoriamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 2, p. 97-107, dez. 1997.

MOSIER, A.; SCHIMEL, D.; VALENTINE, D.; BRONSON, K.; PARTON, W. Methane and nitrous-oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. **Nature**, London, v. 350, n. 6316, p. 330-332, 1991.

NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; STICKLER, C.; ALENCAR, A.; AZEVEDO, A. Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains. **Science**, Washington, v. 344, n. 6188, p. 1118-1123, 2014.

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**, Oxford, v. 35, n. 10, p. 5195-5205, 2007.

NOBRE, C.A. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima**. In: Cadernos Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Mudança do Clima. Brasília: Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Secretaria de Comunicação do Governo e Gestão Estratégica. v. 1, n.3, 2005. 250p.

NOBRE, C.A.; ASSAD, E.D.; OYAMA, M.D. Mudança Ambiental no Brasil - O impacto do aquecimento global nos ecossistemas da Amazônia e na agricultura. In: **Scientific American Brasil**. n. 12. Set. 2005.

NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D.; OLIVEIRA, G.S.; MARENGO, J.A.; SALATI, E. Impact of climate change scenarios for 2100 on the biomes of South America. **First International CLIVAR Conference**, Baltimore, USA, p. 21-25 Jun. 2004.

NUNES JÚNIOR, D.O. Insumo da torta de filtro. **IDEA News**, Ribeirão Preto, 2005.

OLIVEIRA de M.E.D.; VAUGHAN, B.E.; EDWARD, Jr. Ethanol as Fuel: Energy, Carbon Dioxide Balances, and Ecological Footprint. **BioScience**, p. 55:57, 2005.

OLIVEIRA, A. M. S. de. Perspectivas sobre o setor sucroalcooleiro frente à redução da queimada de cana-de-açúcar, a intensificação do corte mecanizado e a certificação socioambiental. **Mimeografado**. Presidente Prudente, 1999. 7 p.

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

PARK, B.; CHEN, Y.R. Multispectral image co-occurrence matrix analysis for poultry carcasses inspection. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 4, p. 1485-1491, 1996.

PAUSTIAN, K.; ANDREN, O.; JANZEN, H.H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; VAN NOORDWIJK, M.; WOOMER, P.L. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. **Soil Use and Management**, n. 13, p. 230–244, 1997.

PELEGRINO, G.Q.; ASSAD, E.D.; MARIN, F.R. Mudanças climáticas globais e a agricultura no Brasil. **Multi Ciência**, Campinas, SP. Ed. 8, p. 139-162, maio 2007.

PÉREZ, A.J.; LÓPEZ, F.; BENLLOCH, J.V.; CHRISTENSEN, S. Colour and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields. **Computers and Electronics in Agriculture**, Oxford, v. 25, n. 8, p. 197-212, 2000.

PROCANA. **Centro de Informações Sucroenergéticas** Alcool e açúcar derrubam o preço da terra, 2004. Disponível em <<http://www.jornalcana.com.br/noticia/Jornal-Cana/5690+Alcool-e-acucar-derrubam-preco-da-terra>> Acesso em: 20 de dez. 2012.

REICOSKY, D.C.; ARCHER, D.W. Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. **Soil & Tillage Research**, n. 94, p. 109–121, 2007.

RENOUF, M. A.; WEGENER, M. K.; NIELSEN, L. K. An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as

producers of sugars for fermentation. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 32, n. 12, p. 1144-1155, 2008.

RESENDE, A.S.; SANTOS, A.; XAVIER, R.P. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 30, p. 937-941, 2006.

REZENDE, A. S.; XAVIER, R. P.; OLIVEIRA, O. C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. JR.; BODDEY, R. M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. **Plant & Soil**, v. 281, p. 339-351, 2006.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 26, p. 73-80, 2007.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 26, p. 73-80, 2007.

ROBERTSON, G. P.; PAUL, E. A.; HARWOOD, R. R. Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. **Science**, Washington, v. 289, p. 1.922-1.925, 2000.

ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C.; CANTARELLA, H.; LANDELL, M.G.A. Manejo conservacionista e reciclagem de nutrientes em cana-de-açúcar tendo em vista a colheita mecânica. **Informações Agronômicas**, n. 124, dez. 2008.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, n. 63, p. 105-119, 2004.

RUDORFF BFT, AGUIAR DA, SILVA WF, SUGAWARA LM, ADAMI M, MOREIRA MA. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sens** 2010;2:1057-76.

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; XAVIER, A. C.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Imagens de satélite no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano safra 2003/2004. **Agricultura em São Paulo**. v. 52, n. 1, p. 21-29, 2005.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº 11.241, de 19 de setembro de 2004. 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, 20 set. 2004.

SCHMIDHUBER, J.; TUBIELLO, F.N. **Global food security under climate change**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, Washington, v. 104, p. 19703-19708, 2007.

SCOTFORD, I.M.; MILLER, P.C.H. Vehicle mounted sensors for estimating tiller density and leaf area index (LAI) of winter wheat. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5.,2005, **Uppsala**. Anais, 2005. p. 201-207.

SEVERO, J. R.; CARDOSO, L. Cana-de-açúcar: lei ambiental impõe mecanização da lavoura da cana. Brasília, DF: **Confederação Nacional de Agricultura**, 2009. Disponível em: <http://www.cna.org.br/site/down_anexo.php?q=E22_20341Mecanizacaodacana.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2015.

SILVA-OLAYA, A. M.; CERRI, C. E. P.; LA SCALA, N.; DIAS, C. T. S.; CERRI, C. C. 2013. Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. **Environ. Res. Lett.** 8, 015014.

SILVA, J.E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do Oeste Baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, p. 541-547, 1994.

SILVA, J.F.G. A modernização dolorosa. Rio de Janeiro, RJ: **Zahar Editora**, 1982. 192p.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S.M.; DE MOREAS SA J.C.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-effects of no-tillage. **Agronomie** v. 22, p. 755–775, 2002, doi:10.1051/agro:2002043.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D. Agriculture. In: METZ, B. (Ed.). **Climate change 2007: Mitigation of climate change**, contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, p. 497-540, 2007.

SMITH, P.; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, C.; SCHOLLES, SIROTKENKO, O.; HOWDEN, M.; MCALLISTER, T.; PAN, G.; ROMANENKOV, V.; SCHNEIDER, U.; TOWPRAYOON, S.; WATTENBACH, M.; SMITH, J. Greenhouse gas mitigation in agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society London** v. 363, p. 789-813, 2008.

SPIRONELLA, A.; RAIJ, B.V.; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B.V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (2 Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, **Boletim Técnico**, v. 100, p. 237-239, 1997.

SPRING INPE. **Sistema de Processamento de Informações Geográficas**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring>>. Acesso em: 20 jul. 2012.

THORBURN, P.J.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, F.A. Modeling decomposition of sugarcane surface residues with APSIM Residue. **Field Crops Research**, v. 70, p. 223-232, 2001.

TIMM, L.C. **Efeito do manejo da palha de cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo**. Tese (Doutorado). Piracicaba - SP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2002. 115p.

TORQUATO, S.A. **Cana-de-açúcar Para Indústria: O Quanto Vai Precisar Crescer**. Instituto de Economia Agrícola. Análises e Indicadores do Agronegócio, São Paulo, v. 1, n. 10, out. 2006.

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

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, **Anais**, Piracicaba, SP, n. 1-46, 2005.

TUFAILE NETO, M.A. Characterization of sugar cane trash and bagasse. In SULEIMANS J.H, LEAL M.R.L.V, MACEDO I.A (Ed.). Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash: **PNUD-CTC**, Piracicaba, n. 1, p. 24-26, 2005.

TUMBO, S.D.; WAGNER, D.G.; HEINEMANN, P.H. Hyperspectral characteristics of corn plants under different chlorophyll levels. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 45, n. 3, p. 815-823, 2002.

UNFCCC 2015. **Intended Nationally Determined Contributions (INDCs)**. Climate Change Conference (COP 21). Paris: United Nations Frameworks Convention on Climate Change (UNFCCC). Disponível em: <http://unfccc.int/focus/indc_portal/items/8766.php>. Acesso em: 28 de dez. 2015.

UNFCCC: **United Nations Framework Convention on Climate Change**. Protocol of Kyoto, Convention on Climate Change. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>> Acesso em: 14 jul. 2012.

UNICA. **União da Indústria da Cana-de-açúcar**. A sustentabilidade no setor sucroenergético brasileiro. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/sustentabilidade.php>> Acesso em: 22 dez. 2012.

URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; OLIVEIRA, O.C. de; LIMA, E.; GUIMARÃES, D.H.V. A Importância de não Queimar a Palha na Cultura de Cana-de-açúcar. Comunicado Técnico. **EMBRAPA/CNPBS**, n. 5, p. 1-6, mar. 1991.

URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M.; DE BARROS SOARES, R.H. Mitigação das Emissões de Gases Efeito Estufa pelo Uso de Etanol da Cana-de-açúcar Produzido no Brasil. Revista de Política Agrícola, **Seropédia**, RJ, v. 27, p. 1-14, 2009.

VANDENBYGAART, A.J.; KAY, B.D. Persistence of soil organic carbon after plowing a long-term no-till field in southern Ontario, Canada. **Soil Science**. Soc. Am. J. v. 68, p. 1394–1402, 2004.

VITOUSEK P. M.; NAYLOR, R.; CREWS, T.; DAVID, M. B.; DRINKWATER, L. E.; HOLLAND, E.; JOHNES P.J.; KATZENBERGER, J.; MARTINELLI, L. A.; MATSON, P.A.; NZIGUHEBA, G.; OJIMA, D.; PALM, C.A.; ROBERTSON, G.P.; SANCHEZ, P.A.; TOWNSEND, A.R.; ZHANG, F.S. Nutrient imbalances in agricultural development. **Science**, Washington, v. 324, n. 5934, p. 1519-1520, 2009.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 249-256, 2007.

WANG, Q.; LI, Y.; ALVA, A. Cropping systems to improve carbon sequestration for mitigation of climate change. **Journal of Environmental Protection**, v. 1, p. 207-215, 2010.

WEST, T. O.; MARLAND, G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 91, p. 217-232, 2002.

WEST, T. O.; POST, W. M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66,p.1930-1946, 2002.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M.A. Rapid and precise method for routine determination of organic carbon in **soil. Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v.19, p. 1467-1476, 1988.

YOUNG, I.M.; RITZ, K. Tillage, habitat space and function of soil microbes. **Soil & Tillage Research**, v. 53, p. 201-213, 2000.

YU, C.M. Sequestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas. **Annablume IEB**, São Paulo, 2004. 280.

APÊNDICE

APÊNDICE – Municípios que compõem o Planalto Ocidental Paulista dividido por região administrativa.

Região 6 - Ribeirão Preto - ERP

01	Monte Alto
02	Pitangueiras
03	Pontal
04	Pradópolis
05	Ribeirão Preto - ERP
06	Santa Cruz da Esperança
07	Santa Rosa de Viterbo
08	Santo Antônio da Alegria
09	São Simão
10	Serra Azul
11	Serrana
12	Sertãozinho
13	Taquaral
14	Altinópolis
15	Barrinha
16	Brodowski
17	Cajuru
18	Cássia dos Coqueiros
19	Cravinhos
20	Dumont
21	Guariba
22	Guatapar
23	Jaboticabal
24	Jardinópolis
25	Luís Antnio

Região 7 - Bauru - ERP

26	Agudos
27	Arealva
28	Avaí
29	Balbinos
30	Bariri
31	Barra Bonita
32	Bauru - ERP
33	Bocaina
34	Boracéia
35	Borebi
36	Cabrália Paulista
37	Cafelândia
38	Dois Córregos
39	Duartina
40	Getulina
41	Guaíçara
42	Guaimbê
43	Guarantã
44	Iacanga
45	Igaraçu do Tietê
46	Itaju
47	Itapuí
48	Jaú
49	Lençóis Paulista
50	Lins
51	Lucianópolis
52	Macatuba
53	Mineiros do Tietê
54	Paulistânia
55	Pederneiras
56	Pirajuí
57	Piratininga
58	Pongaí
59	Presidente Alves
60	Promissão
61	Reginópolis
62	Sabino
63	Ubirajara
64	Uru

Região 8 - São José do Rio Preto - ERP

65	Adolfo	113	Novais
66	Álvares Florence	114	Novo Horizonte
67	Américo de Campos	115	Onda Verde
68	Aparecida d'Oeste	116	Orindiúva
69	Ariranha	117	Ouroeste
70	Aspásia	118	Palestina
71	Bady Bassitt	119	Palmares Paulista
72	Bálsamo	120	Palmeira d'Oeste
73	Cardoso	121	Paraíso
74	Catanduva	122	Paranapuã
75	Catiguá	123	Parisi
76	Cedral	124	Paulo de Faria
77	Cosmorama	125	Pedranópolis
78	Dirce Reis	126	Pindorama
79	Dolcinópolis	127	Planalto
80	Elisiário	128	Poloni
81	Estrela d'Oeste	129	Pontalinda
82	Fernandópolis	130	Pontes Gestal
83	Floreal	131	Populina
84	Guapiaçu	132	Potirendaba
85	Guarani d'Oeste	133	Riolândia
86	Ibirá	134	Rubinéia
87	Icém	135	Sales
88	Indiaporã	136	Santa Adélia
89	Ipiguá	137	Santa Albertina
90	Irapuã	138	Santa Clara d'Oeste
91	Itajobi	139	Santa Fé do Sul
92	Jaci	140	Santa Rita d'Oeste
93	Jales	141	Santa Salete
94	José Bonifácio	142	Santana da Ponte Pensa
95	Macaubal	143	São Francisco
96	Macedônia	144	São João das Duas Pontes
97	Magda	145	São José do Rio Preto - ERP
98	Marapoama	146	Sebastianópolis do Sul
99	Marinópolis	147	Tabapuã
100	Mendonça	148	Tanabi
101	Meridiano	149	Três Fronteiras
102	Mesópolis	150	Turmalina
103	Mira Estrela	151	Ubarana
104	Mirassol	152	Uchôa
105	Mirassolândia	153	União Paulista
106	Monções	154	Urânia
107	Monte Aprazível	155	Urupês
108	Neves Paulista	156	Valentim Gentil
109	Nhandeara	157	Vitória Brasil
110	Nipoã	158	Votuporanga
111	Nova Aliança	159	Zacarias
112	Nova Granada		

Região 9 - Araçatuba - ERP

160	Alto Alegre
161	Andradina
162	Araçatuba - ERP
163	Auriflama
164	Avanhandava
165	Barbosa
166	Bento de Abreu
167	Bilac
168	Birigüi
169	Braúna
170	Brejo Alegre
171	Buritama
172	Castilho
173	Clementina
174	Coroados
175	Gabriel Monteiro
176	Gastão Vidigal
177	General Salgado
178	Glicério
179	Guaraçai
180	Guararapes
181	Guzolândia
182	Ilha Solteira
183	Itapura
184	Lavínia
185	Lourdes
186	Luiziânia
187	Mirandópolis
188	Murutinga do Sul
189	Nova Castilho
190	Nova Independência
191	Nova Luzitânia
192	Penápolis
193	Pereira Barreto
194	Piçacatu
195	Rubiácea
196	Santo Antonio do Aracanguá
197	Santópolis do Aguapeí
198	São João de Iracema
199	Sud Mennucci
200	Suzanápolis
201	Turiúba
202	Valparaíso

Região 10 - Presidente Prudente - ERP

203	Adamantina	230	Ouro Verde
204	Alfredo Marcondes	231	Pacaembu
205	Álvares Machado	232	Panorama
206	Anhumas	233	Paulicéia
207	Caiabu	234	Piquerobi
208	Caiuá	235	Pirapozinho
209	Dracena	236	Pracinha
210	Emilianópolis	237	Presidente Bernardes
211	Estrela do Norte	238	Presidente Epitácio
212	Euclides da Cunha Paulista	239	Presidente Prudente - ERP
213	Flora Rica	240	Presidente Venceslau
214	Flórida Paulista	241	Rancharia
215	Iepê	242	Regente Feijó
216	Indiana	243	Ribeirão dos Índios
217	Inúbia Paulista	244	Rosana
218	Irapuru	245	Sagres
219	Junqueirópolis	246	Salmourão
220	Lucélia	247	Sandovalina
221	Marabá Paulista	248	Santa Mercedes
222	Mariópolis	249	Santo Anastácio
223	Martinópolis	250	Santo Expedito
224	Mirante do Paranapanema	251	São João do Pau d'Alho
225	Monte Castelo	252	Taciba
226	Nantes	253	Tarabáí
227	Narandiba	254	Teodoro Sampaio
228	Nova Guataporanga	255	Tupi Paulista
229	Oswaldo Cruz		

Região 11 - Marília - ERP

256	Álvaro de Carvalho
257	Alvinlândia
258	Arco Íris
259	Assis
260	Bastos
261	Bernardino de Campos
262	Borá
263	Campos Novos Paulista
264	Cândido Mota
265	Canitar
266	Chavantes
267	Cruzália
268	Echaporã
269	Espírito Santo do Turvo
270	Fernão
271	Florínia
272	Gália
273	Garça
274	Herculândia
275	Iacri
276	Ibirarema
277	Ipaussu
278	João Ramalho
279	Júlio Mesquita
280	Lupércio
281	Lutécia
282	Maracaí
283	Marília - ERP
284	Ocaçu
285	Óleo
286	Oriente
287	Oscar Bressane
288	Ourinhos
289	Palmital
290	Paraguaçu Paulista
291	Parapuã
292	Pedrinhas Paulista
293	Platina
294	Pompéia
295	Quatá
296	Queiroz
297	Quintana
298	Ribeirão do Sul
299	Rinópolis
300	Salto Grande

301	Santa Cruz do Rio Pardo
302	São Pedro do Turvo
303	Tarumã
304	Timburi
305	Tupã
306	Vera Cruz

Região 12 - São Carlos - ERP

307	Américo Brasiliense
308	Araraquara
309	Boa Esperança do Sul
310	Borborema
311	Cândido Rodrigues
312	Descalvado
313	Dobrada
314	Dourado
315	Fernando Prestes
316	Gavião Peixoto
317	Ibaté
318	Ibitinga
319	Itápolis
320	Matão
321	Motuca
322	Nova Europa
323	Porto Ferreira
324	Ribeirão Bonito
325	Rincão
326	Santa Ernestina
327	Santa Lúcia
328	Santa Rita do Passa Quatro
329	São Carlos - ERP
330	Tabatinga
331	Taquaritinga
332	Trabiju

Região 13 - Barretos - ERP

333	Altair
334	Barretos - ERP
335	Bebedouro
336	Cajobi
337	Colina
338	Colômbia
339	Embaúba
340	Guaíra
341	Guaraci
342	Jaborandi
343	Monte Azul Paulista
344	Olímpia
345	Pirangi
346	Severínia
347	Taiacu
348	Taiúva
349	Terra Roxa
350	Viradouro
351	Vista Alegre do Alto

Região 14 - Franca - ERP

352	Aramina
353	Batatais
354	Buritizal
355	Cristais Paulista
356	Franca - ERP
357	Guará
358	Igarapava
359	Ipuã
360	Itirapuã
361	Ituverava
362	Jeriquara
363	Miguelópolis
364	Morro Agudo
365	Nuporanga
366	Orlândia
367	Patrocínio Paulista
368	Pedregulho
369	Restinga
371	Ribeirão Corrente
372	Rifaina
373	Sales Oliveira
374	São Joaquim da Barra
375	São José da Bela Vista