

## **EMISSÕES DE GASES EFEITO ESTUFA NA PRODUÇÃO DE COFFEA CANEPHORA**

**FÚLVIO ANTAS GIBELLO**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA)

**JAQUELINE SEVERINO DA COSTA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA)

**LUIZ GONZAGA DE CASTRO JUNIOR**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA)

**NILMAR DIOGO DOS REIS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA)

**CLANDIO FAVARINI RUVIARO**

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS (UFGD)

Agradecimento à orgão de fomento:

À Universidade Federal de Lavras (UFLA); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES); Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA); Centro de Inteligência em Mercados (CIM-UFLA) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

# EMISSÕES DE GASES EFEITO ESTUFA NA PRODUÇÃO DE *COFFEA CANEPHORA*

## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das mais importantes atividades do segmento do agronegócio brasileiro. De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), em 2017, o país foi o maior produtor e exportador de café e segundo maior consumidor da bebida no mundo, além de ser o quinto produto na ordem de exportação brasileira, movimentando US\$ 5,2 bilhões em 2017, gerando aproximadamente oito milhões de empregos no país. A cafeicultura trata-se de uma atividade econômica consolidada no Brasil desde o período colonial, gerando emprego e renda para pequenos, médios e grandes produtores. Atualmente, a maior região produtora de *Coffea Canephora* é o Sul de Minas Gerais e o estado do Espírito Santo, porém, é o maior produtor de *Coffea Canephora*, devido às menores altitudes e altas temperaturas.

As culturas agrícolas, de modo geral, emitem Gases Efeito Estufa (GEE) para atmosfera, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), através de atividades como, por exemplo: queima de combustíveis fósseis, desmatamento, reuso de fertilizantes sintéticos.

A agricultura trata-se de uma das atividades que mais geram gases poluentes para atmosfera. Essas emissões geram preocupação à comunidade internacional, no que se refere aos possíveis impactos sobre o clima. Nessa perspectiva, a cadeia produtiva do café também tem buscado sistemas de produção limpos e que gerem mínimos impactos ambientais. Assim, existe a demanda por cafés mais limpos e sustentáveis.

## 2 PROBLEMA DE PESQUISA E OBJETIVO

Reduzir os efeitos das mudanças climáticas implicam redução das emissões de GEE. Assim, a questão suscitada por este estudo é: a elaboração de inventários de GEE faz-se necessária em todos os sistemas produtivos agrícolas, especialmente devido à importância da cafeicultura na economia brasileira e mundial? Desta maneira, esta pesquisa buscará responder tal qual analisando as técnicas de produção e manejo mais eficientes, para tornar a cadeia produtiva mais sustentável em todo o ciclo do produto.

Levando em consideração as contribuições que a cadeia produtiva do café tem sobre a economia brasileira e seus impactos sobre as emissões de GEE, este estudo teve como objetivo estimar as emissões de GEE na produção de *Coffea Canephora* (Conilon).

## 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 Produção de café *Coffea Canephora* (Conilon) no Brasil e Emissões de Gases de Efeito Estufa

O café se destaca nas exportações brasileiras desde o começo do século XX. É um dos produtos mais significativos da economia brasileira, com importante contribuição para o desenvolvimento nacional, com os setores de indústria e serviço, além do próprio setor primário. As exportações de café verde e industrializado, além de propiciar divisas ao país, possui consequências na indução do produto interno bruto (PIB) e na contratação de mão-de-obra (SARAIVA et al., 2017).

Por contar com um parque cafeeiro complexo e diverso, o Brasil possui a capacidade de produzir bebidas de tipos variados e, dessa forma, possui vantagens competitivas sobre

seus concorrentes. Em relação ao desenvolvimento tecnológico, o Brasil também é líder, principalmente sobre fertirrigação e mecanização. Deste modo, o complexo cafeeiro no Brasil tem firmado sua considerável relevância como gerador de renda e divisas, devido às exportações (VALE et al., 2014).

Os principais estados produtores de café no Brasil, em ordem decrescente são: Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Bahia e Rondônia. A hegemonia do Estado de Minas Gerais na cafeicultura foi efetivada a partir da década de 1970, ultrapassando os principais Estados produtores, na época, Paraná e São Paulo. Isto ocorreu especialmente pela criação de um Plano de Renovação e Revigoração dos Cafezais, sugerido pelo Instituto Brasileiro do Café (IBC), a ocorrência de geadas nas principais áreas de produção desses dois estados, e a abertura de grandes áreas de cerrado (VALE et al., 2014).

A área total plantada no país com café (Arábica e *Conilon*) alcançou, em 2019, 2,13 milhões hectares, 1,2% menor que a estabelecida em 2018. Desse valor, 319,17 mil hectares (15%) estão em formação e 1,81 milhão de hectares (85%) em produção. Comparando com à safra anterior, a área em produção teve queda de 2,8%, ao passo que a área em formação cresceu 8,5%. Por se tratar de uma safra de bialidade negativa, é comum que os produtores realizem tratos culturais nas lavouras e, como consequência, haja queda na área em produção (CONAB, 2019).

Para o café *Conilon*, a expectativa, em 2019, é de diminuição de 2,5% na área, calculada em 398,8 mil hectares. Desse valor, 363,1 mil hectares estão em produção e 35,7 mil hectares em formação. O Espírito Santo conta com a maior área, 261,5 mil hectares, seguido por Rondônia, com 70,5 mil hectares e posteriormente a Bahia, com 39,9 mil hectares. Mesmo sofrendo influência da bialidade, geralmente está acontece de modo menos intenso no *Conilon*. Desde 2009 a área diminuiu 162,1 mil hectares. A redução na área está atrelada à relevante inclinação na otimização do manejo dessa cultura e ao emprego de material genético mais produtivo (CONAB, 2019).

O Espírito Santo é o maior produtor de café *Conilon* do Brasil, a qual é atribuído entre 75% e 78% da produção nacional. É encarregado por até 20% da produção mundial do café robusta. O café *Conilon* é a principal fonte de renda em 80% das propriedades rurais capixabas estabelecidas em regiões com altas temperaturas. É responsável por 35% do PIB Agrícola. Atualmente, há 261 mil hectares plantados de *Conilon* no Estado. São 40 mil propriedades rurais em 63 municípios, com 78 mil famílias produtoras. O café *Conilon* gera 250 mil empregos diretos e indiretos (INCAPER, 2018).

Os maiores produtores de café *Conilon* do Espírito Santo são os municípios de Jaguaré, Vila Valério, Nova Venécia, Sooretama, Linhares, Rio Bananal, São Mateus, Pinheiros, Governador Lindenberg, Boa Esperança, Vila Pavão, São Gabriel da Palha, Colatina e Marilândia (INCAPER, 2018).

No Espírito Santo, 70% das lavouras de café *Conilon* utilizam irrigação. A extensão das lavouras é de 8,0 hectares, cultivadas pelas famílias dos produtores. As lavouras têm sido renovadas sob nova base tecnológica por volta de 7% ao ano (INCAPER, 2018).

As altas temperaturas e a ausência de precipitações, principalmente entre janeiro e março de 2019, geraram efeitos na fase de enchimento dos grãos. Junta-se a isso as consequências da bialidade negativa esperada para essa safra (principalmente o café arábica), tal como a ocorrência de danos econômicos gerados pelo ataque da broca do café (*Hypothenemus hampei*) em certas regiões produtoras do estado. Assim a estimativa atual é de 34,20 scs/há, evidenciando redução de 3,4% frente ao rendimento médio registrado na safra de 2018 (CONAB, 2019). Todos esses fenômenos impactam e são impactados pelas mudanças climáticas.

A cafeicultura, assim como qualquer outra cultura agrícola, emite GEE como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O (MAINA et al.; 2015), sendo grande parte das emissões provenientes das ações

antropogênicas. Esses gases, por sua vez, contribuem para o aquecimento global e impactam nas mudanças climáticas afetando o ciclo de vida na terra (MONTZKA et al., 2011; MORA et al., 2018).

Essas emissões têm preocupado a comunidade internacional no que tange aos possíveis impactos sobre o clima (IPCC, 2006; TZILIVAKIS et al., 2005). Nesse contexto, a cadeia produtiva do café não está alheia a essa questão, buscando dessa forma sistemas de produção limpos e que respeitem o meio ambiente (MAINA et al., 2016). Por isso, a demanda por cafés mais limpos e sustentáveis (MAINA et al., 2016, ABNT NBR ISSO 14064, 2015).

Atingir a meta de restrição no aumento da temperatura em 2°C e minimizar os efeitos dessas mudanças climáticas passam por menor redução nas emissões de GEE (GHG PROTOCOL, 2010, SMITH et al., 2007). A realização de inventários de emissões de GEE é relevante em todos os sistemas produtivos agrícolas, particularmente pelo peso da cultura cafeeira na economia brasileira e mundial. Por isso, a busca por técnicas de produção e manejo mais eficientes podem tornar a cadeia produtiva mais sustentável em todo o ciclo do produto (RELATÓRIO INTERNACIONAL DE TENDÊNCIAS DO CAFÉ, 2017).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Fonte de dados

As informações levantadas para a produção de café *Conilon* têm como base os dados de informações gerais, insumos, mecanização, etc do projeto “Campo Futuro”. Este projeto é constituído por várias instituições parceiras entre elas a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR) e o Centro de Inteligência em Mercados (CIM) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

A metodologia utilizada para a coleta de dados foi a de Painel. Este método consiste em reuniões com proprietários pequenos, médios e grandes, em que disponibilizam informações sobre mão de obra, manejo da lavoura, colheita e pós-colheita, gastos gerais, valores financeiros, área da lavoura, insumos, produtividade, máquinas e equipamentos, juros de custeio e inventário (MATSUNAGA et al., 1976).

Em 2017 e 2018, foram levantados custos de produção da cafeicultura em 13 municípios brasileiros. Deste total, 3 municípios são produtores de *Coffea Canéfora* (Cacoal/RO, Jaguaré/ES e Itabela/BA) e 10 regiões produtoras da espécie *Coffea Canéfora* (Apucarana/PR, Brejetuba/ES, Caconde/SP, Capelinha/MG, Franca/MG, Guaxupé/MG, Luís Eduardo Magalhães/BA, Manhumirim/MG, Monte Carmelo/MG e Santa Rita do Sapucaí/MG) (Figura 1).

Para a padronização dos dados considerou-se como unidade funcional (UF) de GEE as emissões de CO<sub>2</sub>e (Gás Carbônico Equivalente) por “saca de 60 kg produzida” (kgCO<sub>2</sub>e/sc) no ano safra de 2017 e 2018, sem considerar o período anterior ao plantio, o período de plantio e o de crescimento da planta até atingir capacidade de produção. Assim, buscou-se elaborar um parâmetro para as emissões durante um ano de safra e conseqüentemente ser objeto de comparação.

Figura 1: Localização geográfica dos estados produtores do Brasil



Fonte: Adaptado de Rossignolli Armazéns (2017).

Dentre os possíveis impactos ambientais inerentes à cafeicultura, optou-se em avaliar a categoria Potencial de Aquecimento Global (GWP) consistindo na soma de todos os GEE emitidos ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ) convertido para o equivalente em kg de  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2\text{e}$ ) por saca de 60 kg considerando a produção de café em um ano safra. Para tal foi utilizado o Potencial de Aquecimento Global (GWP) por 100 anos segundo os horizontes temporais do Relatório de Avaliação 5 (AR5) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), como mostra a Tabela 1, para facilitar a comparação de resultados com outros estudos (FLORINDO et al.; 2017).

Tabela 1 – Conversão de emissões de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e GWP-100.

Gás	Tempo de vida na atmosfera (anos)	Potencial de aquecimento global em massa (GWP-100)
$\text{CO}_2$	150	1
$\text{CH}_4$	12	28
$\text{N}_2\text{O}$	114	265

Fonte: IPCC (2006); GHG Protocol (2014).

Para tal foi utilizado o Potencial de Aquecimento Global (GWP) por 100 anos, segundo os horizontes temporais do Relatório de Avaliação 5 (AR5) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), para facilitar a comparação de resultados com outros estudos (FLORINDO et al.; 2017) (Tabela 1).

As equações estimadas para a emissão de GEE utilizadas neste estudo foram desenvolvidas com base na metodologia do IPCC, descrito em 2006, nos Relatórios de Avaliação do IPCC, e na metodologia da agricultura do *Green House Gas Protocol* (GHG PROTOCOL, 2014).

## 4.2 Equações utilizadas para o cálculo das emissões GEE

Foram consideradas nas estimativas, as emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O. As emissões foram convertidas para quilograma de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) em relação à unidade funcional definida.

Em razão das disponibilidades de informações do projeto Campo Futuro, a abordagem utilizada foi a elaborada pelo IPCC denominada de “Tier 1”, uma vez que essa abordagem garante fatores de emissão de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O padronizados internacionalmente pelo IPCC (IPCC, 2006).

Na produção de café, a adubação com calcário, calcítico (CaCO<sub>3</sub>) ou dolomítico (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), provoca a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (RAIJ et al., 1985). Neste caso, a equação proposta para estimar as emissões de CO<sub>2</sub>e leva em consideração os carbonatos calcítico e dolomítico. Porém, nas regiões brasileiras é utilizado apenas o calcário dolomítico, pois o calcítico não é observado (Eq. 1), presente no Quadro 1.

Quadro 1 – Equações utilizadas para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>e e descrição das variáveis

*Continua*

Equações utilizadas para cálculos	Descrição das variáveis das equações
A emissão de CO <sub>2</sub> oriunda da aplicação de calcário: (Eq.1) $CO_2 = (M_{dolomítico} * EF_{dolomítico} * (44/12))$	Onde: $M_{dolomítico}$ =quantidade de calcário dolomítico aplicado ao solo, em toneladas; $EF_{dolomítico}$ =fator de emissão padrão para calcário dolomítico (0,13 segundo o IPCC 2006); $(44/12)$ =conversão de C em CO <sub>2</sub>
A emissão de CO <sub>2</sub> oriunda da aplicação de Ureia: (Eq2): $CO_2e = (M_{uréia} * EF_{uréia} * (44/12))$	Onde: $CO_2$ =emissões diretas de CO <sub>2</sub> , em toneladas de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> ); $M_{uréia}$ =quantidade de ureia aplicada ao solo, em toneladas; $EF_{uréia}$ =fator de emissão padrão para ureia (0,20 segundo o IPCC 2006); $(44/12)$ =conversão de C em CO <sub>2</sub> .
A emissão de CO <sub>2</sub> e provenientes da aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos: (Eq.3): $CO_2e = (F_{SN} * EF_1) * (44/28) * 298$	Onde: $CO_2e$ =emissões diretas de N <sub>2</sub> O, em toneladas de CO <sub>2</sub> e (tCO <sub>2</sub> e); $F_{SN}$ =quantidade de nitrogênio sintético aplicado ao solo, em toneladas; $EF_1$ =fator de emissão padrão para nitrogênio aplicado ao solo (0,01 segundo o IPCC 2006); $(44/28)$ =conversão de N em N <sub>2</sub> O; 298= potencial de aquecimento global do N <sub>2</sub> O em relação ao CO <sub>2</sub>

<p>A emissão de CO<sub>2</sub>e provenientes da aplicação de fertilizantes orgânicos: (Eq.4): <math>CO_{2e} = (F_{ON} * EF_1) * (44/28) * 298</math></p>	<p>Onde: CO<sub>2</sub>e = emissões diretas de N<sub>2</sub>O, em toneladas de CO<sub>2</sub>e (tCO<sub>2</sub>e); F<sub>ON</sub> = quantidade de nitrogênio orgânico aplicado ao solo, em toneladas; EF<sub>1</sub> = fator de emissão padrão para nitrogênio aplicado ao solo (44/28) = conversão de N em N<sub>2</sub>O; 298 = potencial de aquecimento global do N<sub>2</sub>O em relação ao CO<sub>2</sub></p>
<p>A emissão de CO<sub>2</sub>e provenientes do uso de defensivos agrícolas: (Eq5): <math>CO_{2e} = (Q_{herbicida} * EF_{Herbicida}) + (Q_{inseticida} * EF_{Inseticida}) + (Q_{fungicida} * EF_{Fungicida})</math></p>	<p>Onde: CO<sub>2</sub>e = emissões diretas de GEE, em toneladas de CO<sub>2</sub>e (tCO<sub>2</sub>e); Q<sub>herbicida</sub>=quantidade de herbicidas aplicados, em toneladas; Q<sub>inseticida</sub>=quantidade de inseticidas aplicados, em toneladas; Q<sub>fungicida</sub>=quantidade de fungicidas aplicados, em toneladas; EF<sub>Herbicida</sub>=fator de emissão para herbicidas aplicados; EF<sub>Inseticida</sub>=fator de emissão para inseticidas aplicados; EF<sub>Fungicida</sub>=fator de emissão para fungicidas aplicados.</p>
<p>A emissão de CO<sub>2</sub>e provenientes de operações mecanizadas[1]: (Eq.6): <math>CO_{2e} = H * CV * 0,12 * [0,92 * (EF_{CO_2 Diesel} + EF_{CH_4 Diesel} + EF_{N_2 O diesel}) + 0,08 * EF_{CO_2 Biodiesel}]</math></p>	<p>Onde: CO<sub>2</sub>e= emissões diretas de GEE, em quilogramas de CO<sub>2</sub>e (kgCO<sub>2</sub>e); H=tempo de funcionamento da máquina, em horas; CV=potência do motor da máquina, em cavalo-vapor (cv); 0,92=porcentagem de diesel no óleo diesel comercializado no Brasil; EF<sub>CO<sub>2</sub>Diesel</sub>=fator de emissão de CO<sub>2</sub> para o diesel; EF<sub>CH<sub>4</sub>Diesel</sub>=fator de emissão de CH<sub>4</sub> para o diesel; EF<sub>N<sub>2</sub>O diesel</sub>=fator de emissão de N<sub>2</sub>O para o diesel; 0,08=porcentagem de biodiesel no óleo diesel comercializado no Brasil; EF<sub>CO<sub>2</sub>Biodiesel</sub>=fator de emissão de CO<sub>2</sub> para o biodiesel.</p>

Fonte: Adaptado de Parreras (2017), IPCC (2006) e GHG Protocol (2014).

Quando aplicada ao solo, a uréia é convertida em amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), íon hidroxila (OH) e bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) (Eq. 2 do Quadro 1). Existem perdas de CO<sub>2</sub> fixado no processo industrial de produção da ureia, em que o bicarbonato formado se transforma em CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O (IPCC, 2006). Posteriormente, esse produto pode reagir com íons H<sup>+</sup> formando CO<sub>2</sub> como resultado. Ressalta-se ainda que a enzima 6anéfo atua na hidrólise da ureia, resultando em carbonato de amônio ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Em sequência, ele se converte em amônia e CO<sub>2</sub>, ambos liberados para a atmosfera (OLIVEIRA, 2015).

O relatório do IPCC de 2006 aponta que a emissão de N<sub>2</sub>O tem origem nos fertilizantes nitrogenados sintéticos, nos fertilizantes orgânicos, nos resíduos de lavoura e na mineralização de nitrogênio, sendo que estas emissões estão relacionadas à mudança de uso da terra e manejo da adubação. Contudo, na lavoura cafeeira somente o nitrogênio orgânico aplicado ao solo foi considerado por grande parte da adubação nas lavouras. As formas mais comuns de emissão do N<sub>2</sub>O ocorrem por meio da desnitrificação (reação protagonizada por bactérias anaeróbias) (GIACOMINI, 2005)<sup>1</sup> e pela porosidade do solo ocupada pela água e pela temperatura atmosférica (JANTALIA et al., 2006)<sup>2</sup>. A contribuição do óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) para as emissões na atmosfera, no setor agrícola, é de aproximadamente 87,2% (CERRI

et al.,2009).

A importância dos fertilizantes nitrogenados sintéticos deve-se ao fornecimento de nutrientes às plantas de modo a aumentar a atividade fotossintética, expandir a área foliar, crescimento vegetativo e formação dos botões florais (CERRI, 2012). Estes fertilizantes ao serem aplicados podem aumentar em até 30% a produção de café em espaços tradicionais (SANZONOWICZ et al.,2003). O cálculo das emissões de nitrogenados sintéticos foi feito a partir da Eq.3. (Quadro 1).

Fertilizantes orgânicos são na sua maioria resíduos orgânicos de origem animal, vegetal, agroindustrial e outros, que são aplicados ao solo de maneira a aumentar os nutrientes disponíveis para as plantas para aumentos de produtividade (CFSEMG, 1999). Para o cálculo de CO<sub>2</sub>e a partir da aplicação de fertilizantes orgânicos, utilizou-se a Eq.4.

A emissão de GEE associada ao uso de defensivos agrícolas está baseada na Eq.5 (Quadro 1). Nesta fase do processo, soma-se o dióxido de carbono total emitido, direta ou indiretamente, por uma atividade ou acumulado durante todas as etapas de vida do produto (WIEDMANN, MINX; 2008).

A Lei nº 13.263, de 23 de março de 2016, estabelece o percentual obrigatório de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado em todo o território nacional (8% do volume total do combustível (BRASIL, 2016).

O consumo de combustível de uma máquina automotora diesel é calculado multiplicando-se a potência líquida do motor pelo fator 0,163 L kW<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Ao se converter a potência do motor em cavalo-vapor (cv) obtém-se o valor de 0,12 L cv<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. As emissões de GEE a partir de operações mecanizadas podem ser estimadas pela Eq.6 (MOLIN, MILAN; 2002).

As emissões de GEE derivadas da utilização de defensivos agrícolas estão relacionadas com seus fatores de emissões indiretas como herbicidas, inseticidas e fungicidas (Tabela 2). As principais fontes mecânicas de emissões de GEE são os equipamentos ou máquinas automotoras utilizadas nas propriedades rurais, entre as quais se destacam tratores e colhedoras, bem como pela composição dos combustíveis necessários para seu funcionamento (GHG PROTOCOL, 2014).

Tabela 2 – Fatores de emissão para o uso de defensivos agrícolas.

Defensivo Agrícola	Fator de emissão (kg CO <sub>2</sub> e/kg produto)
Herbicidas	10,26
Inseticidas	16,68
Fungicidas	10,11

Fonte: Adaptado de Parreiras (2017), *Ecoinvent DataBase* (2017); *GHG Protocol* (2014).

O cálculo das emissões de GEE nesse estudo, a partir do consumo de óleo diesel, elimina a necessidade de se regionalizar as operações mecanizadas, pois o preço base é definido pelo mercado internacional (GHG PROTOCOL, 2014; MOLIN, MILAN, 2002). Neste estudo, os fatores que contribuem para as emissões são diesel propriamente dito e o biodiesel (Tabela 3).

Tabela 3 – Fatores de emissão para o consumo de óleo diesel em operações mecanizadas

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

Fonte: Programa Brasileiro *GHG Protocol* (2014); IPCC (2006).



A partir desta metodologia é possível estimar as emissões para as propriedades modais consideradas pela metodologia de painel. Após a estimativa das emissões para a produção de *Coffea Canephora* nessas propriedades modais é possível expandir as emissões para o Brasil, uma vez que essas regiões são representativas em termos de produção.

A região Sudeste, grande região produtora de *Coffea Canephora*, possui o município representativo na amostra que é Jaguaré, localizado no estado do Espírito Santo. A região Nordeste, segunda região de maior produção é representada pelo município de Itabela, localizado no estado da Bahia. E por fim, a terceira maior região produtora é a região Norte, onde é representada pelo município de Cacoal no estado de Rondônia (Tabela 4).

Tabela 4 – Regiões e municípios utilizados como representativos em termos emissões de CO<sub>2</sub>e para cálculo das emissões totais brasileiras, em 2018, de Cacoal/RO, Jaguaré/ES e Itabela/BA.

Regiões Brasileiras*	Municípios considerados para expandir estimação CO <sub>2</sub> e para Brasil	Produção (mil sacas) safra 2018
Sudeste	Jaguaré/ES	9.378,3
Nordeste	Itabela/BA	2.670,0
Norte	Cacoal/RO	1.978,3

Fonte: Elaborada pelos autores com base na Conab (2018). \* Essas três regiões conjuntamente correspondem a praticamente 99% da produção de *Coffea Canephora* no Brasil.

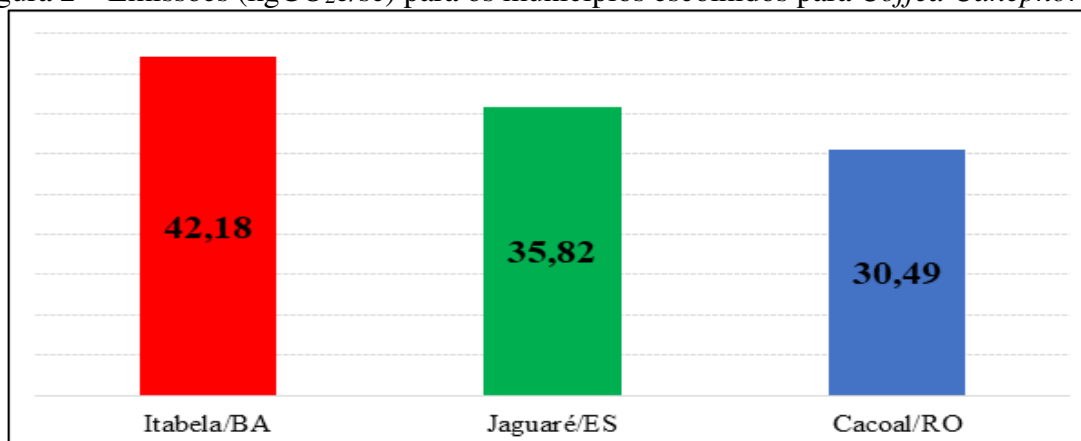
Diante disso foi possível elaborar dois cenários: Cenário 1 refere-se às emissões considerando-se a forma de manejo e a aplicação de insumos utilizados na atualidade; o Cenário 2 considera mudanças na quantidade de aplicação de insumos, de modo a verificar a possível redução na emissão de GEE que poderia ocorrer, caso fossem adotadas as diferentes aplicações.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

De acordo com a Figura 2, as emissões de kg de CO<sub>2</sub>/SC de *Coffea Canephora* foram de 42,18 kgCO<sub>2</sub>e/sc em Itabela-BA, 35,82 kgCO<sub>2</sub>e/sc para Jaguaré-ES e 30,49 kgCO<sub>2</sub>e/sc em Cacoal/RO. Segundo Oliveira Júnior e colaboradores (2015), em estudo realizado quantificando as emissões de CO<sub>2</sub> na cafeicultura, a totalidade de emissões foi de 984,14 tCO<sub>2</sub> eq, que, quando dividido pela área total (462,94 há) de cafeeiro plantado nas diferentes localidades estudadas, foram correspondentes à emissão de 2,13 tCO<sub>2</sub>e há<sup>-1</sup>. Esses valores foram inferiores aos encontrados neste estudo, e tal diferença pode ser explicada por um maior número de tratamentos culturais mecanizados, maior uso de fertilizante, corretivos e defensivos e colheita realizada mecanicamente.

Em relação à emissão de CO<sub>2</sub>e nas regiões estudadas, no ano de 2018 a região sudeste teve a maior contribuição, com 0,34 milhões de toneladas, seguida pela região Nordeste, com 0,11 milhões de toneladas e, por fim, a região Norte, com 0,06 milhões de toneladas (Figura 2). Tal diferença pode ser explicada pela maior produção de *Coffea Canephora* no estado do Espírito Santo (Sudeste) e Bahia (Nordeste), em relação a Rondônia (Norte). Também pode ser explicada pela diferença no sistema de cultivo, de acordo com cada região.

Figura 2 – Emissões (kgCO<sub>2e</sub>/sc) para os municípios escolhidos para *Coffea Canephora*.



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados do Campo Futuro (2018).

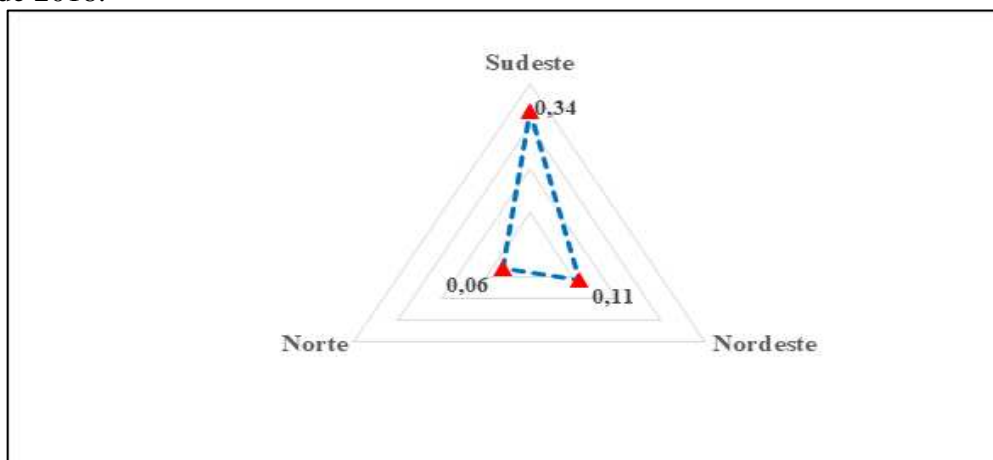
Em relação à emissão de CO<sub>2e</sub> nas regiões estudadas, no ano de 2018 a região sudeste teve a maior contribuição, com 0,34 milhões de toneladas, seguida pela região Nordeste, com 0,11 milhões de toneladas e, por fim, a região Norte, com 0,06 milhões de toneladas Figura 3. Tal diferença pode ser explicada pela maior produção de *Coffea Canephora* no estado do Espírito Santo (Sudeste) e Bahia (Nordeste), em relação a Rondônia (Norte). Também pode ser explicada pela diferença no sistema de cultivo, de acordo com cada região.

De acordo com relatório do Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (IMAFLOA) divulgado em 2015, a agropecuária brasileira emitiu, entre 1970 e 2013, cerca de 12.970 milhões de t de CO<sub>2</sub> (emissão acumulada). Apenas os estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Goiás, São Paulo, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso são responsáveis por cerca de 60% destas emissões durante o período.

Assim, infere-se que a região Sudeste, uma das primeiras regiões agrícolas brasileiras, é a região que conta com a maior emissão acumulada de GEE nacional (soma das emissões anuais de 1970 a 2013). Atualmente, Mato Grosso, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Goiás, Mato Grosso do Sul, Pará e São Paulo são os estados brasileiros que mais emitem GEE pela produção agropecuária de modo direto, respondendo por volta 70% das emissões nacionais desse setor em 2013. As principais fontes de emissão são a pecuária de corte e o uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos na maioria dos estados.

Acerca da contribuição das fontes de emissão de GEE na produção de *Coffea Canephora*, na região sudeste, as aplicações de fertilizantes nitrogenados sintéticos correspondem à 40% do total, seguida por aplicação de calcário (20%), operações mecanizadas (20%), utilização de defensivos (10%) e aplicação de ureia (10%).

Figura 3 – Total de emissões totais de CO<sub>2</sub>e (milhões de t) na produção de *Coffea Canephora* no ano de 2018.



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados do Campo Futuro (2018) e da Conab (2019)

Já na região nordeste, o principal fator na emissão de GEE é a aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (55%), seguido por aplicação de calcário (20%), uso de defensivos (10%) e operações mecanizadas (15%).

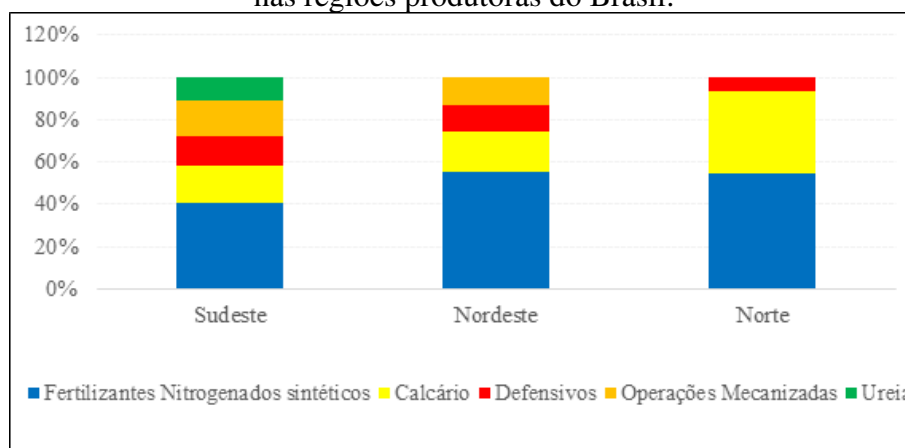
Na região norte, a maior proporção de GEE emitidos na cafeicultura foi atribuída à aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (55%), seguida pela aplicação de calcário (40%) e utilização de defensivos (5%).

A diferença entre as fontes de emissão de GEE entre as três regiões pode ser explicada pelas diferenças nas características químicas do solo, nível técnico do produtor, características climáticas, relevo, entre outros fatores.

Assim, infere-se que a região Sudeste, uma das primeiras regiões agrícolas brasileiras, é a região que conta com a maior emissão acumulada de GEE nacional (soma das emissões anuais de 1970 a 2013). Atualmente, Mato Grosso, Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Goiás, Mato Grosso do Sul, Pará e São Paulo são os estados brasileiros que mais emitem GEE pela produção agropecuária de modo direto, respondendo por volta 70% das emissões nacionais desse setor em 2013.

Soares (2016), em estudo de quantificação da emissão de GEE na utilização de fertilizantes nitrogenados sintéticos em cafeicultura irrigada, a utilização de fertilizantes ampliou as emissões de N<sub>2</sub>O. A média das emissões dos tratamentos foi por volta de onze vezes maior que a emissão no cerrado. Os valores de emissão acumulada de N-N<sub>2</sub>O dos tratamentos que receberam adubação nitrogenada variaram de 0,425 a 0,925 kg há<sup>-1</sup> de N<sub>2</sub>O.

Figura 4 – Contribuição percentual das fontes de emissão na produção de *Coffea Canephora* nas regiões produtoras do Brasil.



Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados do Campo Futuro (2018).

Claros Garcia & Von Sperling (2010), em pesquisa acerca da emissão de GEE no ciclo de vida do etanol, nas etapas de agricultura e industrialização, inferiram que as emissões de N<sub>2</sub>O, pela utilização de fertilizantes somam, de modo representativo na emissão de GEE, sendo que a emissão total é influenciada pela quantidade de fertilizantes aplicada no solo.

Oliveira Júnior e colaboradores (2015) inferiram que a utilização de calagem objetivando à correção do solo foi responsável pela emissão de 303,33 tCO<sub>2</sub>eq. As fontes de adubo nitrogenado emitiram 468 tCO<sub>2</sub>eq. Carmo et al. (2013) e Mattos Junior, Cantarella e Quaggio (2002) afirmaram que a maior parte da emissão de N<sub>2</sub>O se dá pelos processos biológicos de desnitrificação.

Bordonal (2014), em estudo sobre o balanço de GEE em áreas de cana-de-açúcar, explica que a utilização de calcário ainda é entendida como uma relevante fonte de emissão de GEE no setor agrícola, em que a aplicação de 2 t há<sup>-1</sup> de calcário dolomítico na reforma do canavial teve como efeito a emissão de GEE de 162,2 kg CO<sub>2</sub>eq há<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Tabela 4), sendo 158,9 kg CO<sub>2</sub>eq há<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> emitidos à aplicação do calcário e 3,3 kg CO<sub>2</sub>eq há<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> originados do processo de produção do calcário.

Claros Garcia e Von Sperling (2010), encontraram que a utilização de defensivos agrícolas é o que menos colabora (1,97%) para a emissão total de GEE; contudo, os fatores de emissão desses defensivos são consideravelmente altos, visto que o crescimento de sua utilização pode ter como consequência aumento considerável no total de emissões.

Acerca das emissões de GEE em relação à produção de defensivos agrícolas empregados no manejo da cana-de-açúcar, como herbicidas e inseticidas, os estudos de Bordonal (2012) indicaram emissões de 46,6 kg CO<sub>2</sub>eq há<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em áreas de cana colhidas manualmente com queima (S0). Por seu turno, a utilização de defensivos em áreas de cana-de-açúcar colhidas mecanicamente sem queima (S1, S2 e S3) foram responsáveis por emissões referentes a 49,7 kg CO<sub>2</sub>eq há<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Oliveira Júnior e colaboradores (2016), estimando a emissão de GEE nas operações mecanizadas na cafeicultura, inferiram que as operações efetuadas na colheita foram as maiores fontes de emissão de GEE dos tratos culturais mecanizáveis, incrementando com 124,3 kg CO<sub>2</sub>eq há<sup>-1</sup>, que simbolizam 55,82% das emissões, quando comparados às operações de aplicação de corretivos e fertilizantes, 11,85%, aplicação de defensivos agrícolas, 22,97%, e controle de plantas daninhas por meio de roçadas, 9,35%.

Belizário (2013), em estudo sobre estoque de carbono no solo e fluxo de GEE na cultura do cafeeiro, afirma que a fonte de maior emissão no inventário, foi motivada pela queima de óleo diesel, referindo-se a 1,52 tCO<sub>2</sub>e há<sup>-1</sup>.

No estudo de Soares (2016), as adubações realizadas com ureia granulada (Dose total aplicada = 368 kg há<sup>-1</sup> de N) no ano agrícola de 2012/2013 em lavoura cafeeira irrigada foi de 166,5 kg há<sup>-1</sup> de N. A volatilização de amônia originada da ureia no decorrer de quatro adubações foi de 166 kg de N há<sup>-1</sup>. Esse valor corresponde a 45 % de todo o total de N aplicado na lavoura cafeeira no ano agrícola 2012/2013.

## 6 CONCLUSÕES E CONTRIBUIÇÕES

A caracterização dos produtos agrícolas que mais emitem GEE é importante, visto que torna possível desenvolver alternativas para reduzir seus efeitos sobre as mudanças climáticas. O Brasil é o maior produtor de café e, conseqüentemente é o maior emissor de GEE nesse produto.

Concluiu-se que as maiores emissões de CO<sub>2</sub>/sc de *Coffea Canephora* ocorreram em Itabela-BA. A região sudeste é a maior emissora de GEE e em relação ao manejo, a aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos é a principal fonte de GEE na cafeicultura, representando, em média, 50% das emissões totais. A diferença entre a proporção e fontes de emissão de GEE entre as três regiões estudadas pode ser explicada pelas diferenças nas características químicas do solo, nível técnico do produtor, características climáticas, relevo, entre outros fatores.

Deste modo, a contribuição oriunda desta pesquisa respalda-se em inferir que é possível elaborar estratégias para a redução das emissões de gases de GEE no cultivo de *Coffea Canephora* mediante manejo adequado, realizando operações racionalizadas, realizadas no momento correto e de modo eficiente.

É necessário novas pesquisas na área para entender e dimensionar o quanto o café armazena de CO<sub>2</sub>e, qual a sua capacidade e quanto isso influencia positivamente o setor da cafeicultura, para o Brasil e para o mundo. É interessante pesquisar se há outras alternativas para utilização de insumos como os fertilizantes, por exemplo, que é o maior emissor de GEE na cafeicultura.

## NOTAS

<sup>1</sup> A nitrificação ocorre em condições aeróbias e possui relação direta com o suprimento de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, originado da oxidação biológica do nitrogênio por bactérias autotróficas (nitrosomonas e nitrobactérias). O principal produto dessa reação é o N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Baggs and Philippot, 2010).

<sup>2</sup> Quando a proporção de poros preenchidos por água vai de 35 a 60%, existe a formação de N<sub>2</sub>O como subproduto da nitrificação. Quando essa proporção está acima de 70%, maiores condições de anaerobiose favorecem a desnitrificação e conseqüentemente maior emissão de N<sub>2</sub>O.

## 7 REFERENCIAS

ANDRADE, F. T., *et al.* (2012). Mecanização do processo produtivo: uma eficaz alternativa para a viabilização da cafeicultura nacional. In *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*.

BAGGS, E. M., & Philippot, L. (2010). Microbial terrestrial pathways to nitrous oxide. *Nitrous oxide and climate change*, 256.

BESEN, M. R. (2015). Influência de fontes de nitrogênio no fluxo de gases e na produtividade do milho e do trigo em sistema de plantio direto.

BRASIL, **Lei n. 13.263, de 23 de março de 2016**. Altera a Lei nº 13.033, de 24 de setembro de 2014, para dispor sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. Brasília, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Café no Brasil**. 2017. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafes/cafecultura-brasileira>>. Acesso em 25 nov. 2019.

CERRI, C. C. et al. (2009). Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. *Scientia agricola*, 66(6), 831-843.

CERRI, C. C. et al. (2012). Como mitigar emissão de gases pela adubação na cafeicultura. 2012. Disponível em <<http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va12-fertilidade-e-nutricao04.pdf>>. Acesso em 20 dez. 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2019). **Acomp. safra brasileira de café**, v.5– Safra 2019, n. 3 - Terceiro levantamento, Brasília, p. 1-48.

Tzilivakis, J., et al. (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems*, 85(2), 101-119.

CUNHA, J. P. B. et al. (2016). Viabilidade técnica e econômica de diferentes sistemas de colheita de café. **Coffee Science**, Lavras, MG, v. 11, n. 3, p. 417-426.

DOBBIE, K. E., & Smith, K. A. (2001). The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N<sub>2</sub>O emissions from an imperfectly drained gleysol. *European Journal of Soil Science*, 52(4), 667-673.

ESCOBAR, L. F. (2008). Emissão de Gases de Efeito estufa em sistemas de manejo em solo do planalto médio do Rio Grande do Sul.

FLORINDO, T. J., et al. (2017). Carbon footprint and Life Cycle Costing of beef cattle in the Brazilian midwest. *Journal of Cleaner Production*, 147, 119-129.

GHG Protocol. GHG Protocol Agricultural Guidance: Interpreting the Corporate Accounting and Reporting Standard for the agricultural sector, 2010. 103 p. Disponível em <[http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/GHG%20Protocol%20Agricultural%20Guidance%20%28April%2026%29\\_0.pdf](http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards/GHG%20Protocol%20Agricultural%20Guidance%20%28April%2026%29_0.pdf)>. Acesso em 29 set. 2019.

GHG Protocol. Metodologia do GHG Protocol da agricultura. 2014. 53 p. Disponível em <[http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards\\_supporting/Metodologia.pdf](http://www.ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/standards_supporting/Metodologia.pdf)>. Acesso em 05 dez. 2017.

GIACOMINI, S. J. (2005). Avaliação e modelização da dinâmica de carbono e nitrogênio em solo com o uso de dejetos de suínos (Doctoral dissertation, Universidade Federal de Santa Maria).

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. Cafeicultura - Café *Conilon*. Vitória, ES, 2018. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/cafecultura-Conilon>. Acesso em: 24 set. 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Guidelines for national greenhouse gas inventories: agriculture, forestry and other land use. Hayama: National Greenhouse Gas Inventories Programme, 2006. v.4, 110 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japão.

JANTALIA, C. P., et al. (2006). Em busca da mitigação da produção de óxido nitroso em sistemas agrícolas: Avaliação de práticas usadas na produção de grãos no Sul do País. ALVES, BJR et al. Manejo de sistemas agrícolas: impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas.

MATSUNAGA, M., Bemelmans, P. F., & de Toledo, P. E. N. (1976). Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA [Brasil]. Agricultura em São Paulo (Brasil). v. 23 (1) p. 123-139.

MOLIN, J. P., & Milan, M. (2002). Trator-implemento: dimensionamento. Capacidade operacional e custo. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba: Instituto de Pesquisas Florestais, 409-436.

OLIVEIRA J. G. G., et al. (2016). Estimativa da emissão de gases de efeito estufa nos tratos culturais mecanizados da cultura do café. In: CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, XIII.

PORTELA, M., & LEITE, L. (2016). Emissões de GEE pela agricultura: o caso dos cultivos de cana-de-açúcar. *Embrapa Meio-Norte-Nota Técnica/Nota Científica (ALICE)*.

RAIJ, B. V. et al. (1985). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo. 107p. (Boletim Técnico 100).

REIS, N. D. (2018). Direct Trade in coffee agribusiness: a perspective of their agents, 96 p. Dissertation (Master in Administration) - Federal University of Lavras, Lavras.

ROSSIGNOLLI, W. **Coffee Regions**. Disponível em <<http://www.rossignolli.com.br/regioes-cafeiras.php>>. Acesso em 04 nov. 2019.

ROSSIGNOLLI Armazéns Gerais. **Regiões Cafeiras**. 2017. Disponível em <<http://www.rossignolli.com.br/regioes-cafeiras.php>>. Acesso em 25 nov. 2019.

SANTOS, J. C. F. (2005). **Prática da colheita manual do café**. Patrocínio, MG. Disponível em <<https://revistacafeicultura.com.br/?mat=3697>>. Acesso em 26 set. 2019.

SANTOS, J. C. F. (2005). **Sistema semimecanizado de colheita do café**. Patrocínio, MG. Disponível em <<https://revistacafeicultura.com.br/index.php?tipo=ler&mat=3674>>. Acesso em 26 set. 2019.

Sanzonowicz, C., et al. (2003). Avaliação inicial do crescimento de um cafezal em um solo de cerrado sob diferentes níveis de adubação e regimes hídricos.

SILVA, E. D. F., et al. (2014). Emissão de CO<sub>2</sub> do solo associada à calagem em área de conversão de laranja para cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, 34(5), 885-898.

DA SILVA, F. M., Salvador, N., de Souza Pádua, T., & Queiroz, D. P. (2001). Colheita do café mecanizada e semimecanizada.

DO VALE, A. R., Calderaro, R. A. P., & Fagundes, F. N. (2014). A cafeicultura em Minas Gerais: estudo comparativo entre as regiões Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e Sul/Sudoeste/The coffee production in Minas Gerais: comparative study between regions Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba and South/Southwest. *Campo-Território: Revista de Geografia Agrária*, 9(18).

VENTURELI, I., Patto, G. J., Beli, E., & Mandelli, I. (2016). Comparação de custos entre colheita mecanizada e semi-mecanizada de café: Um estudo de caso em uma propriedade no município de Andradas–MG. *Revista de Administração*, 16(20), 93-104.

Wiedmann, T., & Minx, J. (2008). A definition of ‘carbon footprint’. *Ecological economics research trends*, 1, 1-11.