

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL
DOCTORADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL

Ana Letícia Zappe

**A produção agrícola de tabaco (*Nicotiana Tabacum*) brasileira através da perspectiva de
avaliação de ciclo de vida**

Santa Cruz Do Sul
2020

Ana Letícia Zappe

**A produção agrícola de tabaco (*Nicotiana Tabacum*) brasileira através da perspectiva de
avaliação de ciclo de vida**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental - Doutorado, Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Diosnel Antonio Rodriguez Lopez

Co-orientadora: Prof. Dra. Adriane Lawisch Rodriguez

Santa Cruz do Sul

2020

Dedico a todos que coexistem na natureza.

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – Doutorado

AGRADECIMENTOS

Sempre há em nossos corações uma luz que conduz ao bem. Obrigada!

Família, agradeço a todos vocês todos o apoio INCONDICIONAL. A nossa união é a minha íntegra FELICIDADE. Obrigada pelo amor e pelo carinho, obrigada pela ajuda, obrigada pela presença, obrigada por terem dedicado o tempo de vocês a mim.

Prof. Dr. Diosnel, obrigada por ter auxiliado no meu desenvolvimento. Tua bondade, paciência e resiliência são o meu melhor exemplo. O brilho dos teus olhos ao proferir uma aula é grandioso. Tu és meu eterno orientador, um exemplo que levarei para mim vida. Lhe admiro e lhe agradeço imensamente por todo o tempo dedicado ao nosso trabalho e por tua amizade.

Prof. Dra. Adriane, obrigada pela sabedoria, a sra. sempre sabe compartilhar as palavras no momento certo e ainda, obrigada por me acolher. Prof. Dr. Ênio Leandro Machado, obrigada pela leveza e pelo entusiasmo, o sr. me ensina que o conhecimento só é digno quando há humildade. A todos da banca que estão lendo este trabalho, obrigada por fazerem parte de mais uma experiência da minha vida.

Amigos, de vida, de jornada, de Rotaract, de laboratório, de escola, de universidade, obrigada pela paciência e pela luz. Muito obrigada por terem amor no olhar e sempre me acolherem, sob qualquer perspectiva temporal.

Aos vizinhos Deise e Lairton Vargas, obrigada por todo o auxílio prestado e disponibilidade, doando o seu tempo e a sua propriedade para a realização dos experimentos. A vocês o meu eterno agradecimento. Ao Lucas Fischer, obrigada pelo auxílio com as amostragens.

E assim, seguimos para os próximos capítulos!

RESUMO

Caracterizado como das maiores *commodities* brasileiras o tabaco (*Nicotiana Tabacum*) movimentou, na safra de 2018/2019, R\$ 6 bilhões de reais em ativos oriundos de exportação, com 664.355 toneladas de tabaco seco produzidos e 149.060 famílias envolvidas na cadeia produtiva agrícola. Sendo de uma importante contribuição econômica e social, o presente estudo utilizou a abordagem de avaliação de ciclo de vida (ACV) a fim de quantificar os impactos ambientais potenciais das etapas de produção agrícola do tabaco. Através de inventário com dados regionalizados e de origem primária oriundos de 25.000 produtores de tabaco da região sul do Brasil e amostragens de coleta de emissões atmosféricas realizadas *in loco*, foi possível estabelecer o inventário de ciclo de vida do tabaco seco à porta da central de processamento. Os programas computacionais Umberto NXT LCA, Umberto LCA+ e SimaPro foram utilizados, tendo sido selecionados como indicadores ACV a pegada de carbono (IPCC 2013) e os indicadores Recipe® 2016 v1.0., com a abordagem *midpoint* e *endpoint*, aplicados à quantificação dos impactos ambientais potenciais das técnicas de cultivo convencional e orgânica e inserção de dados de emissões atmosféricas referente a etapa de cura. Este foi o primeiro trabalho brasileiro a identificar os *hotspots* ambientais do cultivo de tabaco em sua fase agrícola e a utilizar dados primários de plantio de tabaco dos estados do sul do Brasil, onde se concentra a produção brasileira.

Palavras-Chave: Secagem, Estufas, Emissões atmosféricas, Material Particulado, Monóxido de Carbono, Fertilizantes Sintéticos, Orgânicos.

ABSTRACT

Characterized as one of the biggest Brazilian commodities, tobacco (*Nicotiana Tabacum*) generated, in the 2018/2019 harvest, R \$ 6 billion in assets from exports, with 664,355 tons of dry tobacco produced and 149,060 families involved in the agricultural production chain. Being an important economic and social contribution, the present study used the approach of life cycle assessment (LCA) in order to quantify the potential environmental impacts of the stages of agricultural tobacco production. Through an inventory with regionalized data and primary origin from 25,000 tobacco growers in the southern region of Brazil and sampling of atmospheric emissions collected on the spot, it was possible to establish the life cycle inventory of dry tobacco at the door of the processing plant . The computer programs Umberto NXT LCA, Umberto LCA + and SimaPro were used, and the carbon footprint (IPCC 2013) and Recipe® 2016 v1.0. Indicators were selected as ACV indicators, with the midpoint and endpoint approach, applied to the quantification of potential environmental impacts of conventional and organic cultivation techniques and insertion of atmospheric emissions data for the curing stage. This was the first Brazilian study to identify the environmental hotspots of tobacco cultivation in its agricultural phase and to use primary tobacco planting data from the southern states of Brazil, where Brazilian production is concentrated.

Key words: Drying, Greenhouses, Atmospheric emissions, Particulate Material, Carbon Monoxide, Synthetic, Organic Fertilizers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquematização das etapas que contemplam um estudo de ACV.	17
Figura 2: Fluxo de informações correspondentes a um estudo de ACV.....	18
Figura 3: Distribuição do plantio de tabaco no mundo.....	20
Figura 4: Fases agrícolas da produção e de tratamento local do tabaco.	27
Figura 5: Modelo de uma estufa de cura de tabaco utilizando a operação de ar forçado.	30
Figura 6: Framework da pesquisa.	35

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Normas para padronização de estudos de avaliação de ciclo de vida em esfera mundial.....	16
Quadro 2: Normas para padronização de avaliação de ciclo de vida em esfera brasileira.	16
Quadro 3: Termos utilizados para revisão sistêmica da literatura.	34
Tabela 4: Artigos selecionados pela revisão exploratória da literatura.	35
Tabela 5: Diferentes processos que são realizados na etapa de secagem do Tabaco Virgínia.	Erro! Indicador não definido.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GEE	Gases de Efeito Estufa
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
PIB	Produto Interno Bruto
EU-27	27 países membros da União Europeia
US\$	Moeda americana (dólar)
IPCC	<i>The Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina
PR	Paraná
EPA	<i>Environmental Protect Agency</i>
FEPAM	<i>Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS</i>
BU	<i>Variedade Burley</i>
VA	<i>Variedade Virginia</i>

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

CO ₂	Dióxido de Carbono
CO ₂ -Eq	Dióxido de Carbono Equivalente
N ₂ O	Óxido Nitroso
CH ₄	Metano
SO ₂	Dióxido de Enxofre
PM	<i>Particule Material</i> (Material Particulado)
NO	Óxido Nitríco
VOC	<i>Volatile organic compounds</i> (Compostos Orgânicos Voláteis)
N	Nitrogênio
P ₂ O ₅	Fósforo
K ₂ O	Óxido de potássio
NH ₃	Amônia
CO	Monóxido de Carbono
Hg	Mercúrio
Mt de CO ₂ eq	Milhões de toneladas de CO ₂ eq
t de CO ₂ eq	Toneladas de dióxido de carbono equivalente
m ²	Metros quadrados

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. OBJETIVOS.....	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA.....	15
3.2 CADEIA DE FORNECIMENTO DO TABACO (<i>Nicotiana Tabacum</i>).....	19
3.3 AGRICULTURA DE <i>COMMODITIES</i>	22
3.4 ETAPAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA DO TABACO.....	27
3.4.1 PRODUÇÃO DE MUDAS.....	27
3.4.2 LAVOURA.....	28
3.4.3 COLHEITA E CURA.....	28
4. METODOLOGIA.....	34
5. ARTIGO 1 - CARBON FOOTPRINT OF AGRICULTURAL PRODUCTION AND PROCESSING OF TOBACCO (NICOTIANA TABACUM) IN SOUTHERN BRAZIL.....	36
6. ARTIGO 2 - HUMAN HEALTH RISK AND POTENTIAL ENVIRONMENTAL DAMAGE OF ORGANIC AND CONVENTIONAL NICOTIANA TOBACCUM PRODUCTION.....	56
7. RESULTADOS.....	36
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
9. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	39
10. REFERÊNCIAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

A base para o desenvolvimento da vida respalda-se no uso de matéria-prima e energia, uma vez que ambos foram, são e serão elementos essenciais para o estabelecimento, crescimento e desenvolvimento das civilizações. Segundo Skowrońska e Filipek (2013) a população mundial se desenvolve à medida que a tecnologia usada nos sistemas agrícolas evolui. Dados da FAO (2017) expõem que até o ano de 2050, a população mundial terá um crescimento para aproximadamente 10 bilhões de pessoas, impulsionando a demanda agrícola e proporcionando um cenário econômico de crescimento.

Atrelados a atender a demanda mundial por bens primários, os modelos de manufatura, por exemplo, permitiram o emprego da tecnologia nos processos agrícolas, desde a fabricação de sementes à produção de fertilizantes, sendo os responsáveis pela produtividade e aumento do capital por unidade de terra cultivada. O uso de fertilizantes sintéticos, em larga escala, e o processo de síntese industrial da amônia, foram os responsáveis pelo crescimento populacional, uma vez que possuem a capacidade de prover alimento com mais eficácia, tornando o solo mais produtivo, de modo mais rápido (WILLY, MUYANGA e JAYME, 2019; BILALI e ALLAHYARI, 2018). Tal forma eficiente de produção acaba por contribuir com alterações ambientais, como por exemplo, contribuições para o aquecimento global, para a poluição atmosférica, para a degradação da qualidade da água e acidificação do solo, podendo causar danos à fauna, flora e saúde humana (LI et al., 2018; RIVERA et al., 2017; BRENTROP, 2014). Assim, a mesma tecnologia que proporciona o bem-estar também torna perceptível o contexto global referente às questões ambientais emergentes.

Atender uma demanda por informações através da avaliação dos encargos ambientais oriundos dos sistemas agrícolas e promover ações que minimizem os impactos ambientais das cadeias agrícolas se torna um desafio para pesquisadores, agências governamentais, empresas do setor e sociedade civil. Mensurar as emissões de substâncias e a extração de recursos se torna essencial para o este mercado mundial, o qual coexiste com os processos e interações ambientais. Desta forma, quantificar os impactos ambientais potenciais em relação ao ciclo de vida de uma cultura de *commodity* e fazer importantes correlações com os mecanismos ambientais valida a abordagem como a metodologia indicada para a busca de tais informações a respeito do ciclo de vida de produtos e serviços do setor (FRAVAL et al., 2018; HESAMPOUR, BASTANI e HEIDARBEIGI, 2018; TAKI et al., 2018).

Segundo Tubiello et al. (2018), as emissões de GEE oriundas da agricultura tiveram um aumento. Para Hajjar et al., (2018) a agricultura de *commodities* apresenta um contributo significativo para as economias de muitos países, dado que se destina a exportação. Entretanto, o setor agrícola é responsável por grande consumo de energia e pela geração de impactos ambientais, relacionados tanto com as práticas agrícolas, como com o uso de insumos (RIVERA et al., 2017).

Sendo uma cultura globalizada e produzida em grande escala, o cultivo do tabaco viabiliza renda para produtores e possui uma contribuição substancial para o desenvolvimento dos países que o produzem e o comercializam. A grande maioria deles são países em desenvolvimento, dentre os quais os maiores produtores são China, Brasil, Índia e Indonésia (SINDITABACO, 2018). Do tabaco produzido no Brasil, 94% da produção agrícola acontece nos três estados sulinos: Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Desse total, 90% é destinado à exportação, sendo comercializado com 94 países, o que correspondeu a 1% do total das exportações brasileiras em 2017, gerando US\$ 2,05 bilhões de divisas. Os outros 6% são cultivados nos estados de Alagoas e da Bahia.

No sul do Brasil a produção do tabaco é realizada em 556 municípios, distribuídos entre três estados (SINDITABACO, 2018). Porém, nas últimas décadas, o tabaco tem sido o centro de debates mundiais, devido aos danos que o consumo de cigarros pode provocar na saúde humana, tanto para fumantes como para fumantes passivos, bem como para o meio ambiente (GEIST et al., 2009; LIDÓN-MOYANO et al., 2018; PENTZ et al., 2018; KOPP et al., 2018; NUYTS et al., 2018). Não obstante, grande parte das publicações se concentram nos efeitos do consumo do tabaco, ou seja, expõe os danos do hábito de fumar (BLECHER, 2008; KOPP, et al., 2018; KOSSOVA, KOSSOVA e SHELUNTCOVA, 2018).

A avaliação do desempenho ambiental dos sistemas agrícolas está sendo realizada em todos as partes do mundo. Há pesquisas feitas no âmbito do uso de fertilizantes, em plantios convencionais e a atividade industrial (BRENTROP, 2014; HUSSAIN, 2014). Ainda, há trabalhos que se referem a comparação de sistemas agrícolas com a utilização de técnicas de cultivo convencionais e orgânicos (RIVERA et al., 2017). Atingir um sistema produtivo sustentável é um objetivo constante para a agricultura, principalmente nos modelos consolidados como agricultura familiar, na qual está inserida a cultura do tabaco, o que objetiva atuar em consonância com os objetivos do desenvolvimento sustentável. Por outro lado, a produção agrícola de tabaco está associada a danos potenciais adversos ao meio ambiente e alterações ambientais, tendo como causa o uso intensivo de agrotóxicos, o desmatamento para

produção de lenha para as estufas de secagem, a abertura de novas áreas de cultivo e o uso de grandes quantidades de fertilizantes (BOETTCHER, 2018; HUSSAIN et al., 2014).

A literatura existente expõe muitas lacunas referente aos impactos ambientais potenciais da atividade de plantio de tabaco brasileiro, no âmbito das etapas agrícolas e principalmente, no que tange as emissões atmosféricas da cadeia de produção agrícola. Estudos demonstram que para tornar tangível o desempenho ambiental em sistemas agrícolas é necessário modelar as emissões de agrotóxicos, por exemplo, em toda a cadeia de processo e então, incorporar tais dados nas simulações que quantificam o impacto ambiental potencial. A avaliação de ciclo de vida (ACV) é amplamente reconhecida como o método mais avançado para obter informações sobre os aspectos ambientais de um sistema produtivo, sendo que tais informações podem ser utilizadas para comparação de cenários através da construção de uma base quantitativa (ILCD, 2010).

Para o sistema produtivo do tabaco brasileiro, dois trabalhos de ACV foram realizados (OLIVEIRA, 2016; BOETTCHER, 2018). Os resultados foram unânimes em determinar que a etapa da lavoura e cura tiveram contribuição significativa nos impactos ambientais analisados. À etapa da lavoura expôs o uso de fertilizantes agrícolas como maior contribuinte sobre os impactos associados às emissões. Já etapa de cura, a queima de lenha e suas emissões foi o principal fator. Porém, os dois trabalhos não consideraram as emissões derivadas da secagem das folhas verdes de tabaco, uma vez que os bancos de dados utilizados são carentes destas informações. Tais trabalhos revelaram outra lacuna no uso da abordagem de ACV para o contexto produtivo do tabaco, a problemática das emissões da etapa de cura das folhas de tabaco e o uso de madeira de florestas sustentáveis como modelo capaz de neutralizar tais emissões. Os pesquisadores citam que a biomassa é um recurso local geralmente disponível, a um baixo custo, em grande parte do mundo (CARVALHO, JENSEN e TARELHO, 2016). Porém, pouco se sabe sobre os compostos emitidos para a atmosfera decorrentes das etapas de cura, suas fases e características.

Assim sendo, o presente trabalho tem por objetivo caracterizar a estrutura atual de plantio agrícola de tabaco e utilizar tal inventário de ciclo de vida da produção agrícola, realizada nos três estados do sul do Brasil, em cenários para avaliação de ciclo de vida, quantificando os impactos ambientais potenciais da cadeia produtiva de plantio de tabaco das variedades Virginia e Burley com a utilização de dados primários e regionais de cultivo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar o inventário brasileiro de avaliação de ciclo de vida do plantio de tabaco e avaliar os impactos ambientais potenciais da produção agrícola no três estados do sul do Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mensurar a pegada de carbono das variedades de tabaco Virginia e Burley produzidas no sul do Brasil, com a utilização de dados primários referentes aos fluxos da matéria e energia de cada um dos processos;
- Analisar os danos potenciais ao meio ambiente e a saúde humana decorrentes da produção de tabaco das variedades Virginia, cultivado de forma orgânica e convencional e Burley, cultivado de maneira convencional;
- Preencher a lacuna associada as emissões de gases do efeito estufa referente ao uso de biomassa como combustível para geração de calor nos fornos de secagem de tabaco da variedade Virginia no sul do Brasil.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

A sustentabilidade na cadeia produtiva, tanto nos sistemas produtivos industriais como agrícolas, vem sendo um requisito importante diante da sensibilização da população em relação as questões ambientais emergentes. Ainda, a crescente pressão sob as empresas a fim de obter operações sustentáveis em sua produção consolida inúmeros desafios atualmente vistos, os quais compreendem a interseccionar aspectos ambientais, sociais e econômicos e suas abrangências no mercado de bens e serviços, considerando produções locais e sua distribuição global (ZORE, CUCEK e KRAVANJA, 2018).

O uso de abordagens que caracterizam indicadores e mensuram a sustentabilidade, impulsionando o desempenho ambiental das cadeias produtivas, é crescente. Premissas associadas a tais abordagens correspondem à capacidade de intersecção das esferas ambientais, sociais e econômicas em cadeias de produção (MAHDINIA et al., 2018). A conquista da sustentabilidade possui seu início no discernimento sobre tais premissas, aplicadas aos sistemas agrícolas. Assim sendo, o conhecimento das informações que correspondem aos impactos ambientais globais, regionais e/ou locais em relação ao uma cadeia de produção, desde a aquisição da matéria-prima (considerando sua origem), ponderando as etapas de produção e uso e analisando a disposição final deles, permite uma visão abrangente de todo ciclo de vida que envolve o círculo do consumo.

Segundo a ISO 14.001/2004, o impacto ambiental consiste no processo de mudanças sociais e ecológicas as quais causam perturbações no ambiente. Como alteração adversa do equilíbrio ecológico pode significar, por exemplo, uma modificação das propriedades físicas e químicas dos elementos naturais de tal ordem, que estes percam, parcial ou totalmente, sua propriedade de uso. Visando a quantificação de fatores causa e efeito, um método padronizado, com uma base científica sólida orientado a gestão ambiental, com possibilidades de envolver além dos aspectos ambientais, itens de cunho social e econômico. A abordagem de avaliação de ciclo de vida (ACV) permite um panorama dos aspectos ambientais referentes a um sistema produtivo, podendo o mesmo ser referente a sistemas industriais e agrícolas (CURRAN, 2013).

Neste sentido, Banar, Cokaygil e Ozkan (2009) expõem que a ACV é uma abordagem de análise de processos a qual se desenvolveu rapidamente durante a década de 1990 e atingiu um nível de harmonização e padronização. A padronização de uma ACV é parte fundamental

em todos os estudos, independente da área de enfoque deles, para execução desta técnica. Para tanto, as normas ISO aplicadas estão demonstradas no Quadro 1.

Quadro 1: Normas para padronização de estudos de avaliação de ciclo de vida em esfera mundial.

ISO 14.040/2006	<i>Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework</i>
ISSO 14.044/2006	<i>Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and Guidelines</i>

As normas acima substituíram as normas ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 e a ISO 14043:2000. Neste contexto, as duas normas brasileiras publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em vigor, que dispõem sobre ACV, estão no Quadro 2.

Quadro 2: Normas para padronização de avaliação de ciclo de vida em esfera brasileira.

ABNT NBR ISO 14.040/2009	Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e Estrutura
ABNT NBR ISSO 14.044/2009	Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações

Dividida em quatro fases, conforme a padronização realizada em âmbito das normas ISO 14.040 e 14.044 e ambas datadas de 2009, a abordagem realizada em um estudo de ACV está representada na Figura 1. A primeira consiste na definição do objetivo e escopo do estudo, com a inclusão da seleção da unidade funcional a ser utilizada no mesmo. Em seguida, tem-se a análise do inventário, com dados de matéria-prima e energia os quais são relevantes a montagem do inventário de ciclo de vida. Posteriormente, é realizada a caracterização dos impactos ambientais potenciais associados as entradas e saídas referentes ao inventário no que compreende a avaliação do impacto de ciclo de vida. A última é resultante das três fases supracitadas e corresponde a interpretação dos resultados (ISO 14.040, 2009).

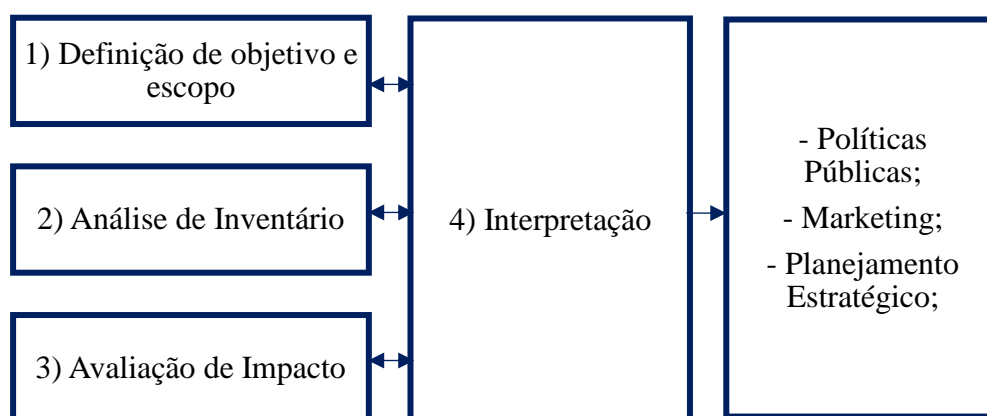


Figura 1: Esquematização das etapas que contemplam um estudo de ACV.

FONTE: Adaptado de ABNT NBR 14.044/2009

O uso de ACV é estimulado e segundo Roy *et al.*, (2014) tal abordagem visa a tomada de decisão através da compilação e avaliação de entradas, saídas e impactos ambientais potenciais de um produto ou serviço durante todo o seu ciclo de vida, atuando desde a extração da matéria prima até o fim de vida. A utilização desta abordagem possibilita estruturar o perfil ambiental da cadeia produtiva avaliada. Assim, a ACV realiza a caracterização dos impactos ambientais potenciais para o produto e/ou serviço de modo a descrever o perfil ambiental de forma integral, ou seja, permitindo a exploração do produto e/ou serviço desde a etapa de extração e processamento de matérias-primas, passando pela etapa de manufatura, transporte, distribuição, uso, reutilização, manutenção, reciclagem até a disposição final (RUVIARO et al., 2011).

A razão para o sucesso do uso da ACV é a capacidade de considerar todas as fontes diretas e indiretas de emissões envolvidas em um determinado ciclo de vida, dando significado a expressão “do berço ao túmulo” (MASSARUTTO, 2015). A obtenção de resultados quantitativos é um dos principais benefícios identificados em utilizações da abordagem de ACV, principalmente no que tange as emissões para o solo, ar e água. Estes dados, segundo Marco, Riemma e Iannone (2018), viabilizam a correlação de um conjunto de dados amplo (*datasets*). A aquisição de um amplo conjunto de dados, obtido através da análise holística, irá permitir o reconhecimento das fases do sistema avaliado, favorecendo a identificação das etapas críticas associadas aos mecanismos ambientais. Ao aplicar o método de ACV, o impacto ambiental de um produto ou processo pode ser quantificado e avaliado e diferentes opções

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – Doutorado

podem ser comparadas, proporcionando um “*feedback*” para futuros sistemas sustentáveis (YANG, LANGER e SAWILLA, 2009).

Evidenciar as preocupações com a demanda global por produtos e ressaltar a importância da minimização dos impactos ambientais foi e está sendo objetivo de pesquisadores. A ACV requer o uso de *softwares*. Todavia, o uso de sistemas computacionais também pode ser identificado como uma das barreiras para ACV (RENOUF et al., 2017). Tais autores relacionam tais adversidades principalmente com o uso da abordagem em sistemas agrícolas. A conclusão exposta se refere a complexidade de *softwares* e dos custos para cada estudo.

Segundo Yang (2016), os sistemas agrícolas devem ser compreendidos e o uso da abordagem de ACV permite um beneficiamento e uma precisão de tais informações. O melhor conhecimento sobre a cadeia produtiva para processos agrícolas, principalmente os caracterizados como *commodities* agrícolas, pode ser um instrumento de apoio para avaliar como tais atividades interferem no meio ambiente, tanto local como global.

Segundo a *Environmental Protection Agency* (EPA US) a metodologia utilizada pode ser vista na Figura 2.

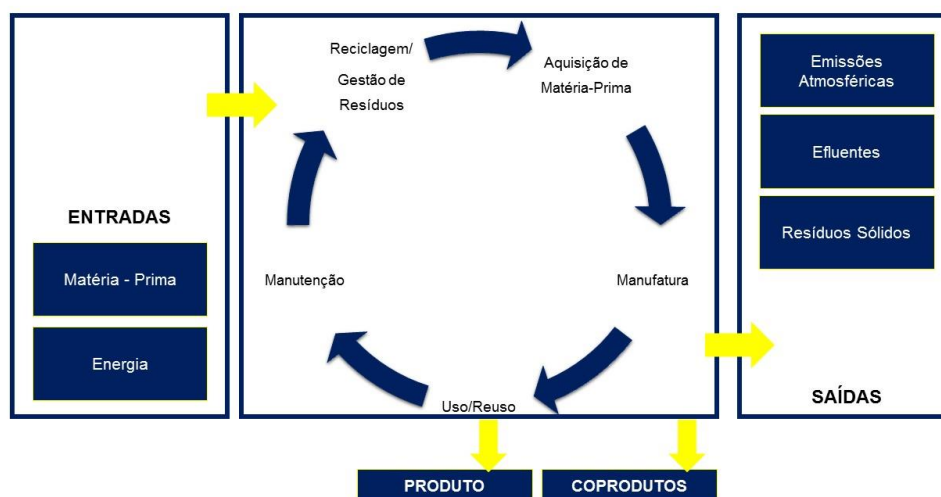


Figura 2: Fluxo de informações correspondentes a um estudo de ACV.

Fonte: Adaptado de U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2006.

O uso da abordagem de ACV ainda possui muitos desafios. Um deles se apresenta como a modelagem das operações unitárias dos sistemas produtivos avaliados, no que tange as cadeias de causa de efeito. Tais configurações, ao serem estabelecidas, devem representar, de forma clara, as características da região onde está inserida e, para o tabaco ainda não foi possível

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – Doutorado

completar as lacunas. A regionalização dos dados é a consideração da influência do local ou região e de condições específica, atuando em consonância com a sensibilidade dos ecossistemas locais e obtendo uma maior precisão nos resultados da ACV (PAVAN e OMETTO, 2016; CURRAN, 2013).

Nas estufas de cura do tabaco, além da chaminé para emissão dos gases de combustão, há outro dispositivo de saída de umidade e/ou gases, decorrente da cura da folha verde. Nenhum registro de tais dados de emissões com origem neste local fora encontrado na literatura. Dessa forma, a falta de dados inventariados desta etapa é um grande obstáculo para a prática de ACV direcionado à cadeia produtiva de tabaco.

3.2 CADEIA DE FORNECIMENTO DO TABACO (*Nicotiana Tabacum*)

Endógeno as Américas do Sul e Central, o cultivo de Tabaco pode ser datado em 8 milênios atrás. Segundo dados da FAO (2018), tal especiaria é a cultura não-alimentar mais amplamente cultivada no mundo e ainda, consolidada como uma das principais culturas de rendimento em todo o mundo desde o século XV (DASGUPTA et al., 1991; RAHMAN et al., 2011). Para Zhang et al., (2018), o tabaco é importante para o setor industrial e sua principal finalidade, atualmente, é a produção de cigarros. Esta produção vem sendo impulsionada desde 1880, pela comercialização e fabricação de cigarros, a qual foi a promotora do aumento da demanda por tal matéria-prima (ALI et al., 2015).

Cultivada em 103 países, a planta *Nicotiana Tabacum*, popularmente conhecida como tabaco ou fumo, é encontrado em diferentes condições de clima e solo. Um aspecto referente ao crescimento do seu cultivo deveu-se, sobretudo, ao aumento da área plantada e da quantidade produzida de tabacos do tipo *flavour*, que dão sabor e aroma ao cigarro. Dentre as principais variedades de tabaco que são utilizadas no preparo dos *blends* para a fabricação do cigarro, destacam-se as variedades Virginia, Burley e Oriental, produzidas principalmente em países em desenvolvimento.

Mensurar e estabelecer a condição dada na economia aos países produtores de tabaco já foi objeto de estudos (MOON et al., 2018). A contribuição que a produção agrícola de tabaco desempenha foi avaliada em países cujo papel da produção é importante, sendo os mesmos China, Índia, Brasil, Estados Unidos e Indonésia. A Figura 3 apresenta as escalas de produção mundial de Tabaco.

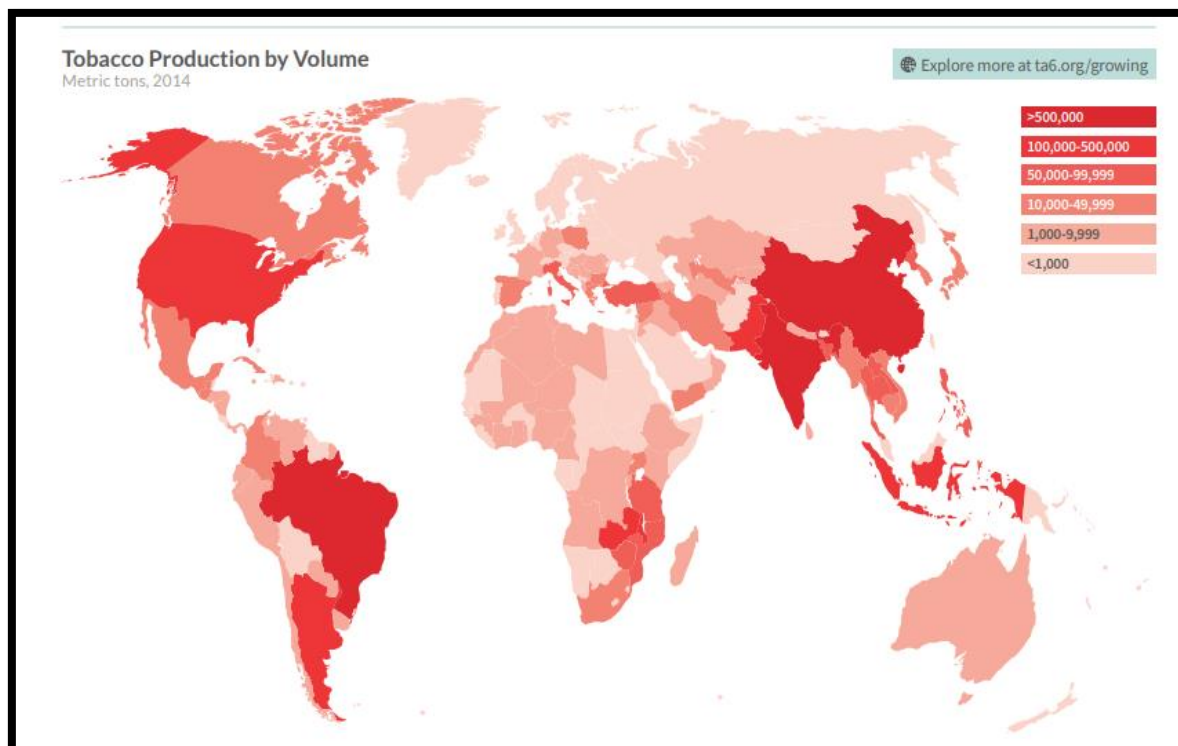


Figura 3: Distribuição do plantio de tabaco no mundo.

Fonte: DROPE e SCHLUGER, 2018.

Na China, a produção de tabaco é realizada inteiramente de modo manual por cerca de 20 milhões de famílias de produtores, em pequenas propriedades, cujo tamanho médio é de 0,3 a 0,4 hectares, localizadas principalmente nas províncias de Yunnan, Guizhou, Sichuan e Henan, no centro sul do país. Segundo Zou et al., (2018) na província de Yunnan, o a produção de tabaco é a principal fonte de renda para a maioria dos fazendeiros e agricultores. A produção de tabaco em Yunnan representa aproximadamente 40% da produção da China e 20% da produção mundial. Segundo dados do Sinditabaco, a China produziu um total de 2.806.770 toneladas em seu território na safra 2017/2018.

O cultivo de tabaco na Indonésia é datado de meados de 1800, em Deli, sendo atribuído a este cultivo um valor importante na geração de receitas através da folha e do produto manufaturado de tabaco. Segundo Achadi, Soerojo e Barber (2005), o país está entre os principais fornecedores globais de tabaco, contribuindo com aproximadamente 145.000 toneladas de folha anualmente. No período do estudo, havia aproximadamente 420.000 trabalhadores são envolvidos com o plantio. Ainda, 70% da população depende da agricultura e o tabaco é uma das principais culturas. Sendo um país predominantemente agrícola, tal sistema é líder da economia local, pois contribui com 20,9% do PIB, empregando 43,5% da força de trabalho do país. Aproximadamente 67% da população depende direta ou

indiretamente da agricultura. O Paquistão tem como culturas de rendimento predominantes o algodão, o arroz, o tabaco, as frutas e as sementes oleaginosas. Destas culturas, o tabaco é uma das mais importantes. Cerca de 40% de toda a receita e 10% do rendimento total do país são obtidos através da cultura do tabaco e seus produtos (HUSSAIN et al., 2017).

O plantio do tabaco no Brasil é realizado em pequenas e médias propriedades, cujo conceito de agricultura familiar é característica intrínseca à cadeia produtiva agrícola da folha. O tamanho médio das propriedades de cada núcleo familiar é de 14,6 hectares, sendo que 17% são ocupados com tabaco e os demais, são utilizados para culturas de subsistência, com potencial de venda de excedente, criação de peixes, aviários, criação de gado etc. (SINDITABACO, 2018; KIENLE, MANOS e JUNGBLUTH, 2015).

Segundo uma pesquisa realizada pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFGRS) a renda média mensal de uma família produtora de tabaco é de R\$ 6.608,70, sendo que R\$ 4.601,65 corresponde a renda média mensal obtida pela produção de tabaco. Considerando uma família com quatro pessoas, esse valor corresponde a uma renda per capita média de R\$ 1.926,73 para os produtores de tabaco da região sul. Por sua vez, a renda média per capita geral do Brasil corresponde a R\$ 1.113,00. Esta característica permite que 80,4% dos produtores de tabaco no Brasil estejam dentro dos aspectos correspondentes a estratos sociais equivalente a classes A e B (SLONGO, 2016). Todavia, Arend (2014) apresenta dados sobre a percepção da situação econômica das propriedades rurais que possuem como cultura principal o tabaco nos três estados sulinos e os resultados demonstram que 61,2% dos agricultores se encontrava em uma situação estável, 25,8% em uma situação econômica ruim e 12,7% relataram ter reservas financeiras. Quando foram questionados sobre endividamento, 70,7% apresentaram ter dívidas, oriundas de custeios, investimentos e adquiridas no comércio e deste total, 86,4% estaria conseguindo sanar tais dívidas nos prazos estabelecidos.

Os governos dos três Estados envolvidos na produção do tabaco dependem fortemente das receitas obtidas com o imposto sobre valor agregado que o tabaco gera. A produção de tabaco é de grande importância socioeconômica, principalmente para o Sul do Brasil. Presente em 556 municípios do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, na safra 2016/17, no Rio Grande do Sul, 227 municípios estão envolvidos na produção de tabaco, o qual foi responsável por 9,2% das exportações do estado no ano de 2017. A produção agrícola do tabaco é realizada por aproximadamente 150 mil produtores, com 597.000 pessoas envolvidas no meio rural. A área cultivada do tabaco ocupa 290 mil hectares plantados, alcançando um volume de produção

de 631 mil toneladas, somando uma receita anual bruta de R\$ 6 bilhões, segundo a Associação dos Fumicultores do Brasil (BOETTCHER et al., 2020).

A produção do tabaco é realizada segundo a forma *Integrated Tobacco Production System*, uma parceria realizada entre as empresas compradores e os agricultores. Tal sistema funciona com a utilização de uma cartela de produtores, que recebem insumos agrícolas e assistência técnica e financeira da empresa para produzir o tabaco em suas propriedades. Após a cura, as empresas adquirem a matéria-prima. As empresas que adquirem esta matéria-prima são estabelecidas e consolidadas mundialmente. Grande parte do tabaco produzido nos estados de SC e PR é transportado para os municípios de Santa Cruz do Sul e Venâncio Aires, ambos no estado Rio Grande do Sul, onde se concentra o maior centro de beneficiamento de folha de tabaco do mundo (BOETTCHER et al., 2020).

Assim, um fator determinante, para que a produção de tabaco seja uma cultura atraente, tanto no Brasil como em outros países, é o de proporcionar uma segurança em relação a altos retornos monetários contemplados pela garantia da compra de toda a produção, o que normalmente não está disponível para outras culturas.

3.3 AGRICULTURA DE *COMMODITIES*

Com amplitude mundial, a agricultura de *commodities* impulsiona o comércio internacional e torna-se um item relevante para as economias do mundo.

Em âmbito nacional, o Brasil é um país que exporta e então possui muitas culturas dentro da definição de *commodities*, visto que é um país com um grande potencial para o agronegócio. No Brasil, o agronegócio participa com 23% a 24% do PIB (MMA, 2018). O papel do Brasil neste cenário tem por objetivo suprir uma demanda mundial por tais produtos primários, principalmente, carne bovina, café, óleo de palma, soja e tabaco (HAJJAR et al., 2018). Segundo Ruviano *et al.*, (2011) o país terá ainda de aumentar em 37% a produção de grãos (soja, milho, trigo, arroz e feijão), o equivalente a 48 milhões de toneladas até o ano de 2020. Este crescimento também é esperado no mesmo período para a produção de carne (38% de carne bovina, suína e frango), açúcar (48%) e leite (24%).

A visibilidade adquirida pelos *commodities* agrícolas chamou a atenção da sociedade em relação aos potenciais impactos ambientais e sociais, vinculados a esta produção de bens primários, uma vez que este modelo econômico utiliza os mecanismos ambientais e as

características culturais, para atender uma demanda global através de produções agrícolas (FLORINDO et al., 2017).

A agricultura de *commodities* corresponde a um sistema de produção em larga escala e a avaliação ambiental e social destes sistemas são variáveis, uma vez que dependem do planejamento das produções e da cultura a ser manejada. Para tanto, a caracterização dos impactos, tanto em esfera ambiental, social e econômica, pode ser referente à questões técnicas, como preparo do solo, período de colheita, manejo de cultivos, redução da fertilidade do solo, bem como a mudanças de uso da terra, desmatamento, emissões de gases de efeito estufa (GEE), perda da biodiversidade, invasão de terras indígenas, violação de direitos dos trabalhadores, desertificação, mudanças nos ciclos da água etc. No contexto do uso de fertilizantes químicos e pesticidas, por exemplo, há referências que caracterizam as interferências dos mesmos sobre o meio ambiente como irreversíveis, ou seja, gerando um dano ambiental e sendo precursoras de danos sociais e econômicos (SHOBRI, SAKIP e OMAR, 2016; ORIVE, RUIZ e REINAC, 2018; FLORINDO et al., 2017; RIVERA et al., 2017).

Segundo Skowrońska e Filipek (2013) o uso de fertilizantes sintéticos em larga escala, e o processo de síntese industrial da amônia, viabilizaram o crescimento populacional. Tal fato ocorreu, pois, metade da população mundial utiliza alimentos produzidos com o uso de fertilizantes sintéticos. O consumo deste insumo agrícola nos países da EU-27, entre 2011/2012, foi de 10,5 milhões de toneladas de N, 2,4 de P₂O₅ e 2,7 de K₂O. A perspectiva é que o uso irá aumentar aproximadamente 50 - 80% até 2050. Concomitante com o crescimento do consumo de fertilizantes, as emissões globais de GEE da agricultura entre os anos de 2000 – 2010 foram de 5,0 para 5,8 Mt CO₂ eq/ano, com destaque a atividade pecuária (BACENETTI e FUSI, 2015).

O aumento populacional faz crescer a demanda por bem primários e ainda, por informações referentes aos produtos disponibilizados para consumo. Esta percepção tem origem em uma consciência e sensibilização à saúde e ainda, às causas ambientais. Para tanto, este critério é apresentado para viabilizar a transformação dos sistemas de produção de *commodities* em uma cadeia de produção sustentável. Assim, tem-se que sistemas agrícolas que se utilizam das premissas da sustentabilidade ambiental, estejam engajados na continuidade da qualidade de vida, visando operações de rastreabilidade na sua cadeia produtiva, de modo a fornecer informações coesas referentes a produção de bens primários (SHOBRI, SAKIP e OMAR, 2016).

O discernimento sobre o ciclo de vida permite o acesso a informações, as quais irão proporcionar a quantificação tanto dos riscos ambientais e sociais, bem como as oportunidades que ela apresenta. Cada etapa de um sistema de produção agrícola exige, entre outros aspectos, a quantificação de entradas e saídas, visto que tais sistemas podem apresentar diferentes fases e etapas entre si. A diferença de insumos é vinculada a uma limitação a atuação em sistemas sustentáveis, principalmente quando correlacionada com certificações.

O uso de indicadores de sustentabilidade é apontado como uma abordagem indicativa para avaliar a sustentabilidade da cadeia produtiva. Estes são, na maioria, provenientes de análises de processos econômicos, sociais e naturais, e pondera diferentes setores e escalas geográficas (ANGEON e BATES, 2015). Conforme Hajjar et al., (2018), a busca de uma produção sustentável já ocorre nas regiões cafeeiras do Brasil. Estas regiões possuem, como foco, a redução da degradação ambiental resultante da fragmentação da paisagem, das perdas de biodiversidade e da poluição devido a insumos agrícolas. Para os autores, o Brasil é o maior país produtor de café no mundo e tem sido um consumidor considerável de pesticidas desde 2008.

Em relação aos produtos oriundos da pecuária, a tendência é o aumento da demanda em 70% até 2050 (FRAVAL et al., 2018). Ao setor pecuarista brasileiro é dado o título de principal contribuintes para os impactos ambientais, em âmbito global e regional, sendo alvo de pressões das agências internacionais responsáveis, principalmente, pelas mudanças climáticas (RUVIARO *et al.*, 2016). Um estudo realizado por Florindo et al., (2017) apontou que 80% do uso antrópico da terra é ocupado por ruminantes e ainda, que são responsáveis por consumirem aproximadamente 35% das culturas agrícolas do mundo, competindo diretamente com a produção de alimentos. Dessa forma, o setor pecuário é responsável por 18% das emissões globais de GEE. Tais autores afirmaram que a integração de dados referentes a custos de produção e impactos ambientais, gerados a partir da metodologia de avaliação de ciclo de vida econômica e avaliação de ciclo de vida ambiental, podem fornecer informações para auxiliar na tomada de decisões para os sistemas de produção de carne bovina. As principais fontes de emissões constatadas foram oriundas do metano (CH₄), produzido pela fermentação entérica dos ruminantes, o qual variou entre 90% a 92% em relação as emissões totais em todos os sistemas avaliados (GARNETT, 2009; BACENETTI et al., 2016).

Além da contribuição com a distribuição mundial de carne bovina, o Brasil é um dos países líderes na produção de soja e o segundo maior produtor mundial de óleo de soja, com uma participação de 11% da produção mundial (AFUBRA, 2020). O estado do Rio Grande do

Sul colheu 12,5 milhões toneladas de soja na safra 2012/2013 e é responsável por cerca de 5% da soja produzida no mundo, superando produção na China, o quarto maior produtor mundial. Através da abordagem de ACV, Zortea, Maciel e Passuello (2018) promoveram uma análise da sustentabilidade na cadeia de produção de soja. No estudo realizado, nove categorias de impacto e/ou partes interessadas foram trabalhadas, sendo: acidificação, eutrofização, aquecimento global potencial, custos de fornecimento, custos de infraestrutura e manutenção, despesas financeiras, trabalhadores, comunidades locais e sociedade e atores da cadeia de valor. O estudo teve como escopo todas as fases do cultivo de soja, como: preparo do solo, tratamento das sementes e semeadura, período de crescimento e colheita. O impacto ambiental mais crítico da produção da soja correspondeu a eutrofização. O estudo concluiu que a melhoria do uso de recursos, principalmente fertilizantes e pesticidas, possui efeito importante, não apenas no contexto econômico, mas também no ambiente estudado.

O cultivo de cana-de-açúcar é outro importante *commodity* brasileiro. Ao analisar tal cadeia, dentro de uma perspectiva de avaliação de ciclo de vida, Silva et al., (2014) discorreram sobre 9 etapas que o produto engloba. Os pesquisadores avaliaram as fases de preparação do solo, plantio, aplicações químicas, irrigação, colheita, recepção, lavagem e moagem, cogeração de energia, transmissão de eletricidade e distribuição de eletricidade. Os resultados obtidos demonstraram que a etapa de colheita apresentou uma contribuição significativa, devido a queima da palha como uma fase do processo, bem como o uso de óleo diesel como combustível. Outros estudos foram realizados em sistemas de cultivos agrícolas. Figueirêdo et al., (2016) utilizaram a abordagem de ACV para analisar as culturas do cajueiro. Contudo, os estudos citados anteriormente possuem uma tendência a utilizar a base de dados Ecoinvent® e ainda, como modelo de cálculo para as emissões oriundas dos fertilizantes e pesticidas, o modelo descrito pelo IPCC (2006). Portanto, chamar a atenção para estudos mais detalhados, os quais envolvem a mensuração *in loco* de tais emissões e ainda, distribuir as emissões de pesticidas na cadeia produtiva, pode ser uma alternativa para melhorar o uso da abordagem de ACV nos sistemas agrícolas.

Além das distintas variedades de bens primários produzidos e com diferentes usos em relação a matéria-prima e energia, a produção de tabaco também se realiza de modo diferenciado em cada país, por conta das particularidades do sistema de produção, das características fundiárias das propriedades agrícolas, do conteúdo técnico e do volume de mão de obra e relações de produção presentes em cada país.

O primeiro estudo com o uso da abordagem de ACV aplicada as etapas de produção agrícola do tabaco utilizando características no contexto dos estados sulinos brasileiro foi realizado por (OLIVEIRA, 2016). O estudo abarcou sete categorias de impacto ambiental e foi realizado utilizando o *software* UMBERTO NXT LCA. A caracterização dos potenciais impactos ambientais foi feita através do método Recipe 2008 e a unidade funcional avaliada foi de 2,5 toneladas de tabaco seco por hectare. As etapas identificadas com maiores valores de emissões corresponderam a preparo do solo e secagem. Os principais contribuintes dessas etapas citadas foram o uso de fertilizantes, agroquímicos, combustíveis fósseis e energia elétrica nestas etapas.

Um estudo mais amplo, envolvendo um espaço de tempo na coleta de dados nas safras 2015/2016, 2016/2017 e 2017/2018, e abarcando aproximadamente 15 mil produtores de tabaco VA foi feito por Boechtter (2018). A unidade funcional utilizada neste trabalho correspondeu a uma tonelada de tabaco seco, transportado para comercialização até indústria beneficiadora. O programa computacional utilizado para tal estudo foi o UMBERTO NXT LCA e o método usado para a caracterização dos impactos ambientais contou com a metodologia do Recipe 2016 e o IPCC 2016. As etapas referentes a preparo do solo e cura apresentaram o maior volume de emissões, devido ao uso de lenha como biomassa para as estufas de cura e ao uso de fertilizantes nitrogenados na etapa de lavoura.

Os sistemas agrícolas são caracterizados como contribuintes para as mudanças climáticas (RIVEIRA et al., 2017; BAI et al., 2018). E poucos estudos são realizados na área com uma visão holística atuando nos aspectos de avaliação de outros impactos ambientais e utilizando de questões sociais e econômicas, as quais são aconselháveis serem avaliadas para uma tomada de decisão, de acordo com a disponibilidade de dados, para atuar em consonância com a sustentabilidade. É congruente refletir que a abordagem em relação as mudanças climáticas é uma, dentro de outros impactos ambientais potenciais, econômicos e sociais. Por exemplo, sistemas agrícolas convencionais utilizam pesticidas, herbicidas, inseticidas e fungicidas. O resultado desta utilização pode promover a contaminação não apenas do ar, bem como da água e do solo. Estudos realizados por Yusà et al., (2009) expõem que durante a etapa de aplicação de um pesticida, a probabilidade de emissões do mesmo pode variar entre 20 e 30% do total aplicado. Este percentual é dependente da volatilidade e viscosidade dos produtos, equipamentos usados e metodologias de aplicação. Ainda, condições climáticas no momento da aplicação devem ser levadas em consideração bem como a habilidade do operador. Logo, na

literatura não é fácil encontrar dados referentes a emissões de tais insumos para a água, o solo e o ar, o fomenta a realização de estudos para suprir esta lacuna.

3.4 ETAPAS DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA DO TABACO

O tabaco é uma cultura perene, cultivada anualmente, legislada no Brasil, pela instrução normativa nº 10, de 13 de abril de 2007 (COLLINS e HAWKS Jr. 1993). O tabaco é constituído por celulose, hemicelulose, pectina, lignina, amido, proteínas e peptídeos, ácidos nucleicos e muitas moléculas pequenas tais como hidrocarbonetos, terpenos, álcoois, fenóis, ácidos, aldeídos, cetonas, quinonas e outros. Seu potencial para liberação de componentes durante o fumo pode atingir aproximadamente 5.000 compostos prejudiciais como CO, benzopireno, nitrosaminas específicas do tabaco, formaldeído, fenóis e metais (ZHOU et al., 2017).

Basicamente, o cultivo agrícola de tabaco é dividido em três etapas principais, sendo elas ilustradas na Figura 4.



Figura 4: Fases agrícolas da produção e de tratamento local do tabaco.

3.4.1 PRODUÇÃO DE MUDAS

A quantidade de plantas ou a área a ser cultivada, é limitada pela capacidade das unidades de cura de cada produtor. O agricultor sabe que plantar 30.000 pés de tabaco exige uma estufa de 450 varas. Segundo Boettcher (2018), a etapa de cultivo das mudas de tabaco é realizada com a utilização de bandejas de isopor, com um ciclo de vida descrito de 8 anos, onde as sementes da planta são semeadas e as quais flutuam sob uma lâmina de água, denominado sistema *float*. Ou piscina. A várias piscinas são cobertas com arcos de aço e filme plástico para proteger. Na segunda fase desta etapa, ocorre a introdução de fertilizantes, fungicidas e

inseticidas no sistema de produção convencional e a inserção de insumos de base orgânica certificados, no sistema de produção orgânico. Como terceira fase da etapa de produção de muda, tem-se a poda e o transplante.

3.4.2 LAVOURA

A primeira fase da etapa da lavoura é do preparo do solo. Nesta fase, há a inserção de fertilizantes, pesticidas, fungicidas, herbicidas e inseticidas. Tais insumos são aplicados a fim de otimizar o rendimento das culturas. As consequências alocadas ao uso desses insumos podem variar conforme o local onde ele é disposto. Segundo Rivera et al., (2018) a aplicação de pesticidas pode causar danos em espécies não-alvo dos mesmos e ainda, causar danos à saúde humana. Já para o uso de fertilizantes, tais pesquisadores se referem a danos em relação ao solo, como a perda de nutrientes, a acidificação, a eutrofização e a contaminação de águas subterrâneas e superficiais, devido a lixiviação e escoamento dos mesmos e emissões de N₂O.

Para Goglio et al., (2014) indicam sobre o desafio referente de mensurar o desempenho ambiental de sistemas agrícolas está nas fases de modelagem de pesticidas e fertilizantes. Os mesmos pesquisadores ainda se referem ao uso da abordagem de ACV e ao desafio de quantificar a proporção de pesticidas e fertilizantes emitidos para os diferentes meios na esfera (água, solo e ar) e ainda, trazendo esta realidade para a cultura do tabaco, sem ter uma referência de emissões na etapa de secagem. A distribuição das emissões pode viabilizar outras estratégias, as quais irão permitir a minimização dos impactos ambientais potenciais, de forma a diluí-los em toda a cadeia de fornecimento.

3.4.3 COLHEITA E CURA

A atividade de colheita precede a cura. Atualmente, ainda é realizada de forma manual, sendo que a remoção das folhas é realizada de baixo para cima, seguindo a natureza de amadurecimento da planta.

As características das folhas verdes de tabaco foram descritas no trabalho de (ZHANG et al., 2018). Os pesquisadores realizaram uma caracterização dos processos encontrados na folha de tabaco com origem dos metabolitos de ordem fisiológica e bioquímica atrelados a fase agrícola, ou seja, no período de desenvolvimento e crescimento da planta. Esta caracterização permitiu avaliar as dinâmicas temporais foliares e analisar o impacto que tais características

realizam na qualidade e no sabor das folhas. Tal estudo foi realizado na província de Guizhou, no sudoeste da China e os resultados obtidos pelos pesquisadores indicam que o ambiente, no qual foi realizado o plantio, tem maior efeito sobre as alterações metabólicas na planta/folha do que as questões genéticas da mesma. Constata-se que nenhum estudo como este foi encontrado na literatura aplicado à região de plantio de tabaco no Brasil. A cromatografia gasosa com espectrometria de massa foi utilizada como técnica analítica para investigar a influência das fases de crescimento e as posições foliares nas folhas de tabaco em relação aos metabolitos. A identificação de tais características revelou a presença de aminoácidos, açúcares e polióis, ácidos orgânicos e graxos, e outros metabolitos secundários, como a nicotina, a-4,8,13-duvatrieno-1,3-diol, ácido quínico e ácido clorogénico. Este resultado demonstrou que tais compostos podem ser emitidos durante a cura das folhas de tabaco, e podem ser associados com impactos ambientais potenciais. A concentração desses compostos varia de acordo com a posição nas folhas.

A cura é uma das etapas mais importantes na produção do tabaco. Nesta etapa ocorre a formação das características relacionadas a sabor e aroma do tabaco. Estas características são o resultado das transformações químicas de uma série de compostos químicos formados na folha, responsáveis pelas propriedades requeridas, principalmente, para sua aplicação no tabagismo. Poucos estudos sobre a caracterização da folha de tabaco verde foram encontrados na literatura e nenhum estudo sobre as emissões nesta etapa de produção foi obtido. Outra característica desta etapa é a remoção de umidade. Este fator pode resultar no crescimento de bactérias, que promovem a degradação dos compostos orgânicos presentes, de forma a promover a putrefação da matéria-prima. Dentre os objetivos que a cura possui, a remoção da umidade é uma das mais importantes, devendo atingir 17%.

A cura do tabaco pode ser realizada de forma natural e/ou artificial e é considerada um dos métodos mais antigos para a armazenagem de folhas. Os métodos naturais partem do momento no qual a folha cai (devido à estação do ano) ou quando folhas mortas são coletadas e são espalhadas em um local para secagem natural, preferencialmente em um local com baixa umidade. Tais métodos de secagem naturais ainda é usado em áreas rurais da Índia. Outros métodos de secagem artificial, baseados na convecção de calor, têm sido empregados para secar grandes quantidades de tabaco, a um ritmo mais rápido com qualidade aceitável.

Para Dasgupta et al. (1991), a cura do tabaco do tipo Virginia, variedade mais cultivada no mundo, é realizada com a utilização intensiva de energia. Um dos insumos necessários para a realização desta etapa consiste no uso de lenha. A queima deste insumo resulta em emissões

locais de GEE, o que incluem o CO₂, N₂O e CH₄. O uso de lenha derivada do reflorestamento implica na neutralidade das emissões de CO₂. Porém, a queima incompleta desse insumo também é responsável pela emissão de GEE.

As estufas de cura do tabaco possuem uma área de aproximadamente 25 m², são construídas com tijolos e não possuem isolamento térmico. Dentro da estufa é construído um forno, onde a lenha é queimada e o calor é distribuído na estufa por tubos metálicos, localizados no chão da estufa e conectados a uma chaminé (GEIST, 1999). Para favorecer uma boa cura, a estufa deve ter um sistema de aquecimento e de ventilação muito eficiente, tanto de entrada de ar (admissão) quanto de saída de ar (exaustão). Um modelo da estufa usada na secagem do tabaco pode ser visualizado na Figura 5.

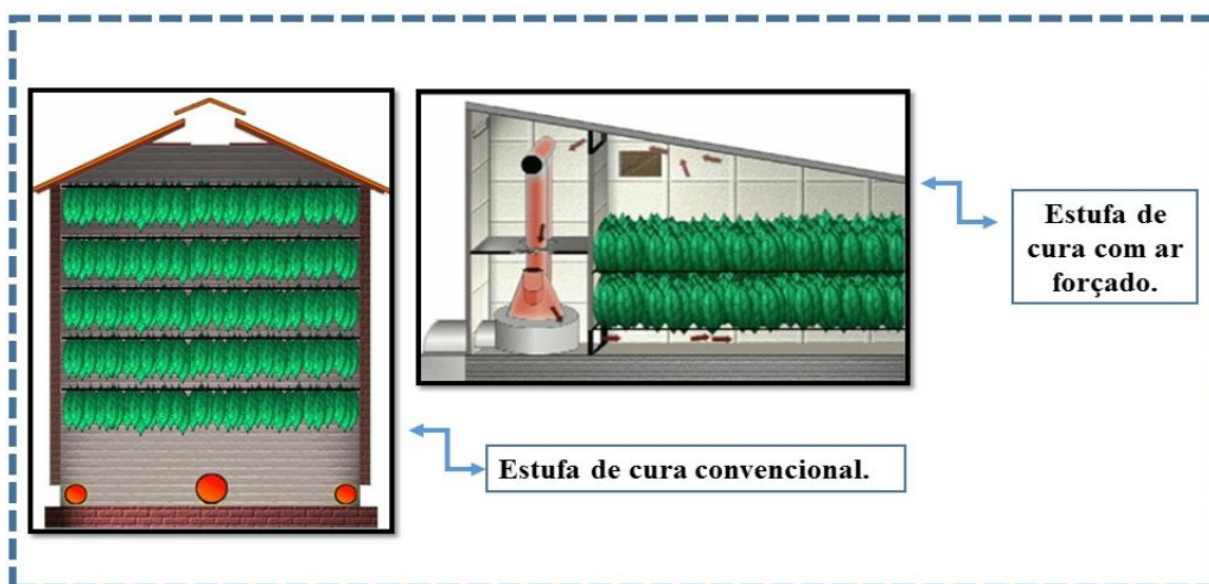


Figura 5: Modelo de uma estufa de cura de tabaco utilizando a operação de ar forçado.

Fonte: Souza Cruz, 2009.

A cura do tabaco envolve três fatores ambientais, sendo eles: temperatura do ar, umidade do ar ou umidade relativa do ar e movimento do ar. A seleção dos parâmetros para a secagem de folhas é baseada nas condições climáticas locais: temperatura do ar, umidade relativa do ar, tempo de secagem, tamanho, forma e idade das folhas. Segundo Collins e Hawks Jr (1993) a cura das folhas promove um processo biológico e de secagem, de forma concomitante. Para esses autores, a folha do tabaco madura contém entre 80 a 90% de água e 10 a 20% de sólidos. Por sua vez, em torno de 25% destes sólidos contidos nas folhas são hidratos de carbono. Os 75% restantes são inúmeros compostos bioquímicos, pigmentos, minerais, tecidos celulares etc.

Na primeira fase da secagem acontece o amarelamento/amarelecimento. A segunda fase é caracterizada como o desenvolvimento da cor. Na terceira tem-se o a secagem das veias e dos

tecidos e na quarta fase a secagem das veias centrais. As duas variáveis controladas no processo são temperatura e umidade relativa (DASGUPTA et al., 1991). Na fase de amarelamento/amarelecimento, as folhas devem ser mantidas vivas até que determinados processos biológicos ocorram. As trocas gasosas ocorrem através dos estômatos (oxigênio, dióxido de carbono) e água. A etapa do amarelecimento/amarelamento ocorre quando a clorofila se transforma ou é destruída. Também nesta fase acontece a hidrólise dos hidratos de carbono em glucose. Através da respiração, parte da glucose é transformada em frutose. Parte destes açúcares são oxidados e liberam dióxido de carbono, o qual é emitido pelos estômatos. A conversão dos hidratos de carbono em açúcares ocorre de forma simultânea com a degradação da clorofila. Outra transformação física desta fase é a perda de água, sendo que em condições normais, aproximadamente 20 a 30% de água deve ser removida da folha nesta fase (COLLINS e HAWKS Jr., 1993).

A fase de secagem da folha é responsável pela oxidação de polifenóis, caso haja erro de sequenciamento em relação a diferença entre temperatura e umidade na estufa. A cura do talo é caracterizada como a morte da folha. Durante esta fase, ocorre uma pequena perda de compostos voláteis (COLLINS e HAWKS JR, 1993).

Hussain et al., (2017) retratam o processo de cura de tabaco como tendo duas fases. Na primeira, caracterizada de coloração, o calor é aplicado nas estufas com o intuito de provocar mudanças enzimáticas e químicas e ainda, para fixar a cor da folha de tabaco. Este processo é realizado com uma temperatura de aproximadamente 35°C e 85% de umidade relativa em um período que varia entre 36 – 72 horas (SIDDIQUI e RAJABU, 1996). A segunda fase é a desidratação. Esta fase utiliza uma temperatura em torno de 65°C, com uma redução do teor de umidade e termina quando o caule da folha de tabaco se apresenta no estado seco. Estes pesquisadores se referem ao processo de cura como sendo crucial às características do tabaco, em relação ao sabor e ao aroma dele. Uma estufa de tabaco demora cerca de uma semana para curar e utiliza em torno de 1000 kg de lenha, variando de acordo com as condições climáticas, poder calorífico da madeira utilizada e quantidade de folhas carregadas na estufa.

Uma vez que, não foi encontrado um modelo padronizado para as estufas de secagem, algumas adaptações são feitas pelos agricultores. Os sistemas de ar forçado, por exemplo, podem aumentar a capacidade de extração de água e, portanto, de carga de cada estufa.

Pesquisas realizadas avaliando as emissões atmosféricas de sistemas produtivos são importantes nos estudos de impactos ambientais. A poluição do ar é um problema mundial e embora no Brasil tenha uma legislação (CONAMA nº 491/2018 e Padrões Nacionais de

Qualidade do Ar através da resolução nº 03 de 28/06/1990 (FEPAM) uma abordagem no que se refere as emissões, suas causas e efeito deve ser realizada de forma abrangente. Todo esse conceito não é aplicado às estufas convencionais de secagem de tabaco, visto que não foi encontrado um modelo padronizado delas.

Nas estufas, além da chaminé para emissão dos gases de combustão, há outro dispositivo de saída de umidade e/ou gases, derivados da cura da folha verde de tabaco. Para tanto, nenhum dado de emissões com origem neste local foi encontrado na literatura. Dessa forma, a falta de dados inventariados desta etapa é um grande obstáculo para a prática de ACV direcionado à cadeia produtiva de tabaco.

Tem-se que o uso da abordagem de ACV ainda possui muitos desafios. Um deles se apresenta como a modelagem das operações unitárias dos sistemas produtivos avaliados, no que tange as cadeias de causa e efeito. Tais configurações, ao serem estabelecidas, devem representar, de forma clara, as características da região onde está inserida e, para o tabaco ainda não foi possível completar as lacunas. Para tanto, a regionalização dos dados é a consideração da influência do local ou região e de condições específica, atuando em consonância com a sensibilidade dos ecossistemas locais e obtendo uma maior precisão nos resultados da ACV (PAVAN e OMETTO, 2016; CURRAN, 2013).

Os estudos de Gultureanu e Gultureanu (1996), caracterizaram as emissões atmosféricas como a presença de um ou mais gases contaminantes e materiais particulados, os quais possuem características e propriedades que podem causar danos à vida humana, fauna e flora, tanto aos seres humanos como a fauna e a flora. Estes pesquisadores avaliaram que os danos referentes a poluição do ar estão atrelados com aspectos geográficos, demográficos e socioeconômicos, conforme a região. Estes fatores irão determinar a fonte e a taxa de emissões de um poluente. O clima e a topografia da região irão influenciar a distribuição e os processos atmosféricos de um poluente e seus efeitos no ambiente e na saúde humana. Sendo o tabaco a principal cultura estabelecida na região, estudos sobre a sua contribuição ambiental são necessários, uma vez que ele está pulverizado dentro de diferentes ecossistemas da região sul do Brasil.

A identificação referente as principais emissões de uma cadeia de produção permitem a construção de propostas coesas de mitigação e aumento do desempenho ambiental de produção, principalmente de bens primários. O discernimento referente a origem das emissões é a principal chave para realização de estudos. Hussain et al., (2014) e (2017), assim como Boettcher (2018) diagnosticaram que as principais emissões do processo de plantio do tabaco

possuem origem no uso de fertilizantes nitrogenados e no uso da lenha para a etapa de cura. No estudo apresentado por Hussain et al., (2014) foi avaliada a emissão GEE na cadeia de produção de cigarro no Paquistão abordando desde a produção do tabaco, o que incluiu o cultivo, passando pela fabricação dos cigarros, a distribuição do produto e o uso final pelos consumidores. Foram mensuradas as emissões de CO₂, N₂O e CH₄, entre os anos de 2009 a 2011.

Os resultados desta pesquisa mostraram que as emissões oriundas da queima de lenha para a safra do país 2014/2015 foi de 160,245; 705 e 4,74 toneladas de CO₂-eq, CH₄ e N₂O respectivamente, os quais correspondem a um potencial de aquecimento global, para um horizonte temporal de 100 anos, de 176,465 tCO₂eq.

Por sua vez, Qin et al., (2018) abordaram a utilização da queima do caule do tabaco em um estudo de ACV. O estudo buscou avaliar o desempenho ambiental de diferentes métodos de queima apresentados no formato de cenários. No cenário onde a queima do talo ao ar livre foi simulada os principais poluentes foram considerados. Entretanto, os autores destacam que não há dados sobre a queima do caule de tabaco ao ar livre, tais as avaliações de ACV foram realizadas com dados da literatura referentes as emissões de queima do caule de milho. O mesmo protocolo foi utilizado no cenário aplicado a queima em fornos convencionais, com 10% de eficiência energética. As emissões analisadas no estudo consideraram os dados referentes a SO₂, NO_x, PM, VOC, NH₃, CO, CO₂, CH₄ e Hg. Neste estudo o *software* GaBi foi utilizado e os resultados foram calculados utilizando o método TRACI com avaliação de ponto médio, com 11 categorias de impacto avaliadas.

De acordo com Hussain et al. (2017) outro aspecto caracterizado nos indicadores de impacto ambiental e como uma fonte de emissões atmosféricas da etapa de cura do tabaco corresponde ao corte das árvores, uma vez que elas não são repostas por meio de reflorestamentos no Paquistão.

4. METODOLOGIA

4.1 FRAMEWORK DA PESQUISA

O presente estudo está dividido em 3 artigos, inseridos na íntegra nos itens 5, 6 e 7 do presente documento. Os artigos 1 e 2 já estão publicados. A contextualização da produção agrícola brasileira de tabaco foi realizada por uma revisão bibliográfica sistemática da literatura, com início em junho de 2016, onde foram consultadas as bases de dados *scopus* e *web of science*, com os termos pesquisados descritos no Quadro 3.

Quadro 3: Termos utilizados para revisão sistêmica da literatura.

TERMO1		Termo 2	Base de dados	Nº de artigos	ANO
“Life cycle assessment”	AND	“Nicotiana Tabacum”	Web of Science	2	1945-2019
“Life cycle assessment”	AND	“Tobacco”	Web of Science	15	1945-2019
“Life cycle assessment”	AND	“Tobacco”	Scopus	20	2010-2019

Com os resultados encontrados na primeira etapa da pesquisa uma pesquisa exploratória foi aplicada. O critério utilizado para seleção dos artigos correspondeu aos estudos que realizaram uma avaliação de ciclo de vida e incluíram a produção agrícola de tabaco, assim, os artigos identificados na literatura com relevância a presente pesquisa são demonstrados no Quadro 4.

Na Figura 6 é exposto o framework da pesquisa e como ela foi conduzida pelo grupo de pesquisas da Universidade de Santa Cruz do Sul. Ressalta-se que nenhum trabalho brasileiro foi encontrado na revisão bibliográfica que havia divulgado os impactos ambientais da produção agrícola do tabaco brasileiro e suas consequências, tanto para o meio ambiente como para os agricultores, expostos as intempéries diariamente ao cultivo da planta. Por ser ainda um trabalho manual, o tabaco brasileiro é mundialmente valorizado por sua qualidade, assim sendo, zelar pela preservação do ambiente local e pela saúde dos agricultores responsáveis pelo cultivo se torna fundamental.

Tabela 4: Artigos selecionados pela revisão exploratória da literatura.

TÍTULO	ESTUDOS UTILIZANDO A ABORDAGEM DE ACV	REVISTA
Greenhouse gas emissions from production chain of a cigarette manufacturing industry in Pakistan	HUSSAIN, M. et al. 2014	Environmental Research
Hazardous pollutants emissions and environmental impacts from fuelwood burned and synthetic fertilizers applied by tobacco growers in Pakistan	HUSSAIN, M. et al. 2017	Environmental Technology & Innovation
Cigarette Smoking: An Assessment of Tobacco's Global Environmental Footprint Across Its Entire Supply Chain	Zafeiridou, M. et al. 2018	Environ. Sci. Technol

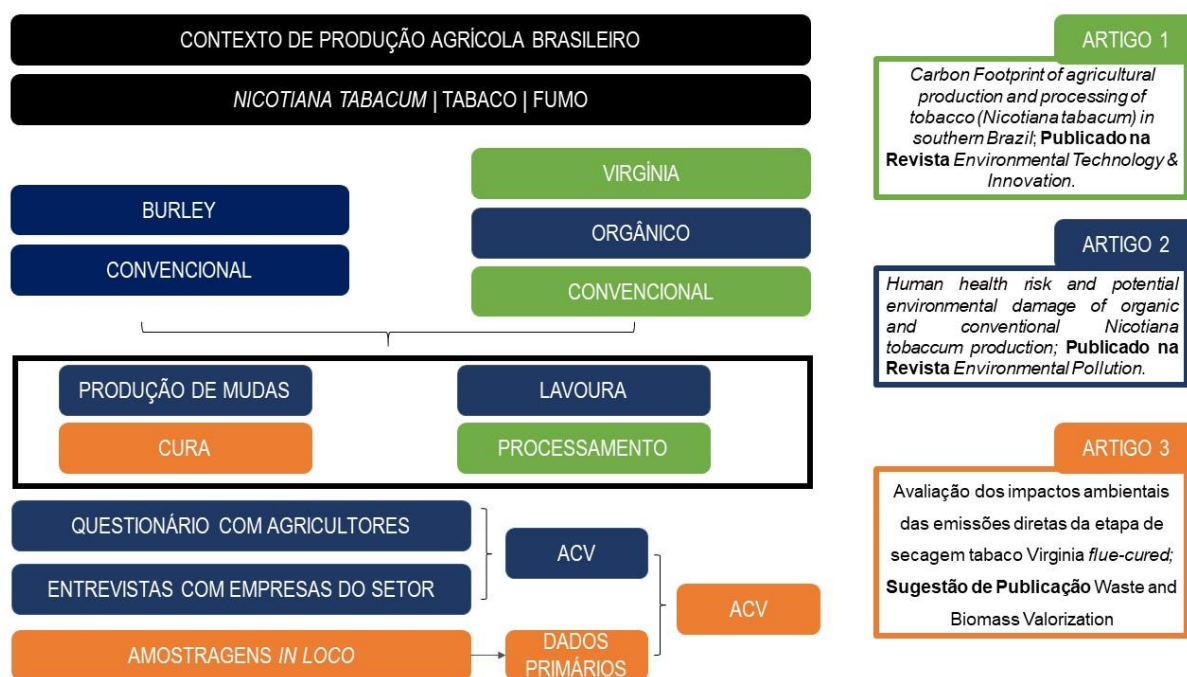


Figura 6: Framework da pesquisa.

5. ARTIGO 1 - CARBON FOOTPRINT OF AGRICULTURAL PRODUCTION AND PROCESSING OF TOBACCO (*NICOTIANA TABACUM*) IN SOUTHERN BRAZIL

Environmental Technology & Innovation 18 (2020) 100625



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Environmental Technology & Innovation

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eti



Carbon Footprint of agricultural production and processing of tobacco (*Nicotiana tabacum*) in southern Brazil

Ricardo Boettcher, Ana Letícia Zappe, Priscila Fernandes de Oliveira,
Ênio Leandro Machado, Adriane de Assis Lawisch-Rodriguez,
Diosnel Antonio Rodriguez-Lopez*

Postgraduate Program in Environmental Technology (PPGTA), University of Santa Cruz do Sul, Av. Independência 2293, Santa Cruz do Sul, RS, CEP 96815-900, Brazil

Article history:

Received 24 May 2019

Received in revised form 22
November 2019

Accepted 10 January 2020

Available online 13 January
2020

Keywords:

Carbon Footprint

One of the main agricultural crops in Brazil is the tobacco (*Nicotiana tabacum*) production, currently the second largest producer of this commodity of the world. Its production extends across the three southern states of the country and accounts for important interactions with the environment. Thus, the study of the relationship between tobacco cultivation and the environment should be evaluated in order to reduce its impacts. This study uses a life cycle assessment (LCA) to evaluate the Carbon Footprint (CF) of Virginia (VA) and Burley (BU) tobacco

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – Doutorado

Tobacco production varieties produced in southern Brazil, using the dataset of 14,409 tobacco farmers. The Life cycle assessment LCA results showed that the use of nitrogen fertilizer in the crop stages of both the tobacco varieties is the main contributor to greenhouse gas (GHG) emissions. The CF was 1398.5 kg CO₂-eq/ton of dry VA tobacco, compared to the 1829.7 kg CO₂-eq/ton of dry BU tobacco. The seedling and industrial processing stages of both tobacco varieties account for less than 13% of the overall CF.

© 2020 Elsevier B.V. All rights reserved.

Introduction

Because of the increasing interest and importance in the global challenge to reduce emissions that cause climate change, Carbon Footprint (CF) has become present in the current political and corporate agendas, with ramifications in the international trade relations of goods and services. CF assesses the total balance of emissions and sinks of Greenhouse Gases (GHG) from a product, service or system across its life cycle (Rotz et al., 2010). CF accounts for all inputs and processes within a defined system boundary. The quantification of CF can be considered as an approach to address the potential impact of the production sector on climate change (Yang et al., 2015). In recent years, the agricultural production systems have been increasing attention because of its global warming potential (Garnett, 2012; Yan et al., 2015). As a result of population growth and with the purpose of meeting the demands for goods and services, it has become essential to adapt the production models. The challenge is to increase the agricultural production by reducing the use of resources, both economic and environmental, and minimizing the environmental impacts of agricultural production systems (Soussana, 2014).

In this way, the growing concern about the environmental impacts generated in the agricultural production systems has been inducing the development of new approaches that aim to support the understanding, control or reduction of the important environmental impacts (Chehebe, 1997). Some studies conducted by the researchers (Garnett, 2012; Soussana, 2014) indicated

the need to increase research efforts to understand the environmental interactions among the activities of agricultural systems that are partially understood.

Consistent with a previous study (Zhang et al., 2018), tobacco (*Nicotiana tabacum L.*), a dicotyledonous *Solanaceae* plant, is considered an important industrial crop and is the primary raw material of tobacco commodities. In Brazil, tobacco has historical, socioeconomic relevance in the three states of the southern region of Brazil: Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) and Paraná (PR) where two varieties of tobacco, Virginia (VA) and Burley (BU), represent 99% of the total tobacco production volume of the region, with VA being 85% and BU with 14% of the volume of production, respectively (Sinditabaco, 2018). In 2018, 702 thousand tonnes of dried tobacco were produced. From this production, 80% were exported, generating R\$ 6.09 billion in revenues for tobacco producers and US\$ 2.09 billion in foreign exchange (Sinditabaco, 2018). Tobacco farming in Brazil is based on small farms, established in family units, with an average area of 15.3 hectares, with intensive use of labor and agricultural inputs, which are important in optimizing productivity and product quality (Afubra, 2018). In the crop of 2017/2018, the area planted in the Southern Region of Brazil was 285,848 hectares. The participation in the competitive international market demands compliance with the complex legislation and requirements in terms of quantity, intrinsic and extrinsic characteristics of the product. According to a previous study (Buainain et al., 2009), the level of demand, monitoring and sanctions in relation to tobacco is increasing, both in the domestic and in the international market, and a significant part of the effort of the companies turns precisely compliant with these requirements.

The growing importance and the urgent need to mitigate the emissions of gases that contribute to the climate change is creating a new scenario in the international business of goods and services (Tubiello et al., 2015). The concern of the environmental dimension, associated with the sustainability of the tobacco production chain, arouses great interest in part of the local productive agents and the international clients that import and consume Brazilian tobacco. The increased emissions of GHG over the last few decades have been decisive in triggering the climate change, resulting in the ecological and economic threats. According to Herring et al. (2016), extreme weather events, which occur more regularly, are indicative of imbalances in natural systems because of the global warming. As stated by the same authors, it is not enough to have regulations made by governments to control the emissions of these anthropogenic gases. It is necessary that the process agents understand the impacts of GHG and how these emissions can be reduced. Based on this background and following the statement that only the measurable

is manageable, scientists, governments and entrepreneurs have been working for years on developing the approaches to measure the GHG impacts with the ambition to obtain an omnipresent indicator that is understood by all. Taking into consideration the interrelationship between the international business and environmental safety issues, the implementation of standards, such as the CF of goods, has become necessary. Thus, the accurate determination of CF is the initial step of a more complex process of managing an organization's environmental and economic performance (Pandey et al., 2011; Virtanen et al., 2011). According to the US Environmental Protection Agency (EPA, 2006), CF represents the total amount of greenhouse gases that are released into the atmosphere annually by a person, family, building, organization or company. CF also includes greenhouse gases from the production of goods or services that the person uses, including emissions from power plants that produce electricity, factories that make products and landfills where the garbage is sent.

The agricultural sector is a major contributor and responsible for a significant portion of GHG emissions. According to a recent study (Adewale et al., 2018), agriculture is responsible for 10 to 15% of the total anthropogenic GHG emissions and for 48% of global non-CO₂ anthropogenic GHG emissions. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007), agriculture emits approximately 22% of the total carbon dioxide (CO₂), 80% of nitrous oxide (N₂O) and 55% of methane (CH₄), from human activities. According to the same study, emissions from the rural properties are related to the application of nitrogen fertilizers, soil management with changes in carbon stocks, use of agricultural machinery that burns fossil fuels, burning of plant residues (including firewood) and management of animals. Other emissions are because of the production of agricultural inputs (Brentrup et al., 2003; Nemecek et al., 2015), like fertilizer (Hussain et al., 2017), packaging, electrical energy, and irrigation material. All these emissions, coming from both the field and the agricultural supply chain, are counted in a (Hillier et al., 2009) study of CF of agricultural products (Adewale et al., 2018).

The application of the life cycle assessment (LCA) approach to agriculture is relatively recent and complex, but it stands out because of the need for comprehensiveness and reliability in the analysis of the production system with an environmental focus. The agricultural crops of economic importance and export-oriented, such as soybean, sugar cane and cashew, have studies of LCA (Mantelatto et al., 2015; Brito De Figueirêdo et al., 2016). Using the LCA methodology, (Hillier et al., 2009) quantified the CFs of major staple crops under different farming systems in the UK, identifying N fertilizer as the main source of crop production. According to some previous studies (Brentrup et al., 2004; Kumar et al., 2014) LCA is an

appropriate approach for investigating environmental impacts of products. The LCA assesses the environmental impacts associated with a product or service by compiling an inventory of the relevant environmental exchanges throughout its life cycle, assessing the potential environmental impacts associated with such exchanges (Wiedmann and Minx, 2007).

Hussain et al. (2017) published the results of LCA studies, considering the production conditions in Pakistan. In another study, (Zafeiridou et al., 2018) presented the CF of tobacco global supply chain. Because of lack of field information about tobacco cultivation, most articles used data obtained from a range of secondary sources, and also material flow for cultivation and processing were equated to those of other tillage products. The tobacco production has specific characteristics associated with GHG emissions. To understand its contributions to the GHG production, it must be taken into account what occurs in the rural properties, related to the set of productive processes, such as the consumption of firewood in curing and drying tobacco (Hussain et al., 2017; Vicente et al., 2015), application of fertilizers (Karaivazoglou et al., 2007), soil management and use of machinery that burn fossil fuels (Buainain et al., 2009).

Considering the interest in the environmental performance of products, and in view of the economic and social importance of the tobacco production chain in southern Brazil, surprisingly, there has not been a consistent comparative study to understand the local or regional environmental impacts. Thus, the objective of this work was to measure CF in the agricultural production by using primary farm survey data and the industrial processing stages of tobacco varieties VA and BU grown in southern Brazil, to fill a gap in the environmental performance of this agricultural commodity. Secondly, the aim was to characterize the contribution of each production stage in the farming practices and the processing stage of drying the tobacco. Finally, this work seeks to contribute with primary data on tobacco production, so that the impacts of this culture on the environment and on human health can be better evaluated.

Materials and methods

According to several studies (Adewale et al., 2018; Rotz et al., 2010), the CF is a measure of the total amount of carbon dioxide emissions that is directly or indirectly caused by a product, service or accumulated during the life cycle of the product. This study used the input–output method for the calculation of CF and provides a complete picture of all production activities, covering a cradle-to-gate approach.

This work was based on ISO 14040 (ISO, 2006) using an attributional LCA, once this approach describes the impacts and resource flows on a system assigned to a functional unit. According to ISO 14040, LCA is divided into four stages, namely: definition of the objective and scope, inventory analysis, assessment of the impact of the life cycle and the interpretation of results.

Objective and scope

The functional unit used in this work respects to 1 tonne of dry tobacco packaged after industrial processing. The premise adopted emphasizes that 6600 kg of green tobacco is required to produce 1120 kg of cured tobacco, with 17% humidity. The mass of cured tobacco after industrial processing is converted to 1 tonne of dry tobacco packaged. In total, 120 kg are accounted for the loss of moisture and debris (dust and impurities) of no commercial value.

The scope of this study covered the tobacco production relating to 14,409 rural producers, represented by 12,622 of VA and 1787 of BU, with a total of 31,841 hectares of agricultural production, which is equivalent to 10% of the total area used for the cultivation of tobacco in the southern region of Brazil. In addition to the main stages of production, some secondary stages were also considered, such as sending the agricultural inputs to the producer, transportation for marketing of production, industrial processing and packaging. Technical assistance provided to the producers is also included in the scope of the work. The period of this study involved a full year time scale, which is the period necessary to complete the productive cycle of 2016/2017 crop, including the rural producers of the major tobacco-producing regions in the States of Rio Grande do Sul (RS), Santa Catarina (SC) and Paraná (PR). The LCI dataset used in this study is showed in Fig. 1

System processes and boundaries

The data obtained during the life cycle inventory were subsequently compared to data from the other four crops periods. Thus, the data used covered the lifting of five years and were obtained through interviews with key actors and producers. The data are part of a company's control sheets in southern Brazil. This work was structured to measure the CF of tobacco production by quantifying the GHG emissions derived from the agricultural inputs and farm management, which includes the production of seedlings, cropping, green tobacco curing, up to the industrial processing of dry tobacco. The production and consumption of cigarettes were not considered.

Seedling production

The production of the two tobacco varieties (VA and BU) follows the similar agronomic management at the stages of seedling production and cropping. The production of seedlings occurs between the months of May to August in seed beds that uses the float system. In the first phase, tobacco seeds are distributed to the cells of trays, filled with a specific substrate. The trays are arranged in pools with 10 cm water blade, covered with polypropylene plastic. The seedbeds, a structure like a greenhouse, are made with steel arches and plastic wrap, which provides conditions for the development of the seedlings and protection against the weather. In the second stage, the seedlings get fertilization and sanitary treatment with fungicides and insecticides. In the third phase, the seedlings are pruned and planted out, which occurs between 50 to 65 days after sowing. The cycle of the plastics used in the pool lasts for two years, whereas metal arches and Styrofoam trays lasts for 8 years. The primary data on tobacco seedling is in Fig. 1.

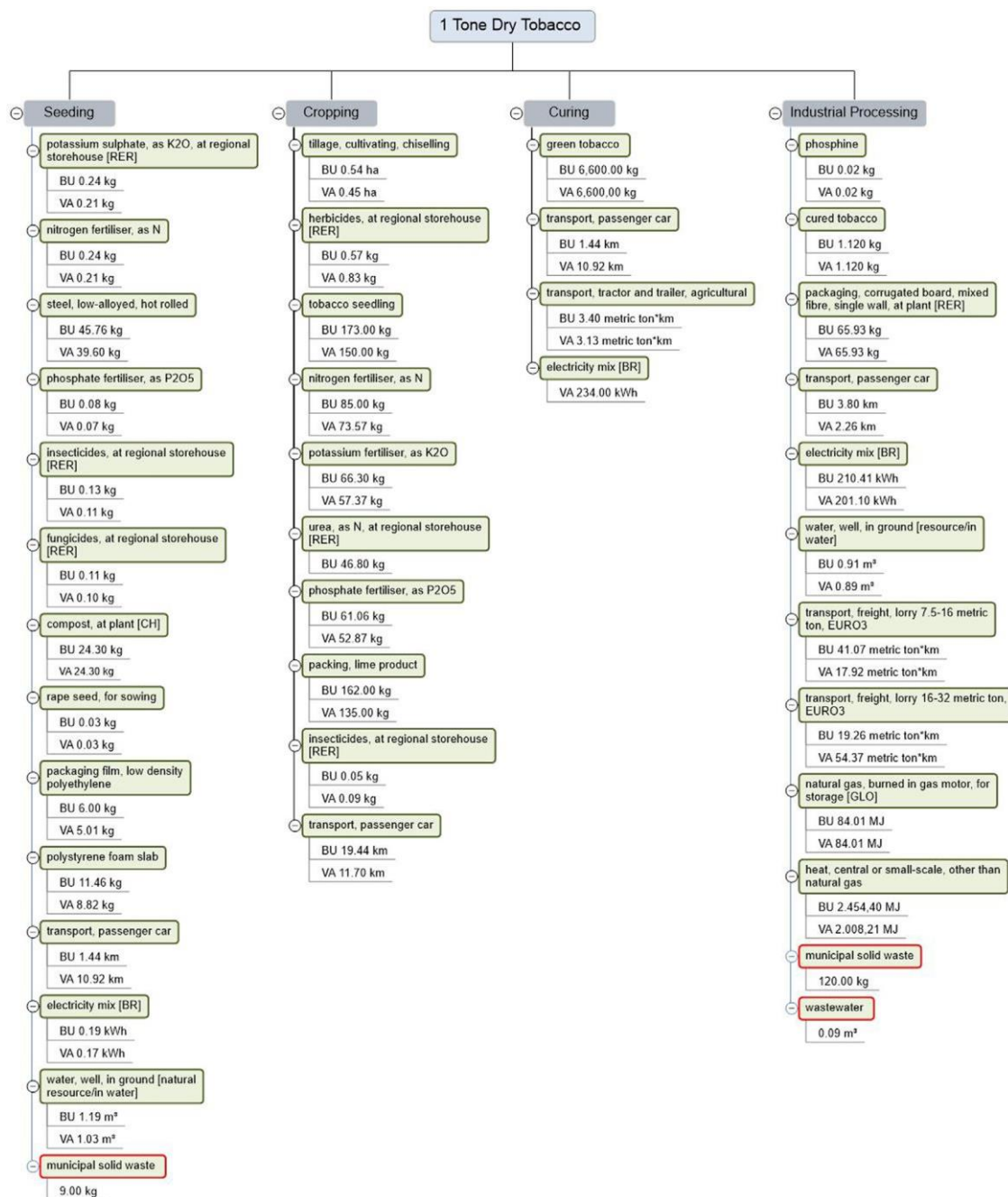


Fig. 1. Life cycle inventory of both Virginia and Burley tobacco varieties.

Planting, cropping and harvesting

The tobacco seedling transplantation is done manually, between the months of July and August. The fertilization is applied in two steps with nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K). The first stage is called the basic fertilization, which occurs before the seedling transplantation and uses mineral fertilizer formulations with the three main macro elements (N, P and K). The second stage is called side dress fertilization and occurs after the transplant. The cover uses fertilizers with N and K, eliminating the use of P in this step. For tobacco VA, covering

fertilization occurs around 30 days after the transplant. For tobacco BU, fertilization coverage is made in two steps 30 and 60 days after the transplantation with NPK fertilizer and with the application of urea. The dosages of fertilizer differ between the VA and BU tobaccos. BU receives 30% higher in nitrogen fertilizer for acreage compared to VA tobacco. Considering the complexity of the soilfertilizer-plant reactions, this work assumed that 10% of the total N and K and 30% of P applied in the fertilizers remain in the soil after harvest.

Most pesticides used in the production of tobacco are not present in the Ecoinvent[®] database. Therefore, an unspecified dataset for pesticide production was used. This study assumes that tobacco croplands have an average use of more than 20 years. The cultivation of deforested areas has not been considered; and because the size of the cultivated areas has been reduced in the last five years, the areas of other crops converted to tobacco production were not considered either (Afubra, 2018). The contribution of use or transformation of land (soil carbon exchange) on CF was not considered.

The harvesting of VA tobacco is done through the manual removal of mature leaves in 4 to 6 different time periods. The harvest of BU occurs in a single step, with the cutting of the stem with the leaves. Once the green tobacco leaves were picked, they were transported to the curing barn. On average, 3.36 tonnes of harvested green tobacco are transported to 1 km until the curing barn. The primary data on tobacco cropping is in Fig. 1.

Curing

The curing of VA tobacco requires a curing barn, with control of temperature and air relative humidity. The cure of the VA occurs in barns built of clay brick, in a period of 5–7 days, where the drying temperature varies from 35 °C to 65 °C. The drying of BU tobacco lasts between 40–45 days and is held in outdoor barns, without the use of firewood. For the simulation of the curing step, the construction of the curing barn, the maintenance of the equipment and machinery used in agricultural production were not considered. The useful life cycle of the equipment is more than 20 years and the environmental liabilities associated with the end of the life cycle of the materials used were not considered in it.

The energy source used for curing the tobacco type VA is derived from the firewood of *Eucalyptus spp.* (Sinditabaco, 2018). According to Faria (2010), most farmers use eucalyptus biomass from reforestation on their own property for drying. To characterize the biomass, the data published by Faria (2010) were considered, where the moisture content of the wood was 20%, the average density was 375 kg/m³, with 3400 kcal kg⁻¹ of low heating value. For the

simulation of curing and drying, a consumption of 7.2 m³ of firewood, or 2.7 tonnes of wood per tonne of dry tobacco was considered, which is equivalent to the consumption of 39,131 MJ. The farm tobacco yield used in this study was calculated based on the average tobacco production in the last 10 years, obtained from another study (Afubra, 2018). Thus, the productivity of the VA green tobacco was 2600 kg ha⁻¹ and the BU green tobacco was 1850 kg ha⁻¹. This work still considered the transport related to the technical assistance to farmers, and the transport of dry tobacco by lorries from the farms until the purchase of tobacco and tractor use for land preparation. From the purchase point of view, the product is transferred using lorries for industrial processing plants. This work also considered the transportation of the agricultural inputs (fertilizers, pesticides and other materials) through the company's trucks to the rural producers. The primary data on tobacco curing is in Fig. 1.

Processing stage

The processing step was referred as a unitary operation. Thus, the consumption of electric energy corresponds to an average consumption of the last five years and equivalent to 202.95 kWh per one tonne of dry tobacco. The type of electricity used was of high voltage coming from the national interconnected system of the Brazilian energy matrix. The dry tobacco is packaged in boxes of corrugated board, with packaging capacity of 200 kg. The primary data on industrial tobacco processing is in Fig. 1. The industrial processing comprises the physical transformation of raw materials, following the steps of transformation of tobacco leaves in a stripped product with adjusted humidity and proper packaging.

Assessment of the tobacco carbon footprint

The calculations of the CF were done with the software Umberto LCA+ with the Ecoinvent[®] database 3.4, following the LCA methodology. The LCA study used the attributional system, where the analysis and description of the resources, flow and emissions are divided into functional units. To determine the CF, the IPCC 2013 method was used with a horizon of 100 years (IPCC, 2013).

The GHG emissions include both the emission accredited to the production of fertilizer, pesticides and electricity; and emissions from fertilizer application and use of diesel for farm mechanical operations. Here, the results of the impact analyses are converted to a reference unit of the impact category considered. In relation to the impact category global warming potential (GWP), for example, CO₂ is the reference substance and its unit is set to “kg of CO₂-equivalents”. So, all issues, that contribute to this impact category, e.g. N₂O, CO and CH₄ are converted to “kg of CO₂-equivalents” corresponding to their own characterization factor.

Carbon footprint

As regards the initial objective of this work, the results obtained showed that the total CF of the VA and BU varieties, account for 1398.5 and 1829.7 kg CO₂-eq per ton of dry tobacco, respectively. Because the BU variety receives, on average, 30% more nitrogen fertilizer than the VA per cultivated area, its CF is 32% greater than the VA variety. In relation to the total CF of VA and BU, the emission of GHG derived from nitrogen fertilizer application, corresponds to 135 kg CO₂-eq and

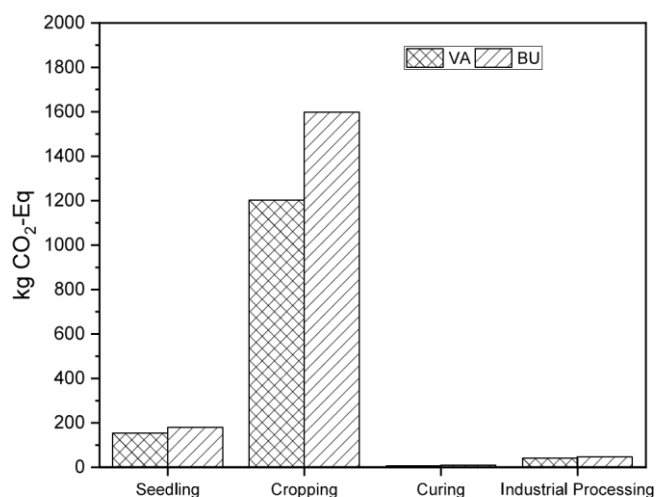


Fig. 2. Carbon Footprint per tobacco variety and production stage.

Table 1: Principal CF contributor in the crop stage for both tobacco varieties.

	Unit	Virginia	Burley
N-Fertilizer	kg CO ₂ -eq	71.7%	66.7%
P-Fertilizer	kg CO ₂ -eq	8.6%	7.5%
K-Fertilizer	kg CO ₂ -eq	3.0%	8.1%
Others	kg CO ₂ -eq	16.8%	17.7%
Total	kg CO ₂ -eq	100%	100%

212 kg CO₂-eq per ton of dry tobacco for the VA and BU varieties, respectively. In this context, the emissions associated with fertilizer application account for 11.23% and 13.27% for the crop stage of VA and BU varieties.

Fig. 2 presents the individual contribution of the four phases of the production process on the CF. The values in Fig. 2 show that the stage of production of seedlings and the tobacco processing have similar values for the two tobacco varieties, because the operations and activities involved in these steps are similar. The contributions of these two stages are < 13%

of the total CF of the two varieties, equivalent to a total CF of 151.9 and 178.35 kg CO₂-eq for VA and BU varieties, respectively.

The data shown in Fig. 2 also illustrate that the crop stage is clearly responsible for most of the GHG emissions for the two tobacco varieties. For VA tobacco, this stage represents 85.92% of its total CF. On the other hand, its contribution reaches 87.30% for the BU tobacco. Table 1 shows the main flows that contribute to the CF of crop stage for both VA and BU production. According to Table 1, the highest contributors of the CF in the crop stage is the N₂O emissions. For BU tobacco, the synthesis of nitrogen compounds contributes to 1008.8 kg CO₂-eq to the total CF of this stage, followed by the production of superphosphate (137.92 kg CO₂-eq) and potassium fertilizer (147.48 kg CO₂-eq). Therefore, GHG emissions from the fertilizer production account for 71% of the total CF in the crop stage of the BU varieties. Correspondingly, the contribution of the fertilizer production to the total CF of the crop stage of VA tobacco is 73.6%.

During the VA production, firewood burning in the curing barn is the cause of considerable emissions of GHG in the atmosphere. However, these emissions are considered neutral carbon once the firewood used in the tobacco curing barn are from sustainable forest.

Overall, the mean GHG emission in the VA curing stage was 5.06 kg CO₂-eq, and 8.10 kg CO₂-eq was emitted from the air-cured BU production. Of the 5.06 kg CO₂-eq emitted during the VA tobacco curing, 92% is derived from the non-biogenic CO₂ sources, as transport for technical assistance, use of agricultural machinery and electricity. The same observation can be made for the BU variety. Specifically, electricity accounts for 1.23 and 1.45 kg CO₂-eq in the curing stages of both VA and BU varieties. As regard the curing stage of the VA tobacco, it consumes 2.7 tons of firewood to produce 1 ton of dry tobacco. Here is important to highlight that the emission of 5.06 kg CO₂-eq in the curing stage of the VA tobacco comes from the fact that firewood of sustainable forest and electricity based on hydropower generation were used in this process. On the other hand, the emission of 8.10 kg CO₂-eq in the curing stage of the BU tobacco stem from fact that this variety is air-cured.

Fig. 3 presents the synthesis of the largest contributory gases used in the calculation of the CF, for the two tobacco varieties. The estimated value of CF varies according to the variety of the tobacco produced. Fig. 3 shows that the total CF of VA contributes 729.08 kg CO₂-eq (52%), calculated from the emission of CO₂ from non-biogenic sources. In addition, 559.56 and 94.58 kg CO₂-eq were emitted in the form of N₂O (40%) and CH₄ (6.76%), respectively. Among the main GHG

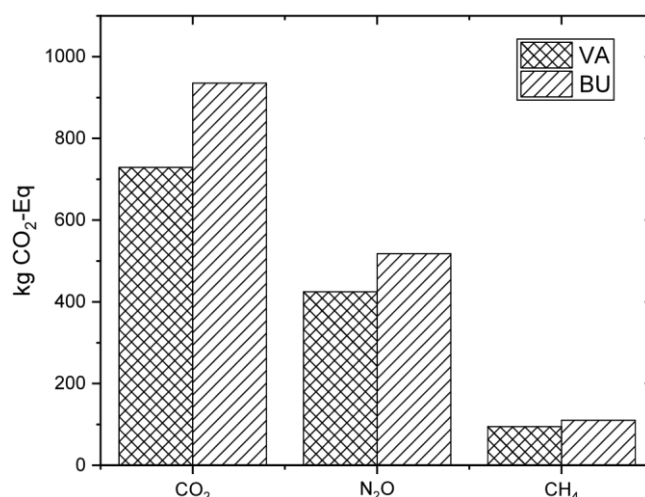


Fig. 3. The comparison of the CF in the production of tobacco varieties (VA and BU) considering the contributions of the main GHG emissions.

emissions, the contribution of VA tobacco on the CF stands out the emission of 135 (24.12%) kg CO₂-eq in the form of N₂O after application of fertilizer. In relation to CF of BU tobacco, 935.53 kg CO₂-eq (51.1%) are related to the emission of non-biogenic CO₂. Other 730 and 110.24 kg CO₂-eq are emitted in the form of N₂O (40%) and CH₄ (6.0%), respectively.

Discussion

The average CFs of the VA and BU varieties corresponds to 1398.5 and 1829.7 kg CO₂-eq, respectively. Considering the production of 702,000 tonnes of tobacco in Brazil in 2018, the average GHG emissions account for 1, 5 t CO₂-eq per dried tobacco tonne, of which 146.6 kg CO₂-eq are related to N₂O direct emission after fertilizer application. In this way, the tobacco production in southern Brazil is related to the total emission of 1053 Mt of CO₂-eq. In this context, the use of nitrous fertilizer accounts for emissions of 103 Mt of CO₂-eq. In the future, this scenario will be responsible for higher GHG emissions as tobacco production is expected to increase by 10% by 2030 (Sinditabaco, 2018).

The total GHG emission of the Brazilian agricultural sector in 2016 reached 415 Mt of CO₂-eq and accounts for 31% of the total CF of Brazil (Brasil, 2017). In this way, the CF of tobacco corresponds to 0.25% of this sector. Compared to other important Brazilian commodities (i.e. soybean and sugar cane), the CF of VA tobacco is 6.3 times higher than soybean (Maciel et al., 2016) and 7.51 times lower than sugar cane. Besides, the comparison of our results with that of Zafeiridou et al. (2018) in Pakistan showed a significant difference. These authors found out that the CF of 1 tonne dry tobacco was equivalent to 7710 kg CO₂-eq, 5,2 times higher than the results of the present study, considering the same stages used in this work. The main differences

are due to secondary data used by those authors, which underlines the importance of LCA studies supported by primary dataset and regional features as developed in our study, and use of unsustainable firewood, derived from deforestation of native forests.

The seedling stage accounts for 11% of the total CF. The production of plastic wrap and iron bows for the structure of the seedbeds make up 80% of this stage CF. On the other hand, the industrial processing of dried tobacco corresponds only to 3% of the total CF of the two varieties. In the work of Zafeiridou et al. (2018), this stage is responsible for 178 kg CO₂-eq per tonne of dried tobacco. This value is 22.4% higher than the results of this work, and derived, among others factors, from the energy matrix considered.

The CF of the agricultural field operations (tillage and cultivation) are 32.2 and 40.9 kg CO₂-eq for VA and BU, respectively. This is because most of the agricultural operations of tobacco farming in south Brazil, such as weeding, fertilizing and harvesting, are still done manually. The use of agricultural machinery is still limited to soil preparation and transportation of the crop to the curing barn. Considering the Brazilian electricity mix, the CF contribution of using electricity was 0.0545 t CO₂-eq/MWh.

As shown in Fig. 2, the crop stage has the greatest contribution to the total CF for both the tobacco varieties. This stage accounts for 86% and 87% of the total CF of both VA and BU tobaccos, respectively. According to Table 1, the major contributors to the CF of this stage are chemical fertilizers production, followed by direct emission of N₂O after fertilizer application. The high GHG emissions caused using nitrogen fertilizer indicates an important trade-off and production challenge in south Brazil, because reducing the use of nitrogen fertilizer could lead to the deterioration of tobacco quality and productivity. This is in accordance with a previous study (Jesus, 2016), where the yield and quality of VA tobacco were affected by nitrogen and potassium fertilization, showing that the limitation of N and K in the soil reduces the yield potential (kg ha⁻¹) and quality of VA tobacco, eventually reducing the level of nicotine. On the other hand, the use of controlled release fertilizers provided tobacco plants with lower productivity and qualitative potential (Jesus, 2016).

The results of Hussain et al. (2017) demonstrated that the GHG emissions from nitrogen fertilizers application accounted for 0.173 kg CO₂-eq per kg of cured tobacco. In this work, the emission of nitrous oxide derived from applied fertilizer accounts for 0.147 kg CO₂-eq per kg of cured tobacco, very similar to the results of those researchers.

In the present study, GHG emissions related to the fertilizer production are about 1.13 kg CO₂-eq per kg of cured tobacco. Many researchers link the fertilization with the important emission

of greenhouse gases (Brentrup et al., 2003). Most of these studies related those emissions to fertilizer production. According to Hasler et al. (2015), 10–12% of all greenhouse gases worldwide are associated with the crop growing. Another study (Skowronska and Filipek, 2014) stated that the manufacture of synthetic fertilizers increases carbon dioxide emissions because of the high energy consumption (fossil fuels, electricity and water depletion) used in the production of ammonia in the reaction of phosphate rocks with sulfuric acid and in the synthesis of urea. In turn, the emission of N_2O is related to the preparation of nitric acid the base of nitrogen fertilizers (Hussain et al., 2017). Thus, the emissions of N_2O and CO_2 dominated the CF of the fertilization of tobacco crops, originating from the indirect emissions of the processes outside the boundaries of the production systems considered. These results demonstrated that the fertilizer manufacturing process is an important dominant source of GHG. Likewise, the application of nitrous fertilizer, responsible for direct emissions of N_2O due to denitrification process in the soil, contributes with a significant portion of this impact. In this work, the direct emission of nitrous oxide accounts for $\pm 10\%$ of the CF in the crop stage for both tobacco varieties. According to Hussain et al. (2017) most nitrous oxides and ammonia are released both during the fertilizer production and in the application stage on the crops.

Considering the curing stage, neither the variety VA nor the BU variety contributed with significant GHG emission. The CF of this stage in the VA production is much lower than those published by Hussain et al. (2017), who demonstrated that burning of wood produced the equivalent of 5.88 kg GHG emissions per kg of VA cured tobacco in the barn, although these researchers considered only the contribution of wood-burning to GHG emissions. Likewise, the difference between the emission values is related to the amount of the firewood used in the curing. The same authors (Hussain et al., 2017) reported a consumption of 3.30 kg of firewood burned per kg of cured tobacco, derived from the deforestation processes. Our data demonstrate that only 2.7 kg of reforested fuelwood (eucalyptus) is burned per kg of cured tobacco. The difference also accounts for the non-renewable fuelwood used in Pakistan for tobacco curing. According to the authors (Hussain et al., 2017), the biomass burning can only be assumed to be carbon neutral if the trees are harvested from sustainable forests. Zafeiridou et al. (2018) published that the curing stage accounted for the emission of 6.89 t CO_2 -eq. This researcher considered the use of coal and wood for curing, while in this work was considered only firewood from sustainable forest.

In relation to the CF of VA tobacco, specifically, for the CO_2 emissions that contribute to this impact, biomass burning in the curing and industrial processing phase was considered neutral

in relation to the GHG emissions, because the CO₂ released in the combustion is equal to the CO₂ absorbed during the vegetal growth of the biomass. According to some researchers (Hussain et al., 2017), the burning of biomass can be assumed to be neutral if the trees were extracted from the sustainable forests. From another study (Pierobon et al., 2015), biogenic carbon is not considered in the LCA studies because of the assumption of carbon neutrality (Calvo et al., 2014; Vicente et al., 2015). A part of the curing stage emissions is related to the use of rudimentary furnaces typically of low thermal efficiency, which in addition to the incomplete burning of biomass requires large amounts of biomass to produce the energy required for curing.

Conclusions

The present work studied the Carbon Footprint of the agricultural production and the industrial processing of the VA and BU tobacco varieties, under the production conditions in southern Brazil, using the life cycle assessment approach. This work underlines the relevance of the use of primary and regional dataset, which allows higher accuracy in the projection of environmental impacts in an LCA analysis. The tobacco production in south Brazil, during the crop of 2017/2018, account for the total emission of 1053 Mt of CO₂-eq, equivalent to 0.25% of the Brazilian agriculture sector. According to this work, 86% of the total CF of VA tobacco is derived from the GHG emissions in the crop stage. Meanwhile, 87% of the total CF of BU tobacco is allocated only in the crop stage.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgment

We would like to thank the “Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior” (CAPES-BRAZIL) for the assignment of the second and third author masters and doctoral scholarships.

References

- Adewale, C., Reganold, J.P., Higgins, S., Evans, R.D.D., Carpenter-Boggs, L., 2018. Improving carbon footprinting of agricultural systems: Boundaries, tiers, and organic farming. *Environ. Impact Assess. Rev.* 71, 41–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2018.04.004>.
- Afubra, 2018. Panorama da fumicultura no sul do Brasil, (WWW Document). URL www.afubra.com.br.
- Brasil (MCTIT), 2017. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, (WWW Document). URL http://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2018/10/11/Estimativas_4ed.pdf. (Accessed 22 May 19).
- Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., Lammel, J., 2003. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology. *Eur. J. Agron.* 20, 247–264. [http://dx.doi.org/10.1016/s1161-0301\(03\)00024-8](http://dx.doi.org/10.1016/s1161-0301(03)00024-8).
- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., Kuhlmann, H., 2004. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *Eur. J. Agron.* 20, 265–279. [http://dx.doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00039-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00039-X).
- Brito De Figueirêdo, M.C., Potting, J., Lopes Serrano, L.A., Bezerra, M.A., Da Silva Barros, V., Gondim, R.S., Nemecek, T., 2016. Environmental assessment of tropical perennial crops: The case of the Brazilian cashew. *J. Cleaner Prod.* 112, 131–140. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.134>.
- Buainain, A.M., Calixto, L.L., De Souza Filho, H.M., 2009. *Organização E Funcionamento Do Mercado de Tabaco No Sul Do Brasil: Agricultura, Instituições E Desenvolvimento Sustentável*. Unicamp.
- Calvo, A.I., Tarelho, L.A.C., Alves, C.A., Duarte, M., Nunes, T., 2014. Characterization of operating conditions of two residential wood combustion appliances. *Fuel Process. Technol.* 126, 222–232. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.05.001>.
- Chehebe, J.R.B., 1997. *Análise de Ciclo de Vida de Produtos–Ferramenta Gerencial Da ISO 14000*. Qualitymark, Rio de Janeiro.
- EPA, 2006. *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. Vasa, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.03.022>.

- Faria, J.A., 2010. *Atividade Florestal No Contexto Da Fumicultura: Oportunidade de Desenvolvimento Regional, Diversificação, Geração de Emprego E Renda*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria.
- Garnett, T., 2012. Three perspectives on sustainable food security: efficiency, demand restraint, food system transformation. What role for LCA? In: 8th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector 73, pp. 15–25.
- Hasler, K., Bröring, S., Omta, S.W.F., Olf, H.W., 2015. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. *Eur. J. Agron.* 69, 41–51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001>.
- Herring, S.C., Hoerling, M.P., Kossin, J.P., Peterson, T.C., Stott, P.A., 2016. Explaining extreme events of 2014 from a climate perspective. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 96, S1–S172. <http://dx.doi.org/10.1175/bams-explainingextremeevents2014.1>.
- Hillier, J., Hawes, C., Squire, G., Hilton, A., Wale, S., Smith, P., 2009. The carbon footprints of food crop production. *Int. J. Agric. Sustain.* 7, 107–118. <http://dx.doi.org/10.3763/ijas.2009.0419>.
- Hussain, M., Malik, R.N., Taylor, A., Puettmann, M., 2017. Hazardous pollutants emissions and environmental impacts from fuelwood burned and synthetic fertilizers applied by tobacco growers in Pakistan. *Environ. Technol. Innov.* 7, 169–181. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eti.2017.02.003>.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. Energy & Environment. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- ISO, 2006. *Environmental Management: Life Cycle Assessment; Principles and Framework*. ISO.
- Jesus, J., 2016. *Yield and Quality of Virginia Tobacco Affected By Nitrogen and Potassium Fertilization* (M.Sc. thesis). PPGCS - UESC.
- Karaivazoglou, N.A., Tsotsolis, N.C., Tsadilas, C.D., 2007. Influence of liming and form of nitrogen fertilizer on nutrient uptake, growth, yield, and quality of virginia (flue-cured) tobacco. *Field Crops Res.* 100, 52–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2006.05.006>.
- Kumar, A., Jain, V., Kumar, S., 2014. A comprehensive environment friendly approach for supplier selection. *Omega* 42, 109–123. <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2013.04.003>, (United Kingdom).

- Maciel, V.G., Zortea, R.B., Grillo, I.B., Lie Ugaya, C.M., Einloft, S., Seferin, M., 2016. Greenhouse gases assessment of soybean cultivation steps in southern Brazil. *J. Cleaner Prod.* 131, 747–753. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.100>.
- Mantelatto, P.E., Maciel Filho, R., Dias, M.O.de.S., Bonomi, A., Leal, M.R.L.V., Cavalett, O., Rossell, C.E.V., 2015. Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. *Environ. Dev.* 15, 35–51. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2015.03.004>.
- Nemecek, T., Bengoa, X., Lansche, J., Mouron, P., Riedener, E., Rossi, V., Humbert, S., 2015. Methodological guidelines for the life cycle inventory of agricultural products, version 3.0.
- Pandey, D., Agrawal, M., Pandey, J.S., 2011. Carbon footprint: current methods of estimation. *Environ. Monit. Assess.* 178, 135–160.
- Pierobon, F., Zanetti, M., Grigolato, S., Sgarbossa, A., Anfodillo, T., Cavalli, R., 2015. Life cycle environmental impact of firewood production - A case study in Italy. *Appl. Energy* 150, 185–195. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.033>.
- Rotz, C.A., Montes, F., Chianese, D.S., 2010. The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. *J. Dairy Sci.* 93, 1266–1282. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2009-2162>.
- Sinditabaco, S.da.I.do.T., 2018. Diversos acessos. Disponível em: <http://www.sinditabaco.com.br>, (WWW Document).
- Skowronska, M., Filipek, T., 2014. Life cycle assessment of fertilizers: A review. *Int. Agrophys.* 28, 101–110. <http://dx.doi.org/10.2478/intag-2013-0032>.
- Soussana, J.F., 2014. Research priorities for sustainable agri-food systems and life cycle assessment. *J. Cleaner Prod.* 73, 19–23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.061>.
- Tubiello, F.N., Salvatore, M., Ferrara, A.F., House, J., Federici, S., Rossi, S., Biancalani, R., Condor Golec, R.D., Jacobs, H., Flammini, A., 2015. The contribution of agriculture, forestry and other land use activities to global warming, 1990–2012. *Glob. Change Biol.* 21, 2655–2660.
- Vicente, E.D., Duarte, M.A., Tarelho, L.A.C., Nunes, T.F., Amato, F., Querol, X., Colombi, C., Gianelle, V., Alves, C.A., 2015. Particulate and gaseous emissions from the combustion of different biofuels in a pellet stove. *Atmos. Environ.* 120, 15–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.067>.
- Virtanen, Y., Kurppa, S., Saarinen, M., Katajajuuri, J.M., Usva, K., Mäenpää, I., Mäkelä, J., Grönroos, J., Nissinen, A., 2011. Carbon footprint of food Approaches from national input–output statistics and a LCA of a food portion. *J. Cleaner Prod.* 19, 1849–1856. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.001>.

- Wiedmann, T., Minx, J., 2007. A definition of ‘ carbon footprint. *Science* 1, 1–11. <http://dx.doi.org/10.1088/978-0-750-31040-6>.
- Yan, M., Cheng, K., Luo, T., Yan, Y., Pan, G., Rees, R.M., 2015. Carbon footprint of grain crop production in China- based on farm survey data. *J. Clean. Prod.* 104, 130–138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.058>.
- Yang, J., Chen, J., Yang, R., Tang, J., Huang, H., 2015. Research progress of factors influencing the yield and quality of flue-cured tobacco. *Agric. Sci. Technol.* 16 (820).
- Zafeiridou, M., Hopkinson, N.S., Voulvoulis, N., 2018. Cigarette smoking: An assessment of tobacco’s global environmental footprint across its entire supply chain. *Environ. Sci. Technol.* 52, 8087–8094. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.8b01533>.
- Zhang, L., Zhang, X., Ji, H., Wang, W., Liu, J., Wang, F., Xie, F., Yu, Y., Qin, Y., Wang, X., 2018. Metabolic profiling of tobacco leaves at different growth stages or different stalk positions by gas chromatography–mass spectrometry. *Ind. Crops Prod.* 116, 46–55. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.041>.

6. ARTIGO 2 - HUMAN HEALTH RISK AND POTENTIAL ENVIRONMENTAL DAMAGE OF ORGANIC AND CONVENTIONAL NICOTIANA TOBACCUM PRODUCTION

Environmental Pollution 266 (2020) 114820



Contents lists available at ScienceDirect

Environmental Pollution

journal www.elsevier.com/locate/envp



Human health risk and potential environmental damage of organic and conventional Nicotiana tobaccum production



Ana Letícia Zappe ^a, Priscila Fernandes de Oliveira ^a, Ricardo Boettcher ^a,

Adriane Lawisch Rodriguez ^a, Enio Leandro Machado ^a,

Pamela Andrade Mantey dos Santos ^a, Diosnel Antonio Rodriguez Lopez ^{a,*}, Manuel Arlindo Amador de Matos ^b

^a Post-graduation Program in Environmental Technology (PPGTA), University of Santa Cruz do Sul, Av. Independencia 2293, Santa Cruz do Sul, RS, CEP

96815-900, Brazil ^b Department of Environment and Planning, University of Aveiro, Aveiro, Portugal

Article history:

Received 5 December 2019

Received in revised form

13 May 2020

Accepted 14 May 2020

Available online 30 June 2020

Keywords:

Tobacco is the most widespread non-food crop in the world. In Brazil, tobacco cultivation is one of the main commodities of the southern region. However, its production is associated with environmental impacts and risks to human health, which have yet to be quantified. This paper uses midpoint and endpoint life cycle assessment (LCA) to analyze the potential environmental damage and human health risk associated with agricultural production of conventional Virginia (CV), organic Virginia (OV), and Burley (BU) tobacco varieties. Organic tobacco production substitutes synthetic fertilizers and pesticides with organic compounds in the cropping stage. The results show that for one ton of dried tobacco, BU, CV, and OV emit 1,610, 1,426, and 1,091 kg CO₂ eq, respectively. For organic

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – Doutorado

Tobacco agriculture production, greater impacts are linked to the land use (LU) impact category. The endpoint results showed that OV production resulted in a higher potential for human and environmental damage than BU and CV. The drying of green OV and CV tobacco requires the burning of firewood, which emits high levels of particulate matter and is associated with human health (HH) damage. Overall, the HH damage category accounts for 68%, 82%, and 78% of the total score points associated with the production of BU, CV, and OV.

© 2020 Published by Elsevier Ltd.

1. Introduction

Tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) is of the most widespread nonfood crops in the world (Drope et al., 2018). Its production is focused in developing countries, where it forms part of a wellstructured production chain. Tobacco production in Brazil, as in other production areas, is carried out through integration between producers and processing companies.

Brazil is country whose economy relies heavily on agriculture, once it accounts for 31% of its gross domestic product, and tobacco production forms a significant part of the economic base for the southern Brazilian states. Southern Brazil produced an average of 664,355 tons of dry tobacco in the 2018e2019 crop, which corresponds to 97% of total Brazilian production (Sinditabaco, 2018).

While the negative effects of cigarette consumption on human health have been well studied (Geist et al., 2009), 6 trillion cigarettes are still produced worldwide, with 5.8 trillion being consumed by one billion smokers (Zafeiridou et al., 2018). Research has shown that 32.4 Mt of green tobacco are harvested per 3.2 M ha planted, which produces 6.4 Mt of dry tobacco. According to Brazil's Association of Tobacco Growers (Afubra, 2020), 149,060 smallholder farms were involved in the tobacco production chain in southern Brazil for the 2018e2019 crop. During the agricultural stage of tobacco production during this period, these farms cultivated 297,310 ha with the participation of 638,440 people. There is no other agricultural product that offers the same economic return as tobacco. All agricultural production is carried out on properties of up to 15 ha, up to 4 ha of which are employed in the planting of tobacco. The amount of tobacco planted depends on the availability of barns for drying the green tobacco leaves; a fundamental process that affects the final quality of the dried tobacco (Boettcher et al., 2020). According to Afubra (2020), the tobacco production chain employed 2.2% of the active population of Brazil, which corresponds to 2,140,000 people. Brazil exports 90% of its tobacco, which generated US\$ 2 billion in foreign exchange in 2018 (Afubra, 2020).

The Brazilian tobacco sector has not been immune to the harsh criticism and restrictions that have been leveled toward tobacco production. Despite these restrictions, the Brazilian tobacco sector forecasts a 10% production growth through 2025 (BRASIL, 2019), which is driven by export potential. Therefore, the tobacco sector is hoping to achieve greater sustainability within its production chain. In fact, the environmental impact of agriculture has become a focus of several recent studies, because of the significant increase in recent years. Greenhouse gas (GHG) emissions from Brazilian agricultural activities have increased from 2.75 Mt of CO₂ eq in 1961 to 5.30 Mt of CO₂ eq in 2016 (Tubiello, 2018). From a regional perspective, developing

countries have seen the most significant increases their GHG emissions, and according to Tubiello (2018), the largest agricultural emissions come from Asia (43%), America (26%), and Africa (15%), which combine to make up 84% of the global emissions related to these production processes.

Several factors that are linked to modern agriculture practices, such as land use changes (deforestation and forest degradation), can affect global and regional climates (Susca, 2012). The intensive use of synthetic fertilizers is one of these factors, and it has become a significant source of GHG emissions. Furthermore, products from the leaching of these materials into the ground can impact soil quality as well as surface and groundwater (Hansrud et al., 2018). Within this panorama, environmental damage from agriculture must become a focus of research, specifically in the context of sustainability and the seeking of new economic, environmental, and social strategies.

Studies conducted in Brazil have shown that tobacco production demands large quantities of synthetic nitrogen fertilizers, and the entire process, from tobacco leaf production and nicotine content to the final quality of the product, depends on these fertilizers (Boettcher et al., 2020; Jesus, 2016). Each hectare of Virginia tobacco planted in southern Brazil consumes an average of 600 ± 75 kg of NPK (15,15, 15). According to Boettcher et al. (2020), the carbon footprint (CF) of agricultural tobacco production is equivalent to 1,400 kg CO₂ eq/ton of CV dry tobacco, and 87% of this value derives from the production and use of synthetic fertilizers. In comparison, the curing stage uses almost three tons of sustainable firewood to dry the green leaves, setting its CF at less than 2% of the total. The use of fertilizers in agriculture has an environmental impact, as fertilizers emit N₂O, NO_x, and NH₃ (Goglio et al., 2018; Hakala et al., 2012). They also emit N₂, due to the phenomenon of nitrification followed by denitrification, which is produced by microbial reactions in the soil under aerobic and anaerobic conditions (Brentrup and Palliere, 2008; Regina et al., 2013). The leaching of nitrates after fertilizer application contributes to the contamination of surface and underground water (Rivera et al., 2017). Furthermore, fertilizer production, which requires large amounts of natural gas or coal as a hydrogen source (used to synthesize ammonia), contributes to a rise in CO₂ emissions (Hakala et al., 2012; Hussain et al., 2017). Production of nitrogen fertilizers is responsible for approximately 1.3%e1.8% of fossil fuel consumption on the planet (Læg Reid et al., 1999).

The quantification of these environmental impacts is hampered by a lack of knowledge regarding soil nutrient dynamics, which can be affected by physical, chemical, biological, and climatic conditions, and is difficult to predict or control. According to SEEG (2017), the

agricultural sector of Brazil issued 495.4 Mt CO₂ eq in 2016 (22% of Brazil's total GHG emissions). The use of nitrogenous fertilizers accounts for 30.0 Mt CO₂ eq of these emissions. Tobacco farming also involves the application of various pesticides, insecticides, herbicides, and anti-sprouting agents. As with fertilizers, analyzing the effects of pesticides has many limitations. Only a small portion of applied pesticides reach their targets (Roy et al., 2014), and the difficulty in estimating pesticide emissions is in quantifying the proportion emitted to different parts of the ecosystem, since the only available information is the amount of pesticide applied (Rosenbaum et al., 2015).

Finally, tobacco curing requires large quantities of fuel firewood. The amount of fuel required for tobacco drying, combined with the development of new areas of tobacco cultivation, is responsible for the annual deforestation of 2 million hectares in developing countries (Hussain et al., 2017). According to Geist et al. (2009), 3.5 tons of biomass are needed to produce one ton of dry tobacco. Research carried out by de Oliveira (2016), which studied 250 tobacco producers in southern Brazil, stated that the average fuel consumption was equivalent to 2.7 tons of firewood per ton of dried tobacco produced. Because of Brazil's strict federal and state laws, tobacco farmers in Brazil use eucalyptus biomass from reforestation, which accounts for 12.1% of tobacco farms. Meanwhile, 59% of tobacco farmers use their own wood (de Oliveira, 2016), and the other 41% use eucalyptus biomass sourced from third parties. The use of eucalyptus firewood is considered to be carbon neutral, as the quantity of CO₂ emitted during combustion is equal to the CO₂ captured during the growth of the same amount of biomass in reforestation (Pierobon et al., 2015). However, the incomplete burning of firewood that can occur in inadequate furnaces increases the emission of powerful GHGs such as NO_x and N₂O, which has a significant impact on photochemical smog, human toxicity, eutrophication, and depletion of the ozone layer (Calvo et al., 2014; Solli et al., 2009). In addition, biomass burning is responsible for emissions of particulate matter (PM 2.5e10) (Ribeiro et al., 2017), methane, and formaldehyde (Vicente et al., 2015). The emission of particulate matter, which is associated with human health damage because of its respiratory morbidity, is of major concern (Huijbregts et al., 2016; WHO, 2017), due to inadequate barns that are not equipped with air emissions treatment systems.

The evaluation of environmental damage and human health risk due to agricultural production of tobacco, while challenging, will generate information for decision making, directing focus to the interpretation and understanding of the production dynamics of this commodity and its impacts (Rivera et al., 2017). Within this context, life cycle analysis (LCA) is one approach that

can be used to measure the sustainability of production (Fraval et al., 2019; Hesampour et al., 2018). LCA compiles an inventory of relevant environmental flows throughout a product's life cycle and tests any possible environmental impacts associated with the relevant flows (Wiedmann and Minx, 2007). LCA also assesses the potential impact of emissions on human health (Oguzcan et al., 2019). We can associate this environmental profile with environmental relevance (Huijbregts et al., 2016). Thus, the use of LCA in the study of agriculture is comprehensive and reliable for the analysis of production systems, especially when applied with a systematic environmental focus.

There are few LCA studies of tobacco cultivation that use primary data and contextualize the stages of production (Hussain et al., 2017). There have been no studies cited in the literature that compare the environmental performance of organic versus conventional tobacco production. Furthermore, the cited studies use estimated (secondary) data or data from other cultures to test the impacts of agricultural production of tobacco (Zafeiridou et al., 2018). Thus, using primary data is an important step in the development of life cycle studies, as the results will expose realistic production conditions (Butt et al., 2015). The use of primary data allows an estimation of the potential effects of agricultural production and processing on human health, natural resources, and other negative environmental impacts on local ecosystems (Rivera et al., 2017; Toffolatti et al., 2015). The most-cited environmental impacts are those related organic pollutant emissions, the intensive use of agrochemicals, and deforestation for the production of firewood used in the curing of leaves (Hussain et al., 2017). Characterized as an agricultural production sprayed on smallholder farms, the impact on the environment and human health can be potentialized (Zafeiridou et al., 2018). The demand for organic products for sustainable agricultural production is intensifying, and although it is still incipient, organic tobacco production follows a growing global trend (Boettcher et al., 2020). Currently, less than 1% of Brazilian tobacco production is organic, but interest in this type of production is increasing due to the higher price paid for this tobacco variety. Studies show that organic farming has lower environmental impacts than traditional farming. The exclusion of synthetic fertilizers and other agrochemical products is responsible for the reduction of these impacts (Foteinis and Chatzisyneon, 2016). Organic farming, however, results in lower productivity per hectare, which may contribute to an increase in its environmental impact (Tuomisto et al., 2012). Therefore, the present work will use the LCA methodology to assess the human health risk and potential environmental damage of southern Brazil's agricultural production and industrial processing of three tobacco types: the Virginia variety under conventional farming (CV), the

Virginia variety under an organic procedure (OV), and the Burley variety under conventional farming procedures (BU).

2. Methodology

2.1. Life cycle assessment (LCA)

To test the potential human health risk and environmental damage of agricultural production and industrial processing associated with tobacco production, LCA, based on ISO 14,040 and 14,044, was used as a reference (Notarnicola et al., 2017). LCA follows four steps: goal and scope definition, life cycle inventory, life cycle impact assessment (LCIA), and life cycle results interpretation (Rocchi et al., 2019). For this research, the background datasets, including those on infrastructure, pesticide and fertilizer production, and electricity and machinery used, were gained from the Ecoinvent® V3.4 and Agri-footprint® databases. The data was analyzed using SimaPro Release 8.5.0.0 PhD software (PRe Consultants, 2019). The LCIA environmental indicators were calculated using Recipe® 2016 v1.0 characterization factors, both midpoints and endpoints. According to Alyaseri and Zhou (2017), Recipe® combines midpoint methodologies and endpoints. For the midpoint analysis, Recipe® uses 17 midpoint impact categories (IC), which are oriented to interpret single environmental problems. For the endpoint level, the IC were grouped into three damage categories: human health (HH), ecosystem quality (EQ), and resource scarcity (RS). The normalization and weighting factors, used here for endpoint calculations, were obtained from Recipe® 2008, as these factors are not included in the Recipe® 2016 v1.0 project. Recipe® characterization factors are computed from the perspective of a consistent environmental cause-effect chain. In this work, we used the hierarchist perspective World H/A 2000 normalization and weighting factors (Budavari et al., 2011). When endpoint indicators are used, the characterization should be treated with caution, as the computation of some IC can be ambiguous, since some of the calculations applied to convert midpoints into endpoints can have an impact, depending on subjective assumptions such as specifying the area and period. According to Hauschild and Huijbregts (2015), it is better to describe the significance of the environmental flows at the endpoint characterization level, “but is also more uncertain than the midpoint characterization factors.”

2.1.1. Definition of the scope, functional unit, and boundary

The scope of this work is the comparative evaluation of the impact of the production of two varieties of tobacco, carried out using organic and/or conventional systems in southern Brazil. The geographical localization of this work covers the three southern states of Brazil, namely,

Rio Grande do Sul, Santa Catarina, and Parana. The functional unit used as the system's output, defined by Taki et al. (2018), corresponds to one ton (t) of dry tobacco, processed and packaged for exportation (cradle-to-gate). Fig. 1 presents a map of the geographical locations of the three southern Brazilian states.

The farming of CV and BU is characterized by conventional procedures and the use of synthetic fertilizers, pesticides, herbicides, and fungicides. CV is generally cured in rudimentary barns that are built using mud brick, and the fire used for curing is fueled by eucalyptus firewood from sustainable woodlands, while BU is dried in open-air sheds. For OV production, the chemical inputs are replaced by composted poultry manure and natural pest control, and therefore, the dependence on nitrogen fertilizers is reduced, and most emissions from the fertilizer chain production can be minimized (Bos et al., 2014). The harvested green leaves of OV are dried using the same process as CV. The average yields of dried tobacco, considered in this work for BU, CV, and OV, were 1,800, 2,230, and 1,770 kg ha¹.

Substituting the chemical fertilizers with organic compounds was performed by applying the same quantity of nutrients that would have been provided by synthetic fertilizers. The application of pesticides and fertilizers (synthetic or organic) and the harvesting of the green tobacco were carried out manually. This harvesting system is necessary to ensure a high quality product, which is required by the consumer market, and it cannot be done by machines. Regardless of its effect on quality, the cost of machinery makes it unattainable for small agricultural producers. Moreover, the landscapes of most tobacco farms are hilly, which also hinders the use of crop machines.

The considered system boundaries of this study were the tobacco farms. The inputs included transportation; seedling production; preparation of the planting area; seedling transplantation; agricultural treatments in crop, harvesting, and curing of the green tobacco leaves; technical help to farmers; and the transportation and processing of the dry tobacco. Transport to cigar factories, cigar manufacturing, and the distribution and consumption of cigarettes were not considered in this study.

2.1.2. Inventory

The data for this study was collected during the harvest cycle of 2013e2018 and organized by tobacco agriculture phases and per tobacco variety. This study is based on primary data, collected through specific questionnaires administered to tobacco growers and corroborated

with a dataset of about 25,000 tobacco producers from the three southern Brazil states. The use of this specific database allowed a decrease in negative and biased results that are sometimes obtained with no specific data and can characterize the representativeness of agricultural tobacco production in southern Brazil. This is possible because tobacco plantation in southern Brazil follows a primer of technical recommendations, with minor adjustments to inputs due to similar crop management processes and the soil and climate characteristics of the regions where the tobacco is cultivated.

This work assumes that tobacco croplands have an average use of 15 years. The use of deforested areas or other crop areas changed over to tobacco production were not considered, since the cultivated area has been reduced by 15% over the last ten years (Sinditabaco, 2018).



Fig. 1. Map of the geographical locations of the three southern Brazilian states.

Soil preparation consisted of plowing and grading the soil, with subsequent formation of ridges, and two cultivations were carried out 20 days after transplanting for weed control. These tasks were performed following the production cycle. The farmers carried out the soil pH adjustment of both the BU and CV croplands with 1.35 t ha^{-1} dolomitic limestone, according to soil analysis *Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – Doutorado*

recommendations. The OV cropland was treated with 2.35 t ha¹ of dolomitic limestone for its soil pH adjustment. The difference between the treatment of the OV soil and that of the conventional farming is related to the kind of soil found in the OV production region. In every case, the residual limestone effect on soil was assumed to be 70% after the initial application, which was considered in the environmental impact assessments.

CV production uses synthetic fertilizers applied in two seasons. The first, called base fertilization, occurs before transplantation. It uses N, P, and K-based fertilizer formulations. The second (cover fertilization) occurs after transplantation and uses only N- and K-based fertilizers. BU production uses more N-based fertilizer than CV, requiring a third cover fertilization using only N-based fertilizer.

In the inventory of OV production, chemical fertilizers were replaced with poultry manure and natural pest control. All other inputs of the OV production were similar to that of CV. According to Boettcher et al. (2020), the pesticide contribution to the total environmental impact of CV production is less than 2%. In this way, the simulation of OV production may represent a sensibility analysis of the CV production, where 100% of the chemical fertilizers were substituted by poultry manure.

Emissions derived from the chambers of the green tobacco curing barns were not considered in this work, due to lack of available data in the literature and existing databases. Furthermore, emissions from firewood burning for heating the tobacco curing chamber were considered to be neutral, or zero, emissions because of the renewable origin of the firewood. Tobacco drying uses eucalyptus wood that has an average moisture content of 20%, an average density of 375 kg m³, and a low heating value of 3,400 kcal kg¹. The curing stage consumes an average of 7.2 m³ of firewood, which is equivalent to 2.7 tons, per one ton of dry tobacco. The calculations for this work do include the environmental impacts of eucalyptus planting, forest growing management, harvesting, firewood production, and transport.

Emissions associated with fertilizer in both tobacco production systems depend on the type of fertilizer (organic or synthetic) used. This work considered the emissions related to fertilizer production and application, as well as the environmental impacts derived from the biological degradation of used fertilizers specifically, those derived from the soil denitrification process. The energy used for processing the poultry manure, as well as its transport and application to the soil, was also considered, according to Ecoinvent®'s report No. 15 for agricultural production systems (Nemecek et al., 2007).

The impact of pesticides was simulated based on their respective active ingredients, which was accessed from the Ecoinvent® V3.4 and Agri-footprint® databases.

Tobacco crops occupy the land for only six months, and the same areas are used in the other six months of the year to grow maize, beans, or cassava. The cultivation of these crops takes advantage of the residual fertilizers from the tobacco crop. However, in this study, it was presumed that all environmental impacts of fertilizer application were associated with tobacco production. The overall inventory data used in this study for the three tobacco varieties are presented and detailed in Annex 1.

3. Results and discussion

3.1. LCIA results

The LCIA results for the FU are presented in Table 1 as midpoint indicators, in view of the 17 impact categories used by the Recipe® model. Annex 2 presents the midpoint results for each measured indicator according to the four production stages evaluated.

CV production presented lower impact values than OV and BU. Furthermore, the midpoint results for OV showed higher values than CV and BU in 12 impact categories. In turn, BU showed greater impacts in five categories. The following sections detail the analysis of a selection of eight midpoint impact categories: four that show higher impact values in the conventional system and four that show higher values in the organic system of tobacco production.

3.2. Impact categories CC, MRS, TA and FRS analysis

Fig. 2 shows the comparison of the impact categories CC, MRS, TA, and FRS for the three types of tobacco produced, considering the contribution of the four production stages. As shown in Fig. 2, OV had lower values than CV and BU for these impact categories.

Comparatively, the BU cropping stage contribution is higher than the same production stage for CV and OV, due to the higher quantity of synthetic fertilizer and defensives used by the cultivation systems. Unlike the cropping stage, field operations such as tillage, cultivating, chiseling, and technical help presented a contribution <2% of the impact categories of each cultivation system. Diesel used was not an important contributor across these impacts, since many agricultural operations of tobacco farming, such as weeding, fertilizing, and harvesting, are still done by hand in the south of Brazil. The use of agricultural machinery in these areas remains limited to soil preparation and transportation of the crop for curing.

For the CC impact category, Fig. 2 shows that OV emits a total of 1091 kg CO₂ eq while BU and CV emit 1,610 and 1,426 kg CO₂ eq, respectively. With regard to the contribution of production stages, the seedling, curing, and industrial processing stages of OV emitted 594 kg CO₂ eq, while CV and BU emitted 443 and 301 kg CO₂ eq in these stages. The main difference between organic and

Table 1: Total midpoint values obtained for each of the measured indicators. conventional production was in the cropping stage

Impact Category		Unit	OV	CV	BU
Ionizing Radiation	IR	kBq Co-60 eq	69.6	38.5	24.1
Ozone Formation Human Health	O3FHH	kg NOx eq	4.60	2.69	1.51
Fine Particulate Matter Formation	FPMF	kg PM2.5 eq	6.84	4.98	1.00
Ozone Formation Terrestrial Ecosystems	O ₃ TE	kg NOx eq	4.74	2.79	1.55
Terrestrial Ecotoxicity	TEcot	kg 1,4-DCB e	0.79	7.06	0.35
Human Carcinogenic Toxicity	HC-Tox	HC-Tox	88.0	46.2	50.1
Land Use	LU	m ² a crop eq	7390	5670	6517
Water Consumption	WC	m ³	41.9	19.5	12.0
Freshwater Eutrophication	FE	kg P eq	0.25	0.20	0.19
Freshwater Ecotoxicity	FEcot	kg 1,4-DCB eq	21.9	21.0	20.5
Marine Ecotoxicity	MEcot	kg 1,4-DCB eq	30.1	28.9	28.1
Human non-Carcinogenic Toxicity	HnC-Tox	kg 1,4-DCB eq	19,864	19,459	18,540
Climate Change	CC	kg CO ₂ eq	1091	1426	1610
Stratospheric Ozone Depletion	SO ₃ D	kg CFC11 eq	0.01	0.02	0.03
Terrestrial Acidification	TA	kg SO ₂ eq	5.50	7.10	7.76
Mineral Resource Scarcity	MRS	kg Cu eq	2.59	7.81	8.57
Fossil Resource Scarcity	FRS	kg oil eq	263	319	335

The CC impact category for the CV and BU cropping stages accounted for 982 (69%) and 1309 (82%) kg CO₂ eq of the total CC. According to our results, the major contributor to the impacts of these stages was the production and application of synthetic fertilizer (calcium and potassium nitrate and NPK compounds). These fertilizers accounted for 61% and 81% of the total CC of both varieties. This observation is in accordance with LCA studies on CV production in Pakistan (Hussain et al., 2017) and Iran (Nikkhah et al., 2019). For most mineral nitrogen fertilizers, ammonia is the building block, and the production of ammonia uses the Haber-Bosch process (Ahlgren et al., 2012), which is based on the synthesis reaction between N₂ and H₂. According to Brentrup and Palliere (2008), GHG emissions from nitrogen fertilizer production are made up of CO₂ that is emitted during the use of natural gas (fossil energy) as feedstock for hydrogen production and as electricity for nitrogen production and ammonia synthesis. Around 77% of the world's ammonia production is based on natural gas reforming, 14% on coal gasification, and 9% on the partial oxidation of oil products and heavy hydrocarbon fractions (Barosi et al., 2014). Fertilizer production involves the emission of about 1.5 tons CO₂ per ton of NH₃ (Makhlouf et al., 2015) and 2e2.5 kg N₂O per ton of HNO₃ (Skowronska andFilipek, 2014).

Fertilizer application also results in nitrogen compound emissions. Nitrification followed by denitrification processes performed by soil bacteria are the primary sources of N₂O emissions to the atmosphere, although these emissions may vary, depending on the nitrogen fertilizer, weather conditions, soil tillage, and crop residue management. According to Goglio et al. (2018), 0.01 kg of N₂O is emitted per kg of N in applied synthetic fertilizer, and up to 0.21 kg N₂O is emitted per kg of organic N fertilizer. Additionally, some nitrogen is lost through nitrate leachate (Anderson et al., 2008). These emissions are included in our results.

Synthetic fertilizer use on tobacco crops is a cause for major environmental concern, considering its level of GHG emissions. The replacement of 660 kg of NPK (used in CV production) by organic products in OV production avoids the emission of 5.2 kg Cu eq (MRS), 56 kg Oil eq (FRS), and 1.6 kg SO₂ eq (TA). However, substitution of traditional fertilizers with ones that are less aggressive to the environment is not an easy task, since the nicotine and sugar balance in the end product depends on the use of N and K fertilizers (Boettcher et al., 2020). This requires a well-adjusted fertilization to replenish these elements in the soil. Jesus (2016) investigated the effect of N and K added from other kinds of synthetic fertilizers on the

productivity and quality of VA tobacco, and this study showed that the use of controlled-release nutrient fertilizers produced tobacco plants with lower productivity and qualitative potential. The curing phase of OV and CV tobacco have lower GHG emissions, despite the burning of 2.7 tons of firewood per ton of dried tobacco (Ribeiro et al., 2017). The CO₂ emissions from the curing barns are carbon neutral, since the biomass being burned comes from renewable sources, which compensates for the CO₂ emitted during combustion by the CO₂ captured by the reforested areas (Pierobon et al., 2015). Conversely, the work of Hussain et al. (2014) found that firewood burning comprised 7% of the total CC of VA production in Pakistan, since the firewood had come from nonsustainable forests. In our study, emissions associated with the curing stage were related to the energy consumption in firewood cutting and transport, sustainable forestry management, and the electricity used for air injection into the ovens for tobacco drying.

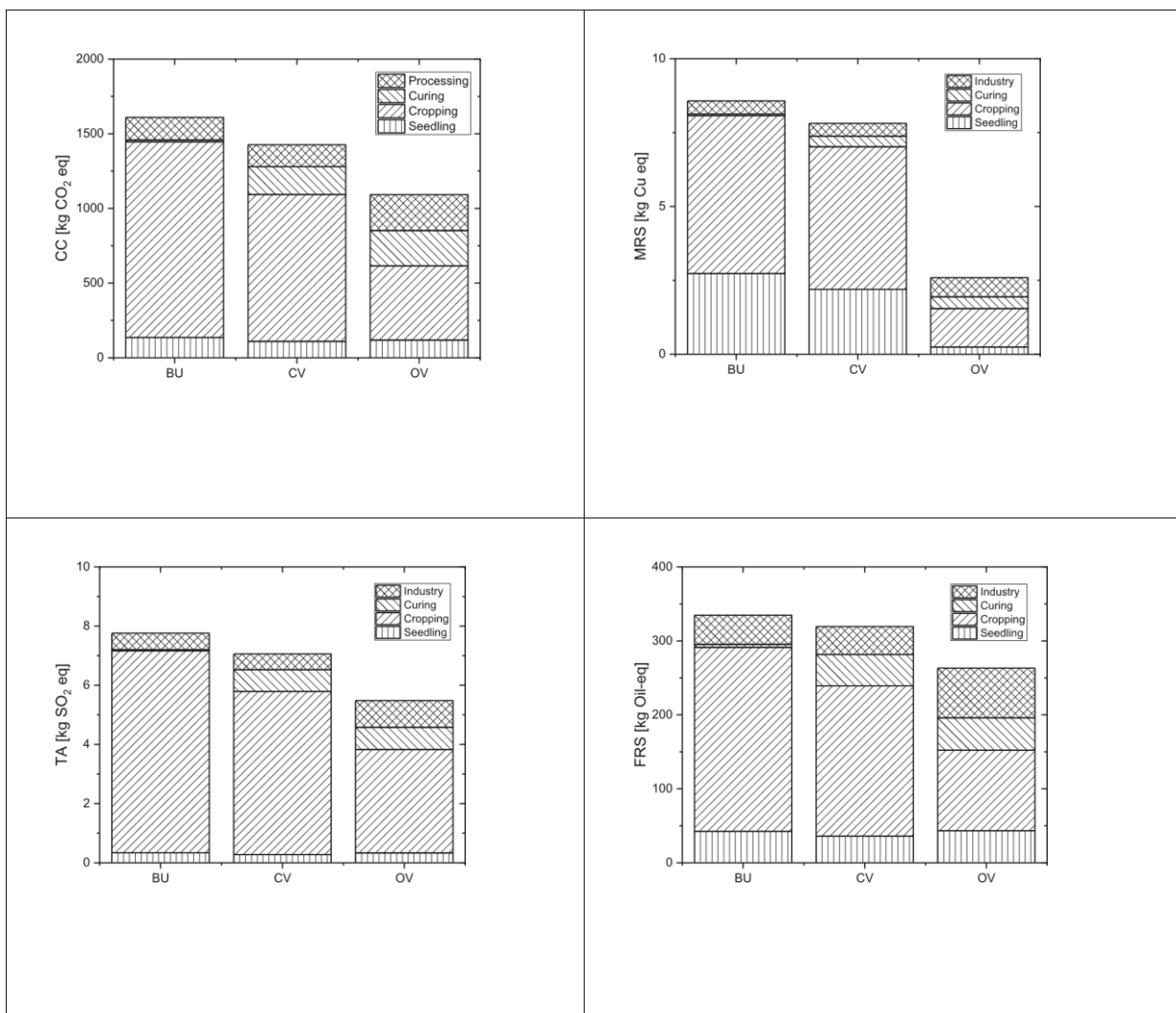
Pairwise comparison of total CO₂ eq emissions for OV, CV, and BU production reveals differences. Since CV production corresponds to 85% of total Brazilian tobacco production, the total impact of this variety is higher than the BU and OV varieties. In 2018, 722,500 tons of CV and 127,500 tons of BU were produced by conventional cultivation in the southern region of Brazil. Thus, CV and BU production would be responsible for yearly emissions of 1.03 and 0.17 Mt CO₂ eq. According to SEEG (2017), the total emissions of GHGs in Brazil was about 495 Mt CO₂ eq in 2017. Therefore, emissions of GHGs from tobacco production accounts for about 0.24% of the total GHG emissions for Brazil.

The MRS impact category is associated with the use of mineral resources. The lowest MRS values for OV production resulted from material consumption of sustainable sources and energy from renewable sources. According to Foteinis and Chatzisyneon (2016), fertilizer production is a process that requires a lot of energy and large amounts of minerals. The mineral resource scarcity of the organic tobacco production system accounted for only 30% and 33% of the MRS from both BU and CV. According to Mohamad et al.

(2014), this reflects the increased efficiency of the organic system in reducing mineral consumption, due to the lower number of treatments.

Regarding the FRS impact, CV, BU, and OV production accounts for 304, 346, and 263 kg Oil eq, where the FRS of BU is 13%e24% higher than CV or OV. As for the other impacts, the crop stage is the most significant contributor to this impact category. FRS values in the crop stage of CV and BU are associated with the use fossil fuels for fertilizer production (Makhlouf et al., 2015). Fig. 2. Comparison of the midpoint impact categories CC, MRS, TA, and FRS associated

with tobacco production stages. Terrestrial acidification (TA) related to atmospheric deposition of inorganic substances allows an assessment of the impact of sulfates, nitrates, and phosphates on the environment (Hasler et al., 2015) and their subsequent deposition, which may decrease the soil pH (Roy et al., 2014). The TA net emissions (Fig. 2) for BU and CV were 7.8 kg and 7.1 kg SO₂ eq, respectively, of which about 80% was released in the crop stages. Similarly, the seedling, curing, and industrial stages accounted for 20% of the total TA for both tobacco varieties. In the conventional cropping stages, high dosages of nitrogen, phosphate, and potassium derived from synthetic fertilizers contributed to the TA impact category, because NH₃, SO₂, and NO_x are released into the soil. This is in accordance with the findings of Regina et al. (2013) and Rivera et al. (2017), who state that these impacts are driven by ammonia (NH₃) emissions from fertilizer use. According to Skowronska and Filipek (2014), ammonia losses range from 1% to 15% of the nitrogen mass in the fertilizer, followed by application of urea. Hussain et al. (2017) stated that most SO₂ emissions came from fossil fuels used in fertilizer



production, while nitrous oxides and ammonia were released during both fertilizer production

and application to the crops. Emissions from these compounds can increase soil acidity problems in planting areas, which is especially relevant since most tobacco farming in southern Brazil takes place on acidic soil derived from basalts, which needs to be corrected with lime.

OV production accounts for a total 5.5 kg SO₂ eqd63% in the cropping stagedwhich shows that OV production also contributes significantly to TA. According to He et al. (2016), the use of organic manure accounts for the largest share of TA at the rate of cropping inputs. This is because the use of organic fertilizer originates N losses due to leaching, volatilization, and runoff. Regarding the agrochemicals input, their contribution to the impact categories studied is very low. For example, the total contribution of glyphosates, pesticides, and herbicides for OV, CV, and BU tobacco production corresponds to less than 2.0% of the total CC.

3.3. Impact categories

O3FHH, land use, HT-NC, and FEcot Fig. 3 shows the results for the impact categories O3FHH, LU, HTNC, and FEcot. These results showed that LU of organic production account for greater environmental impacts than those of conventional tobacco production. Regarding LU, the LCIA environmental impact indicators for OV, BU, and CV production were 7,389, 6,517, and 5,670 m² crop eq, respectively. The higher area demand for OV production is due to its lower-yield tobacco production. In comparing OV and CV farming systems, the question of the land area required for each type of production must be considered, especially in the context of a growing world population and food demand.

On the other hand, Fig. 3 shows that the seedling stage contributed the most to the toxicity impact categories, HT-NC and FEcot. This is linked to the production and use of steel for the greenhouse structures, and the peat moss, polyethylene fleece, and polystyrene used in the production of seedlings. Therefore, the substitution of steel by a different, more sustainable structural material could help to reduce this impact category.

Going through the four production stages of the tobacco life cycles, Fig. 3 shows that the cropping stage contributed 62% and 91% for the O3FHH and LU impact categories, respectively. The O3FHH impact category had two important sources: the pH raising agent CaCO_3 , and the fossil fuels used in the forestry activities and transport of the eucalyptus firewood.

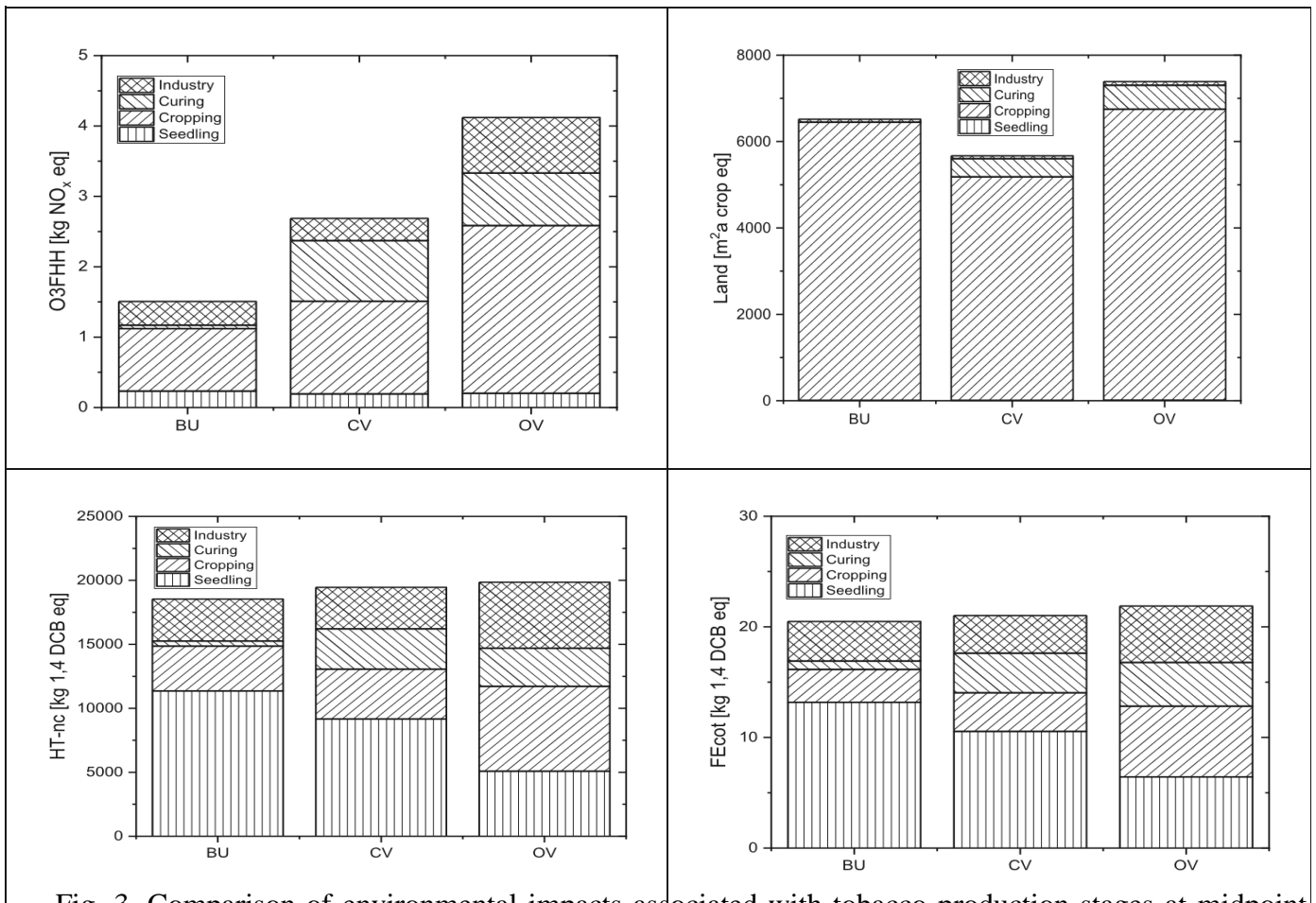


Fig. 3. Comparison of environmental impacts associated with tobacco production stages at midpoint levels.

As shown in Fig. 3, the total O3FHH impact of OV accounts for 4.60 kg NO_x eq. Once the O3FHH toxicity category is associated with O₃ formation at ground level, the OV cropping stage plays an important role. Ozone is not directly emitted into the atmosphere, but it is photochemically formed by the reactions of NO_x and NonMethane Volatile Organic Compounds (Huijbregts et al., 2016), which act as catalyst for the conversion of O₂ to O₃ in the presence of ultraviolet light. In other words, NO_x has a catalyst-like effect and is not consumed during the reaction. Ozone is a health hazard to humans, as it can irritate airways and damage lungs. It can also have a negative impact on vegetation, including

causing reductions in growth and seed production, acceleration of leaf senescence, and a reduced ability to withstand stresses (Ashmore, 2005; Gerosa et al., 2015).

Organic fertilizer emits higher quantities of organic compounds than synthetic fertilizers, which is reflected in a higher generation of O₃. According to Ritchie and Roser (2019), the supply of nitrogen, phosphorous, and potassium in conventional and organic agriculture are exceptionally diverse. In traditional agriculture, engineered fertilizers provides these nutrients, while organic agriculture supplies its nitrogen from manure or compost application. The release of nutrients from conventional and organic systems, therefore, is very different. Chemical fertilizers release nutrients in response to crop demands, meaning that nitrogen can be spread when required by the crops; conversely, nitrogen discharged from manure is available from the point of soil preparation, well before plant uptake, and its use depends on natural conditions, such as climate conditions, soil moisture, and temperature. Therefore, nutrient release from organic fertilizer is not continuously coordinated with crop requirements, and overabundance supplements that are discharged but not taken up by crops can run off farmland into waterways such as streams and lakes. As a result, the risk of contamination of biological systems with supplements from organic agriculture can be higher than conventional agriculture, resulting in higher O₃FHH and EP potential (Ritchie and Roser, 2019).

3.4. Endpoint results

Fig. 4 presents the results of the environmental impact LCIA Recipe® endpoint analysis for the HH, EQ, and RS damage categories. Annex 3 contains an attached Microsoft Excel® file with the normalization and weighting factors used, as well as the calculations performed.

According to Fig. 4, OV production shows a higher overall environmental score (182.6 Pt per ton of dry tobacco), where HH and EQ account for 81.7% and 18.2% of the total score. The environmental score for CV and BU production were 94 Pt and 159 Pt per ton of dry tobacco, respectively. Fig. 4 also shows the accumulated damage score for the seedling, cropping, curing, and industrial processing stages over the total damage of each tobacco variety and production model. Overall, the HH damage category accounts for 66%, 82%, and 82% of the total score associated with BU, CV, and OV productions. Similarly, EQ accounts for 31%, 16%, and 18% of the BU, CV, and OV production, respectively.

Finally, Fig. 4 highlights the damage caused during the curing stage on the HH endpoint indicator. The breakdown of HH value in its individual impact category contributions shows that 95% of the CV and OV curing stage impacts are linked to fine particle matter formation (inhalable particulate material, PM 2.5), emissions from the burning of firewood for drying the green tobacco leaves, and fuel spent on chainsaws and the transport of eucalyptus firewood, the effects of which directly affect the HH score. Particulate material (PM 2.5 and PM10) is related to respiratory problems. The remaining 5% of the

damage from this stage is associated with the use of limestone for pH correction. The rudimentary curing barns used by farmers influences the emissions of particulate material. Most of the farms use an outdated firing system with no thermal insulation. The large heat loss due to lack of insulation requires the burning of higher quantities of wood to maintain the temperature inside the barn. This situation gets worse on rainy days, when rainwater cools the outsides of the oven walls. Thus, the use of sustainable firewood helps to reduce the emissions of GHGs, which affects several other categories of impact. Nevertheless, the emissions from the particulate material are high, and can be considered a hot spot. It is easy to understand, then, that the low values of the environmental impacts of BU production are because this tobacco is air-cured. Fig. 4 shows how important it is to implant a fly ash treatment in curing barns. The damage produced by particle emissions on HH is empowered by the characteristic of production farms, which are spread over several municipalities in the three southern states of Brazil. Furthermore, most curing barns are located close to the farmers' houses, which can potentiate human exposure to inhalable particles.

Fig. 4 shows that the cropping stage influences the three damage categories differently. Comparison of the CV and OV cropping stages does not show any significant difference for the total environmental score, nor for the three damage categories. It is obvious that the replacement of synthetic fertilizer and pesticides with poultry manure, copper-based pesticides, and biological and manual pest control agents is overshadowed by the need for more land use, lower productivity, higher need for soil pH corrector, and higher nutrient losses in the OV end product. This effect becomes even clearer when analyzing the damage over the EQ in Fig. 4, since the damage caused by the OV cropping stage is higher than that of CV and BU production. Damage to EQ are linked, among other things, to productivity indices of each cropping system and the demand for land use. Thus, OV productivity is lower than BU and CV, and proportionally, it demands more land area.

According to data from Afubra (2020), a forecasted CV production increase of 10% by 2029 will increase the pressure for larger production areas, which may lead to the replacement of areas intended for food production or the opening of new agricultural areas, which will contribute to a loss of biodiversity.

4. Conclusion

The comparison of BU and CV cultivation forms, based on the functional unit (1,000 kg of dried tobacco), showed that BU might be considered the most environmentally sustainable in terms of production. However, BU production represents only 9% of the total Brazilian tobacco production. Most of the midpoint impact categories were influenced by fertilizer fabrication and application. The results also reinforce that land use is responsible for high impacts on organic production, since this impact

category is always an important environmental aspect for agricultural production. The use of sustainable firewood in the OV and CV curing stages was considered carbon neutral. Regarding CC, particulate matter emissions (PM 2.5e10) generate a health risk factor, since drying ovens are often near or attached to farmers' homes. Particulate matter is highlighted in the category of human health damage, due to the likelihood of farmers developing lung disease. The substitution of fertilizers and other agrochemicals with bioproducts in the organic production process does not reduce the potential environmental impacts and human health risks of the tobacco production chain. Though the replacement of synthetic fertilizers and pesticides with organic-based fertilizer implies a benefit for natural resources, it does not actually contribute to improved sustainability for organic production, since organic tobacco cropping presents technical and environmental hot spots that must be analyzed in more detail. Therefore, it is not only the consumption of, but also the agricultural production of tobacco that imposes significant potential risks to human health and the environment.

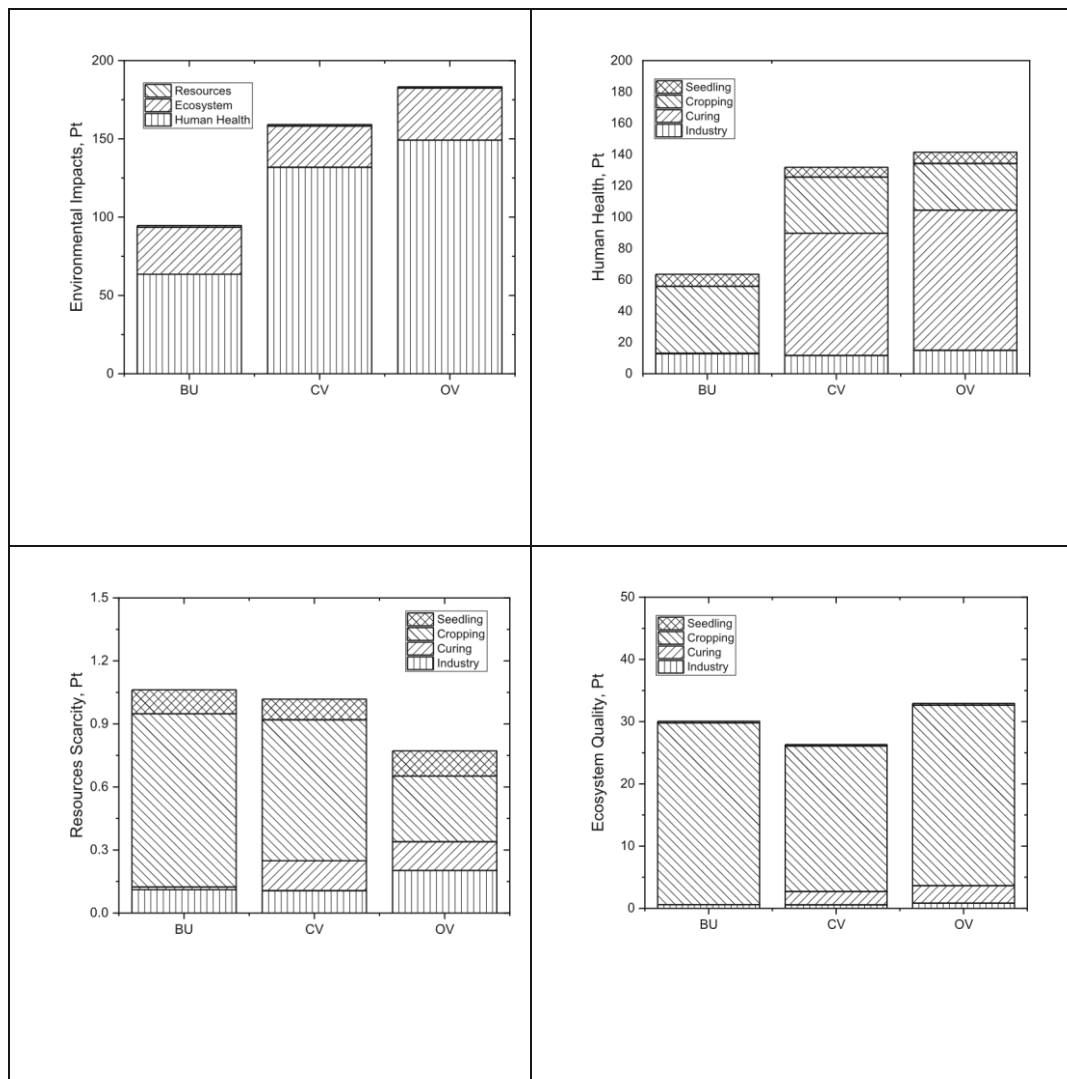


Fig. 4. Score comparison of the four production stages on HH, RS, and EQ.

Acknowledgment

We would like to thank the “Coordenação de Aperfeiçoamento~ de Pessoal de Nível Superior (CAPES-BRAZIL)” for the assignment of both the first and second authors’ masters and doctoral scholarships.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114820>.

References

- Afubra, 2020. Panorama da fumicultura no sul do Brasil. WWW Document. www.afubra.com.br.
- Ahlgren, S., Baky, A., Bernesson, S., Nordberg, Å., Noren, O., Hansson, P.-A., 2012. Consequential life cycle assessment of nitrogen fertilisers based on biomass: a Swedish perspective. *Insciences J* 2, 80e101.
- Alyaseri, I., Zhou, J., 2017. Towards better environmental performance of wastewater sludge treatment using endpoint approach in LCA methodology. *Heliyon* 3, e00268. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00268>.
- Anderson, K., Bows, A., Mander, S., 2008. From long-term targets to cumulative emission pathways: reframing UK climate policy. *Energy Pol.* 36, 3714e3722.
- Ashmore, M.R., 2005. Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. *Plant Cell Environ.* 28, 949e964.
- Barosi, R., Spinelli, D., Fierro, A., Jez, S., 2014. Mineral Nitrogen Fertilizers: Environmental Impact of Production and Use. *Fertil. Compon. Uses Agric. Environ. Impacts*, Nov. Sci. Publ. Lopez-Valdez. F Fernandez-Luquenos, F, New York, pp. 3e44.
- Boettcher, R., Zappe, A.L., de Oliveira, P.F., Machado, E.L., Lawisch-Rodriguez, A. de^ A., Rodriguez-Lopez, D.A., 2020. Carbon Footprint of agricultural production and processing of tobacco (*Nicotiana tabacum*) in southern Brazil. *Environ. Technol. Innov.* <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100625>.
- Bos, J.F.F.P., De Haan, J., Sukkel, W., Schils, R.L.M., 2014. Energy use and greenhouse gas emissions in organic and conventional farming systems in The Netherlands. *NJAS-Wageningen J. LifeSci.* 68, 61e70. <https://doi.org/10.1016/>

j.njas.2013.12.003.

BRASIL, 2019. Projeç~oes Do Agronegocio - Brasil 2018/19 a 2028/29, 2019th. Ministerio da Agricultura, Pecúaria e Abastecimento, Brasilia.

Brentrup, F., Palliere, C., 2008. GHG emissions and energy efficiency in European nitrogen fertiliser production and use. In: Proceedings - International Fertiliser Society. International Fertilizer Society, Cambrige, UK, pp. 1e25.

Budavari, Z., Szalay, Z., Brown, N., Malmqvist, T., Peuportier, B., Zabalza, I., Krigsvoll, G., Wetzal, C., Cai, X., Staller, H., Tritthart, W., 2011. LoRe-LCA: low Resource consumption buildings and constructions by use of LCA in design and decision making, Indicators and weighting systems, including normalisation of environmental profiles. LoRE-LCA Deliv. 5, 1e80.

Butt, A.A., Toller, S., Birgisson, B., 2015. Life cycle assessment for the green procurement of roads: a way forward. J. Clean. Prod. 90, 163e170. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.068>.

Calvo, A.I., Tarelho, L.A.C., Alves, C.A., Duarte, M., Nunes, T., 2014. Characterization of operating conditions of two residential wood combustion appliances. Fuel Process. Technol. 126, 222e232. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.05.001>. de Oliveira, P.F., 2016. Analise de ciclo de vida da produç~ao de tabaco. UNISC. Drope, J., Schluger, N., Cahn, Z., Hamill, S., Islami, S., Liber, A., Nargis, M., Stoklosa, M., 2018. The Tobacco Atlas, sixth ed. American Cancer Society and Vital Strategies., Atlanta - Georgia, Atlanta.

Foteinis, S., Chatzisyneon, E., 2016. Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture. A case study of lettuce cultivation in Greece. J. Clean. Prod. 112, 2462e2471. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.075>.

Fraval, S., van Middelaar, C.E., Ridoutt, B.G., Opio, C., 2019. Life Cycle Assessment of Food Products, Encyclopedia of Food Security and Sustainability. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22221-x>.

Geist, H.J., Chang, K. tsung, Etges, V., Abdallah, J.M., 2009. Tobacco growers at the crossroads: towards a comparison of diversification and ecosystem impacts. Land Use Pol. 26, 1066e1079. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.01.003>. Gerosa, G., Fusaro, L., Monga, R., Finco, A., Fares, S., Manes, F., Marzuoli, R., 2015. A flux-based assessment of above and below ground biomass of Holm oak (*Quercus ilex* L.) seedlings after one season of exposure to high ozone concentrations. Atmos. Environ. 113, 41e49. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.04.066>.

- Goglio, P., Smith, W.N., Grant, B.B., Desjardins, R.L., Gao, X., Hanis, K., Tenuta, M., Campbell, C.A., McConkey, B.G., Nemecek, T., Burgess, P.J., Williams, A.G., 2018. A comparison of methods to quantify greenhouse gas emissions of cropping systems in LCA. *J. Clean. Prod.* 172, 4010e4017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.133>.
- Hakala, K., Nikunen, H.-M., Sinkko, T., Niemeläinen, O., 2012. Yields and greenhouse gas emissions of cultivation of red clover-grass leys as assessed by LCA when fertilised with organic or mineral fertilisers. *Biomass Bioenergy* 46, 111e124. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.021>.
- Hanserud, O.S., Cherubini, F., Øgaard, A.F., Müller, D.B., Brattebø, H., 2018. Choice of mineral fertilizer substitution principle strongly influences LCA environmental benefits of nutrient cycling in the agri-food system. *Sci. Total Environ.* 615, 219e227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.215>.
- Hasler, K., Broring, S., Omta, S.W.F., Olf, H.W., 2015. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. *Eur. J. Agron.* 69, 41e51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001>.
- Hauschild, M.Z., Huijbregts, M.A.J., 2015. Introducing life cycle impact assessment. In: *Life Cycle Impact Assessment*. Springer, pp. 1e16.
- He, X., Qiao, Y., Liu, Y., Dendler, L., Yin, C., Martin, F., 2016. Environmental impact assessment of organic and conventional tomato production in urban greenhouses of Beijing city, China. *J. Clean. Prod.* 134, 251e258. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.004>.
- Hesampour, R., Bastani, A., Heidarbeigi, K., 2018. Environmental assessment of date (*Phoenix dactylifera*) production in Iran by life cycle assessment. *Inf. Process. Agric.* 5, 388e393. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.05.004>.
- Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M.D.M., Hollander, A., Zijp, M., van Zelm, R., 2016. ReCiPe 2016: A Harmonized Life Cycle Impact Assessment Method at Midpoint and Endpoint Level Report I: Characterization.
- Hussain, M., Malik, R.N., Taylor, A., Puettmann, M., 2017. Hazardous pollutants emissions and environmental impacts from fuelwood burned and synthetic fertilizers applied by tobacco growers in Pakistan. *Environ. Technol. Innov.* 7, 169e181. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.02.003>.

- Hussain, M., Zaidi, S.M.H., Malik, R.N., Sharma, B.D., 2014. Greenhouse gas emissions from production chain of a cigarette manufacturing industry in Pakistan. *Environ. Res.* 134, 81e90. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.06.015>.
- Jesus, J., 2016. Yield and Quality of Virgínia Tobacco Affected by Nitrogen and Potassium Fertilization. UESC.
- Læg Reid, M., Bockman, O.C., Kaarstad, O., 1999. *Agriculture, Fertilizers and the Environment*. CABI publishing.
- Makhlouf, A., Serradj, T., Cheniti, H., 2015. Life cycle impact assessment of ammonia production in Algeria: a comparison with previous studies. *Environ. Impact Assess. Rev.* 50, 35e41. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.08.003>.
- Mohamad, R.S., Verrastro, V., Cardone, G., Bteich, M.R., Favia, M., Moretti, M., Roma, R., 2014. Optimization of organic and conventional olive agricultural practices from a life cycle assessment and life cycle costing perspectives. *J. Clean. Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.033>.
- Nemecek, T., Käfer, T., Dübendorf, Z., 2007. *Swiss Centre for Life Cycle Inventories A Joint Initiative of the ETH Domain and Swiss Federal Offices Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems Data v2.0, vol. 2007*.
- Nikkhah, A., Firouzi, S., El Haj Assad, M., Ghnimi, S., 2019. Application of analytic hierarchy process to develop a weighting scheme for life cycle assessment of agricultural production. *Sci. Total Environ.* 665, 538e545. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.170>.
- Notarnicola, B., Sala, S., Anton, A., McLaren, S.J., Saouter, E., Sonesson, U., 2017. The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: a review of the challenges. *J. Clean. Prod.* 140, 399e409.
- Oguzcan, S., Dvarioniene, J., Tugnoli, A., Kruopiene, J., 2019. Environmental impact assessment model for substitution of hazardous substances by using life cycle approach. *Environ. Pollut.* <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.113>.
- Pierobon, F., Zanetti, M., Grigolato, S., Sgarbossa, A., Anfodillo, T., Cavalli, R., 2015. Life cycle environmental impact of firewood production - a case study in Italy. *Appl. Energy* 150, 185e195. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.033>.
- PRe-Consultants, 2019. SimaPro | the world's leading LCA software [WWW Document] accessed 11.26.19. <https://simapro.com/>.

- Regina, K., Kaseva, J., Esala, M., 2013. Emissions of nitrous oxide from boreal agricultural mineral soils: statistical models based on measurements. *Agric. Ecosyst. Environ.* 164, 131e136.
- Ribeiro, J.P., Vicente, E.D., Alves, C., Querol, X., Amato, F., Tarelho, L.A.C., 2017. Characteristics of ash and particle emissions during bubbling fluidised bed combustion of three types of residual forest biomass. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 10018e10029. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8099-6>.
- Ritchie, H., Roser, M., 2019. Crop Yields. Our World Data.
- Rivera, X.C.S., Bacenetti, J., Fusi, A., Niero, M., 2017. The influence of fertiliser and pesticide emissions model on life cycle assessment of agricultural products: the case of Danish and Italian barley. *Sci. Total Environ.* 592, 745e757.
- Rocchi, L., Paolotti, L., Rosati, A., Boggia, A., Castellini, C., 2019. Assessing the sustainability of different poultry production systems: a multicriteria approach. *J. Clean. Prod.* 211, 103e114. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.11.013>.
- Rosenbaum, R.K., Anton, A., Bengoa, X., Bjørn, A., Brain, R., Bulle, C., Cosme, N., Dijkman, T.J., Fantke, P., Felix, M., 2015. The Glasgow consensus on the delineation between pesticide emission inventory and impact assessment for LCA. *Int. J. Life Cycle Assess.* 20, 765e776.
- Roy, P.-O., Azevedo, L.B., Margni, M., van Zelm, R., Deschênes, L., Huijbregts, M.A.J., 2014. Characterization factors for terrestrial acidification at the global scale: a systematic analysis of spatial variability and uncertainty. *Sci. Total Environ.* 500, 270e276.
- SEEG, 2017. Emissões de GEE do Brasil e suas implicações para políticas públicas e a contribuição brasileira para o Acordo de Paris [WWW Document]. *Sist. Estim. Emiss. e Remoções Gases Efeito Estufa*. accessed 3.3.19. www.seeg.eco.br.
- Sinditabaco, S. da I. do T., . Disponível em. <http://www.sinditabaco.com.br>. Divers. acessos. <http://www.sinditabaco.com.br/en/>.
- Skowronska, M., Filipek, T., 2014. Life cycle assessment of fertilizers: a review. *Int. Agrophys.* 28, 101e110. <https://doi.org/10.2478/intag-2013-0032>.
- Solli, C., Reenaas, M., Strømman, A.H., Hertwich, E.G., 2009. Life cycle assessment of wood-based heating in Norway. *Int. J. Life Cycle Assess.* 14, 517e528.
- Susca, T., 2012. Enhancement of life cycle assessment (LCA) methodology to include the effect of surface albedo on climate change: comparing black and white roofs. *Environ. Pollut.* 163, 48e54. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.019>.

- Taki, M., Soheili-Fard, F., Rohani, A., Chen, G., Yildizhan, H., 2018. Life cycle assessment to compare the environmental impacts of different wheat production systems. *J. Clean. Prod.* 197, 195e207. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.173>.
- Toffolatti, S.L., Venturini, G., Campia, P., Cirio, L., Bellotto, D., Vercesi, A., 2015. Sensitivity to cymoxanil in Italian populations of *Plasmopara viticola* oospores. *Pest Manag. Sci.* 71, 1182e1188. <https://doi.org/10.1002/ps.3906>.
- Tubiello, F.N., 2018. Greenhouse gas emissions due to agriculture. In: *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, pp. 196e205. <https://doi.org/10.1016/B9780-08-100596-5.21996-3>.
- Tuomisto, H.L., Hodge, I.D., Riordan, P., Macdonald, D.W., 2012. Does organic farming reduce environmental impacts? e a meta-analysis of European research. *J. Environ. Manag.* 112, 309e320. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.018>.
- Vicente, E.D., Duarte, M.A., Tarelho, L.A.C., Nunes, T.F., Amato, F., Querol, X., Colombi, C., Gianelle, V., Alves, C.A., 2015. Particulate and gaseous emissions from the combustion of different biofuels in a pellet stove. *Atmos. Environ.* 120, 15e27. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.067>.
- WHO, W.H.O., 2017. Tobacco and its Environmental Impact: an Overview. World Health Organization.
- Wiedmann, T., Minx, J., 2007. A definition of ‘ carbon footprint. *Science* 80 (1), 1e11. <https://doi.org/10.1088/978-0-750-31040-6>.
- Zafeiridou, M., Hopkinson, N.S., Voulvoulis, N., 2018. Cigarette smoking: an assessment of tobacco’s global environmental footprint across its entire supply chain. *Environ. Sci. Technol.* 52, 8087e8094. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01533>.

7. RESULTADOS

Os resultados obtidos nesta tese foram descritos e estão contemplados nos artigos:

- Artigo 1: *Carbon Footprint of agricultural production and processing of tobacco (Nicotiana tabacum) in southern Brazil*; Publicado na Revista *Environmental Technology & Innovation*.
- Artigo 2: *Human health risk and potential environmental damage of organic and conventional Nicotiana tobaccum production* – Publicado na Revista *Environmental Pollution*.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo avaliou os impactos ambientais potenciais a partir da abordagem de ACV, com uma perspectiva de ponto médio e ponto final das etapas do plantio de tabaco Virginia e Burley, comparando as técnicas usadas por produtores de tabaco do sul do país, para plantios convencionais e orgânicos. O uso de uma abordagem padronizada para quantificação de impactos ambientais potenciais de uma cadeia produtiva promove discussões coesas sobre aspectos de ciclo de vida referente a cada etapa do ciclo de produção e expõe lacunas na cadeia produtiva desta importante *commodity* brasileira, a qual é importante para o crescimento econômico dos três estados do sul do Brasil.

O discernimento sobre os maiores contribuintes para o impacto ambiental da cadeia produtiva agrícola do tabaco foi fundamental para o planejamento das medidas que serão adotadas em um plano de mitigação. O entendimento sobre o percentual de contribuição de 2% dos agrotóxicos, por exemplo, indica que há outras prioridades no setor a serem desenvolvidas e articuladas, como a atenção requerida pelo uso dos fertilizantes.

A exposição diária dos agricultores as emissões da queima da biomassa durante o período de secagem do tabaco interferem nos indicadores de saúde humana. Um ponto de atenção corresponde ao fato de as estufas serem próximas às residências dos agricultores. O contato com as emissões oriundas do uso de lenha como combustível para geração de calor nas estufas ocorre por 24 horas, durante 7 dias e por 3 meses. Ainda, a presença de material particulado fino foi diagnosticada, gerando ainda mais pontos de atenção à saúde do agricultor.

Um olhar atento à inclusão das estufas de secagem de tabaco nos inventários de emissões de gases de estufa emerge desta pesquisa, sendo sugerida que um rearranjo do modelo de construção e operação. Empresas do setor que tiverem contato com esta tese devem olhar para os impactos ambientais decorrente do plantio agrícola e inserir tais etapas na sua mensuração de indicadores ambientais. A utilização da ACV como uma abordagem que é capaz de quantificar os indicadores ambientais que fazem parte do processo, a qual corrobora com aspectos que correlacionam o uso de combustíveis renováveis e suas consequências orientadas a danos, principalmente a saúde humana, devido as emissões de materiais particulado. Ressalta-se que atualmente o tabaco é a principal matéria-prima na produção de cigarros e como o modelo atual de funcionamento desde mercado é caracterizado como integrado, indicamos que rever a decisão de abordar a produção agrícola como escopo do tipo III após estudos como este é um ponto a ser debatido.

Os dados utilizados neste estudo são fundamentais para o desenvolvimento de inventários de ciclo de vida de produtos florestais e serão incorporados ao inventário de ciclo de vida associado a produção agrícola do tabaco brasileira, pois tais dados se somam aos obtidos em trabalhos anteriores.

Outro aspecto identificado é o uso da terra para a monocultura. Tanto para o plantio de tabaco nos métodos convencionais e orgânicos como para a produção de eucalipto para biomassa, o indicador sobre o uso da terra apresenta atenção, interferindo significativamente na análise *endpoint* para a categoria de danos referente a qualidade dos ecossistemas.

Compreender o cenário no qual a *commodity* do tabaco está inserida foi fundamental para a conclusão da presente tese. A avaliação da produção agrícola do tabaco deverá fornecer informações para desenvolver mecanismos estratégicos a serem cocriados entre agricultores, empresas do setor, academia e sociedade civil, desde os níveis locais de gestão até a esfera global de produção e consumo, que possam mitigar os efeitos ambientais da atividade e simultaneamente possam acrescentar mais valor social e económico aos agricultores.

9. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Mensuração dos níveis de eficiência de geração de calor para cura do tabaco em diferentes modelos de estufas de secagem;
- Convenção Quadro do Tabaco e seu papel nos 17 objetivos do desenvolvimento sustentável. E quando 2030 chegar?
- Medida das emissões decorrentes dos processos de secagem e cura de tabaco;
- Pesquisas sobre a capacidade de absorção de dióxido de carbono no período de crescimento da planta *Nicotiana Tabacum*;
- A emissão material particulado interdepende da origem da madeira, sendo assim, estudos sobre doenças respiratórias devido a queima de biomassa em estufas de secagem, estas geralmente localizadas próximas ou, algumas vezes, acopladas aos lares dos agricultores devem ser realizados;
- Compreender e traçar a dispersão de poluentes nas propriedades para mensurar a qualidade do ar em áreas rurais cuja principal fonte de renda é oriunda do plantio do tabaco;
- A implantação de filtros nas chaminés dos fornos de secagem, estudos de localização da estufa, velocidade e direção do vento, dispersão da pluma de contaminação, localização da horta para consumo dos agricultores, isolamento eficaz da infraestrutura da estufa, uso correto da lenha;
- Como comunicar o impacto ambiental da produção agrícola tabaco produzido do Brasil a seus consumidores;
- O inventário de ciclo de vida da produção agrícola do tabaco padronizado no modelo desenvolvido pelo Programa Brasileiro de Ciclo de Vida e publicado no Banco Nacional de Inventários de Ciclo de Vida, conforme premissas descritas no Guia Qualidata.

10. REFERÊNCIAS

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR). Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e Orientações: 14.044. Rio de Janeiro. 2009.

_____. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR): Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura: 14.040. Rio de Janeiro. 2009.

_____. Introduction to LCA with SimaPro. Pré 2016.

ACHADI, A.; SOEROJO, W.; BARBER, S. The relevance and prospects of advancing tobacco control in Indonesia. *Healthy Policy*, v. 72, p. 333 – 349, 2005.

AFUBRA - ASSOCIAÇÃO, D. F. D. B. Disponível em< www.afubra.com.br>. Acesso em: 2018.

ANGEON, V.R.; BATES, S. Reviewing Composite Vulnerability and Resilience Indexes: A Sustainable Approach and Application. *World Development*, v. 72, p. 140–162, 2015.

BACENETTI, J., FUSI, A., NEGRI, M., BOCCHI, M., FIALA, M. Organic production systems: Sustainability assessment of rice in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 225, p. 33–44, 2016.

BAI, Y. DENG, X., JIANG, S., ZHAO, Z., MIAO, Y. Relationship between climate change and low-carbon agricultural production: A case study in Hebei Province, China. *Ecological Indicators*, 2019.

BANAR, M.; COKAYGIL, Z.; OZKAN, A. Life cycle assessment of solid waste management options for Eskisehir, Turkey. *Waste Management*, v. 29, n. 1, p. 54-62, 2018.

BAO, Y.; WANG, Y. Thermal and Moisture Analysis For Tobacco Leaf Flue-curing with Heat Pump Technology. *Procedia Engineering*, v. 146, p.481 – 493, 2016.

BILALI, H.E.; ALLAHYARI, M. S. Transition towards sustainability in agriculture and food systems: Role of information and communication Technologies. *Information processing in agriculture*, v. 5 p. 456–464, 2018.

BLECHER, E. The impact of tobacco advertising bans on consumption in developing countries *Journal of Health Economics*, v. 27, p. 930–942, 2008.

BOETTCHER, R. L. Pegada de carbono e impactos ambientais da produção agrícola e processamento de tabaco (*Nicotiana tabacum*) na Região Sul do Brasil. Dissertação de Mestrado, Universidade de Santa Cruz do Sul, 2018.

BRENTROP, F., KÜSTERS, J., LAMMEL, J., KUHLMANN, H., Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology. *Europe Journal of Agronomy*, v. 20, p. 265-279, 2004.

CARVALHO, R.L.; JENSEN, O.M.; TARELHO, L.A.C. Mapping the performance of wood-burning stoves by installations worldwide. *Energy and Buildings*, v. 127, p. 658 – 679, 2016.

COLLINS, W. K.; HAWKS JR, S. N. Fundamentos da produção do tabaco de estufa. Tradução de Ernani A. Weiss. Santa Cruz do Sul:[sn], 2011.

CURRAN, M.A. LIFE CYCLE ASSESSMENT: PRINCIPLES AND PRACTICE. National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio 45268.

CURRAN. M.A. Life Cycle Assessment: a review of the methodology and its application to sustainability. *Chemical Engineering*, n. 2, p. 273 – 277, 2013.

DASGUPTA, D.J., PRASADA R. T. D., VITHAL P. S.R.V.S., KAPUR P. C. Flue curing of Virginia tobacco by a tube-in-basket (TiB) burner using rice husk as fuel and barn insulation. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 5, p. 47-60, 1991.

DROPE, J.; SCHLUGER, N.W. The tobacco atlas. Sixth edition. Published by the American Cancer Society, Inc. The tobacco atlas. Sixth edition, 2018.

EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010.

European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edition March 2010.

FAO, 2017. The future of food and agriculture: Trends and challenges. Rome.

BRITO DE FIGUEIRÊDO, M.C., POTTING, J., LOPES SERRANO, L.A., BEZERRA, M.A., DA SILVA BARROS, V., GONDIM, R.S., NEMECEK, T. Environmental assessment of tropical perennial crops: the case of the Brazilian cashew. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 131 - 140, 2016.

FLORINDO, T.J. FLORINDO, G.I.M., TALAMINI, E., COSTA, J.S., RUVIARO, C.F. Carbon footprint and Life Cycle Costing of beef cattle in the Brazilian midwest. *Journal of Cleaner Production*, v.147, p.119 - 129, 2017.

FRAVAL, S., VAN MIDDELAAR, C.E., RIDOUTT, B.G., OPIO, C. Life Cycle Assessment of Food Products. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, v. 3, p. 488 – 496, 2019.

GARNETT, T. Livestock-related greenhouse gas emissions: impacts and options for policy makers. *environmental science & policy*, v. 12, p. 491–503, 2009.

GEIST, H.J., KANG TSUNG CHANG, VIRGINIA ETGES, JUMANNE M. ABDALLAH. Tobacco growers at the crossroads: Towards a comparison of diversification and ecosystem impacts. *Land Use Policy*, v. 26, p. 1066–1079, 2009.

GOGLIO, P. P., SMITH, W.N., GRANT, B.B., DESJARDINS, R.L., GAO, X., HANIS, K., TENUTA, M., CAMPBELL, C.A., MCCONKEY, B.G., NEMECEK, T., BURGESS, P.J., WILLIAMS, A.G. A comparison of methods to quantify greenhouse gas emissions of cropping systems in LCA. *J. Clean. Prod.* v. 172, p. 4010 – 4017, 2018.

GULTUREANU, B.I.; D. GULTUREANU, D. Research report with the inventory of the pollution sources and their impact on the environment. the inventory of the impact sources and their influence on the atmosphere. *Nucleation and Atmospheric Aerosols*, p. 577 – 580, 1996.

HAJJAR R., NEWTON, P., ADSHEAD, D., BOGAERTS, M., RAJPAUL, V.A.M., PINTO, L.F.G., DERMOTT., C.L.Mc., MILDNER, J.C., WOLLENBERG, E., AGRAWAL, A. Scaling up sustainability in commodity agriculture: Transferability of governance mechanisms across the coffee and cattle sectors in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v.206, p. 124 - 132, 2018.

HESAMPOUR, R.; BASTANI A.; HEIDARBEIGI, K. Environmental assessment of date (*Phoenix doctylifera*) production in Iran by life cycle assessment. *INFORMATION PROCESSING IN AGRICULTURE*, v. 5, p. 388–393, 2018.

HUSSAIN, M., SYED M. H. Z., RIFFAT N. M., BENKTESH D. S. Greenhouse gas emissions from production chain of a cigarette manufacturing industry in Pakistan. *Environmental Research*, v. 134, p. 81–90, 2014.

HUSSAIN, M., MALIK, R.N., TAYLOR, A., PUETTMANN, M. Hazardous pollutants emissions and environmental impacts from fuelwood burned and synthetic fertilizers applied by tobacco growers in Pakistan. *Environmental Technology & Innovation*, v.7, p. 169–181, 2017.

KIENLEA, U.; MANOS, B.; JUNGBLUTHA T. Alternatives to Tobacco cultivation—Towards an evidence based approach. *Land Use Policy*, v. 45, p. 199 – 203, 2015.

KOPP, B.T., HINTON, A., LU, R., COOPER, S., NAGARAJA, H., WEWERS, M.E. Impact of Presence of Children on Indoor Tobacco Restrictions in Households of Urban and Rural Adult Tobacco Users. *ACADEMIC PEDIATRICS*, v. 18, n° 8, p. 920 – 927, 2018.

KOSSOVA, T.; KOSSOVA E.; SHELUNTCOVA M. Anti-smoking policy in Russia: Relevant factors and program planning. *Evaluation and Program Planning*, v. 69, p. 43 – 52, 2018.

KUIJPERS, T.G.; WILLEMSSEN, M.C.; KUNST, A.E. Public support for tobacco control policies: The role of the protection of children against tobacco. *Health Policy*, v. 122, p. 929–935, 2018.

LI, W., GUO, S., LIU, H., ZHAI, L., WANG, H., LEI, O. Comprehensive environmental impacts of fertilizer application vary among, 2018.

LIDÓN-MOYANO, C., SAMPEDRO-VIDA, M., MATILLA-SANTANDER, N., MARTÍN-SÁNCHEZ, J.C., GONZÁLEZ-MARRÓN, A., BUNCH K., MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J., M., Attitudes towards tobacco product regulations and their relationship with the tobacco control policies. *Preventive Medicine*, v. 111, p. 67–72, 2018.

MAHDINIA, I. HABIBIAN, M., HATAMZADEH, Y., GUDMUNDSSON, H. An indicator-based algorithm to measure transportation sustainability: A case study of the U.S. states. *Ecological Indicators*, v. 89, p. 738 – 754, 2018.

MARCO, I.; RIEMMA S.; IANNONE R. Life cycle assessment of supercritical CO₂ extraction of caffeine from coffee beans. *The Journal of Supercritical Fluids*, v. 133, p. 393 – 400, 2018.

MARTEL, S. Método multirresíduo para agrotóxicos e compostos relacionados em ar empregando trapeamento em sorvente polimérico e CG-MS/MS. Tese de Doutorado. Universidade federal de Santa Maria, programa de pós-graduação em química, 2013.

MASSARUTTO, A. Economic aspects of thermal treatment of solid waste in a sustainable WM system. *Waste Management*, v. 37, p. 45-57, 2015.

MMA (Ministério do Meio Ambiente: Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/noticias/agropecuaria-puxa-o-pib-de-201>. Acesso em: 05 de novembro, 2018.

MOON, G., BARNETT, R., PEARCE, J., THOMPSON, L., TWIGG, L. The tobacco endgame: The neglected role of place and environment. *Health and Place*, v. 53, p. 271 – 278, 2018.

NUYTS, P.A.W. How can a ban on tobacco sales to minors be effective in changing smoking behaviour among youth? — A realist review. *Preventive Medicine*, v. 115, p. 61–67, 2018.

OLIVEIRA, P.F. Avaliação do ciclo de vida aplicada à produção do tabaco. Trabalho de Conclusão de Curso, 2016.

ORIVE, J.I.G.; RUIZ, C.A.J.; REINAC, S.S. Posicionamiento de la Organización Mundial de la Salud. Impacto del tabaco en el medio ambiente: cultivo, curado, manufactura, transporte y tabaquismo de tercera y cuarta mano. *Arch Bronconeumol*, v. 54(7), p. 357 – 358, 2018.

PAVAN, A.L.R.; OMETTO, A.R. Regionalization of land use impact models for life cycle assessment: Recommendations for their use on the global scale and their applicability to Brazil. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 60, p. 148 – 155, 2016.

PENTZ, M.A., HIEFTJE K.D., PENDERGRASS, T.M., BRITO, S.A., LIU, M., ARORA, T., TINDLE, H.A., KRISHNAN-SARIN, S., FIELLIN, L., E. A videogame intervention for tobacco product use prevention in adolescents. *Addictive Behaviors*, Article in press.

QIN, Z., SUN M., LUO, X., ZHANG, H., XIE, J., CHEN, H., YANG, L., SHI, L. Life-cycle assessment of tobacco stalk utilization. *Bioresource Technology*, v. 265, p. 119–127, 2018.

RASMUSSEN, L.V. Bridging the practitioner-researcher divide: Indicators to track environmental, economic, and sociocultural sustainability of agricultural commodity production. *Global Environmental Change*, v. 42, p. 33 – 46, 2017.

RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS PARA A CULTURA DOS FUMOS ESTUFA E GALPÃO; Centro de Pesquisa e Desenvolvimento & Departamento de Fumo da SOUZA CRUZ S/A; PACOTE TÉCNOLÓGICO; Safra 2009.

RENOUF, M.A., GENTIÉ, R., PERRIM, A., VAN DER WERF, H.M.G., KANYARUSHOKI, C., JOURJON, C.F. Effectiveness criteria for customised agricultural life cycle assessment tools. *Journal of Cleaner Production*, v. 179, p. 246 – 254, 2018.

RIVERA, X.C.S., BACENETTI, J., FUSI, A., NIERO, M. The influence of fertiliser and pesticide emissions model on life cycle assessment of agricultural products: The case of Danish and Italian barley. *Science of the Total Environment*, v.592, p. 745–757, 2017.

ROY, P.O., AZEVEDO, L.B., MARGNI, M., VAN ZELM, R., DESCHENES, L., HUIJBREGTS, M.A.J., Characterization factors for terrestrial acidification at the global scale: A systematic analysis of spatial variability and uncertainty. *Science of the Total Environment*, v. 500–501, p. 270–276, 2014.

RUVIARO, C. F., COSTA, J.S., FLORINDO, T.S., RODRIGUES, W., MEDEIROS, G.I.B., VASCONCELO, P.S. Economic and environmental feasibility of beef production in different feed management systems in the Pampa biome, southern Brazil. *Ecological Indicators*, v. 60, p. 930–939, 2016.

CLANDIO F. RUVIARO, C.F., GIANEZINI, M., BRANDÃO, F.S., WINCK, C.A., DEWES, H. Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. *Journal of Cleaner Production*, v.28, p. 9 - 24, 2012.

SHOBRI, N.I.B.M.; SAKIP, S.R.M.; OMAR, S.S. Malaysian Standards Crop Commodities in Agricultural for Sustainable Living. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 222, P. 485 – 492, 2016.

SIDDIQUI, K.M.; RAJABU, H. Energy efficiency in current tobacco-curing practice in tanzania and its consequences. *Energy*, v. 21, p. 141-145, 1996.

LOPES SILVA, D.A., IVETE D., MARY, L. D. M., OMETTO, A. R... Life cycle assessment of the sugarcane bagasse electricity generation in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.32, p. 532–547, 2014.

SINDITABACO, Sindicato Interstadual da Industria do Tabaco, *Tabaco no Sul do Brasil: Tradição e Renda*, 2016, Santa Cruz do Sul, RS.

SKOWROŃSKA, M.; FILIPEK, T. Life cycle assessment of fertilizers: a review, *Int. Agrophys*, v. 28, p.101-110, 2014.

SLONGO, L.A. (Coordenador Geral). Boas Práticas Agrícolas para fornecedores de tabaco Centro de Estudos e Pesquisas em Administração – UFRGS, 2016.

TAKI, M., SOHEILI-FARD, F., ROHANI, A., CHEN, G., YILDIZHAN, H. Life cycle assessment to compare the environmental impacts of different wheat production systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 197, p. 195 – 207, 2018.

TUBIELLO, F.N. Greenhouse Gas Emissions Due to Agriculture Statistics Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 2018.

WILLY, D.K.; MUYANGA, M.; JAYNE, T. Can economic and environmental benefits associated with agricultural intensification be sustained at high population densities? A farm level empirical analysis, *Land Use Policy*, v. 81, p. 100–110, 2019.

WITTMAYER, M.; LANGER, S.; SAWILLA, B. Possibilities and limitations of life cycle assessment (LCA) in the development of waste utilization systems – Applied examples for a region in Northern Germany. *Waste Management*, v. 29, n. 5, p. 1732-1738, 2009.

YANG, Y. Toward a more accurate regionalized life cycle inventory. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 308 - 315, 2016.

YUSÀ V, COSCOLLÀ C, MELLOUKI W, PASTOR A, DE LA GUARDIA M. Sampling and analysis of pesticides in ambient air. *Journal of Chromatography A*, v.1216 p. 2972–2983, 2009.

ZHANG, L., ZHANG, X., JI, H., WANG, W., LIU, J., WANG, F., XIE, F., YU, Y., QIN, Y., WANG, X., Metabolic profiling of tobacco leaves at different growth stages or diferente stalk positions by gas chromatography–mass spectrometry. *Industrial Crops & Products*, v. 116, p. 46–55, 2018.

ZHOU, S., HE, Q., WANG, X., NING, M., YANG, Y., XU, Y., ZHANG, Y., ZOU, P., TIAN, Z., CHEN, K., WANG, H., SHE, S. An insight into the roles of exogenous potassium salts on the thermaldegradation of flue-cured tobacco. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 123, p. 385–394, 2017.

ZORE, Z.; CUCEK L.; KRAVANJA Z. Synthesis of sustainable production systems using na UPGR. *Journal of Cleaner Production*, v. 201, p. 1138 – 1154, 2018.

ZORTEA, R.B.; MACIEL, V.G.; PASSUELLO, A. Sustainability assessment of soybean production in Southern Brazil: A life cycle approach. *Sustainable Production and Consumption*, v. 13, p. 102 – 112, 2018.

ZOU, C., LI, Y., HUANG, W., ZHAO, G., PU, G., SU, J., COYNE, M.S., CHEN, Y., WANG, L., HU, X., JIN, Y. Rotation and manure amendment increase soil macro-aggregates and associated carbon and nitrogen stocks in flue-cured tobacco production. *Geoderma*, v. 325, p. 49–58, 2018.

