

CIRCULAR TÉCNICA

32

Jaguariúna, SP
Novembro, 2022

ICVCalc: ferramenta para construção de inventários agrícolas para estudos de Avaliação de Ciclo de Vida

Marília Ieda da Silveira Folegatti-Matsuura
Fernando Henrique Cardoso
Anna Letícia Montenegro T. Pighinelli
Vinícius Gonçalves Maciel
Nilza Patrícia Ramos
Danilo F. T. Garofalo
Natalia Crespo Mendes
Claudia Cristina S. Moore
Renan Milagres Lage Novaes
Marcelo A. Boechat Morandi

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

ICVCalc: ferramenta para construção de inventários agrícolas para estudos de Avaliação de Ciclo de Vida¹

Introdução

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia sistêmica e iterativa aplicada como técnica para quantificar potenciais impactos ambientais de produtos e serviços. Para isso, esse tipo de avaliação considera todas as entradas e saídas ao longo do ciclo de vida do sistema estudado. Reconhecida internacionalmente e padronizada pelas ISO 14.040 e ISO 14.044 (ISO, 2006a, 2006b), a ACV é estruturada a partir de quatro fases principais: (i) definição de objetivo e escopo; (ii) análise do inventário do ciclo de vida (ICV); (iii) avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV); e (iv) interpretação.

É durante o ICV, foco deste documento, que ocorre a compilação e quantificação das entradas e saídas do sistema a ser estudado. Essa fase envolve, portanto, a coleta dos dados necessários para a avaliação, como insumos (materiais e energia), emissões e resíduos, além da identificação dos produtos e coprodutos. Procedimentos de cálculo para ajustes, alocação e validação dos dados também fazem parte dessa etapa, caracterizada pela construção e análise dos inventários dos produtos e processos. Esses inventários podem ser construídos com base em dados primários, como os medidos em campo, ou secundários, obtidos nas literaturas técnica e científica.

¹ Marília Ieda da Silveira Folegatti-Matsuura, Zootecnista, doutora em Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. Fernando Henrique Cardoso, Engenheiro-químico, mestre em modelagem e simulação de processos, bolsista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. Anna Letícia Montenegro T. Pighinelli, Engenheira-agrícola, doutora em Processos Termoquímicos, analista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. Vinícius Gonçalves Maciel, Químico Industrial, doutor em Engenharia, bolsista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. Nilza Patrícia Ramos, Engenheira-agrônoma, doutora em Produção Vegetal, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. Danilo F. T. Garofalo, Geógrafo, doutor em Análise Ambiental e Dinâmica Territorial, bolsista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. Natalia Crespo Mendes, Química, doutora em Avaliação de Ciclo de Vida, bolsista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. Claudia Cristina S. Moore, Engenheira-química, doutora em Avaliação de Ciclo de Vida, bolsista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. Renan Milagres Lage Novaes, Biólogo, especialista em Gestão de Projetos, analista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. Marcelo A. Boechat Morandi, Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

A elaboração de inventários para estudos de ACV é extremamente onerosa. Para processos agrícolas a construção de inventários é ainda mais complexa, uma vez que não é possível controlar todos os fluxos de material e energia, porque ocorrem em ambiente aberto, e onde a fronteira entre o ambiente natural e o ambiente de produção é, por vezes, difusa. A maior parte dos fluxos de saída em processos agrícolas é estimada por meio de modelagem, mas os modelos disponíveis atualmente na literatura científica são adequados para a agricultura de clima temperado. A adaptação de modelos para uma representação mais fidedigna da agricultura brasileira é um grande desafio.

A ICVCalc foi construída justamente para ofertar à comunidade de Avaliação de Ciclo de Vida uma ferramenta para a construção de inventários de processos agrícolas com modelos mais adequados à agricultura brasileira. Foi desenvolvida por pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente e colaboradores, e está disponível no sítio eletrônico dessa Unidade de Pesquisa da Embrapa².

Essa ferramenta é composta por um conjunto de planilhas em Plataforma Excel, que registram metadados³ e dados de entrada de um inventário de processo agrícola, estimam emissões para os compartimentos ambientais por meio de diferentes protocolos, e assim geram inventários de processo completos.

A ICVCalc está preparada para trabalhar com culturas anuais e perenes com fluxos anuais de entrada. O usuário pode partir de dados brutos, fazendo uso da “Primary Data”, ou iniciar o preenchimento pela aba “Input Data”, com os dados já organizados por quantidade do fluxo (recurso natural ou insumo), referenciado a um hectare ou um quilograma de produto.

O inventário consolidado de entradas e saídas de um processo agrícola é o produto final da ICVCalc. O inventário do ciclo de vida do produto agrícola será gerado em programas computacionais de ACV específicos, em que os fluxos do processo em estudo serão vinculados a fluxos de bancos de dados de “background”⁴.

² <https://www.embrapa.br/meio-ambiente/solucoes-tecnologicas>

³ Refere-se à documentação complementar ao inventário, utilizada para descrever um conjunto de dados (Rodrigues et al., 2016).

⁴ Dados de “background” são dados de processos que refletem a economia como um todo e que são extraídos de bancos de dados de referência.

As saídas, ou emissões dos processos agrícolas para os compartimentos ambientais, são estimadas por meio de diferentes protocolos metodológicos: “Nemecek” (Nemecek; Schnetzer, 2012), “Agri-footprint” (Van Paassen et al., 2019), “WFLDB” (Nemecek et al., 2015), “Agribalyse” (Koch; Salou, 2020), “IPCC” (Calvo-Buendía, 2019), “BR-Calc”. Um diferencial da ICVCalc é, com um mesmo esforço de levantamento de dados de entrada, poder gerar inventários de processo completos, por esses padrões metodológicos diferentes e complementares.

Outro diferencial é a inclusão do BR-Calc. Este protocolo está sendo proposto pela Embrapa e reúne os modelos para estimação de emissões mais adequados às condições da agricultura brasileira, além de ser alimentado com parâmetros de clima e solo específicos para as 137 mesorregiões agrícolas do país. Além da calculadora, propriamente, a ICVCalc é composta por vários bancos de dados auxiliares, que facilitam a construção dos inventários.

Vale destacar que a ICVCalc, como uma ferramenta de apoio à avaliação de impactos ambientais potenciais, representados nas categorias de danos “Saúde Humana”, “Qualidade Ambiental”, “Esgotamento de Recursos Naturais”, contribui direta e indiretamente, com muitos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, como “Fome Zero e Agricultura Sustentável”(ODS 2; Metas 2.3 e 2.4), “Água Potável e Saneamento” (ODS 6; Metas 6.3 e 6.4), “Energia Limpa e Acessível” (ODS 7; Metas 7.2 e 7.3), “Consumo e Produção Responsáveis” (ODS 12; Metas 12.2, 12.4,12.5 e 12.6), “Ação contra a Mudança Global do Clima” (ODS 13; Metas 13.2 e 13.3) e “Vida Terrestre” (ODS 15; Meta 15.1).

Visão geral

A ICVCalc é composta pelas seguintes abas: “Introduction”, “Methodologies”, “Guidance”, “Metadata”, “Primary Data”, “Allocation”, “Input Data”, abas de cálculo para diferentes protocolos (BR-Calc, Nemecek-Calc, Agri-footprint-Calc, WFLDB-Calc, Agribalyse-Calc e IPCC-Calc), abas de inventários de entradas e saídas consolidados para cada protocolo (-LCI), Emissions Comparison, Vehicle_Fuel_emissions, Agri_Op_emissions, DB_Pesticides. As seções a seguir detalham o conteúdo dessas abas.

Abas de orientação ou documentais

Na ICVCalc são quatro as abas dedicadas à orientação do uso da ferramenta e ao registro documental: “Introduction”, “Methodologies”, “Guidance” e “Metadata”, brevemente descritas abaixo.

“Introduction”

A aba “Introduction” traz a identificação da ICVCalc e instruções sobre como ela deve ser citada; lista os autores e revisores e seus respectivos contatos. Traz também uma breve descrição das outras abas dessa calculadora.

“Methodologies”

A aba “Methodologies” descreve os protocolos que compõem a ICVCalc. Todas as metodologias reunidas na ferramenta se prestam a estimar emissões de diferentes naturezas, que partem de processos de produção agrícola para os compartimentos ambientais ar, água e solo, para a composição de inventários para estudos de ACV, capazes de expressar o perfil ambiental completo de um produto agrícola. A única exceção é o IPCC de 2019 (Calvo-Buendía, 2019), que estima apenas as emissões de gases de efeito estufa (GEE), para estudos relacionados especificamente ao impacto em mudanças climáticas.

Nemecek

Nemecek e Schnetzer (2012) são autores de um documento técnico que reúne métodos para a avaliação de emissões diretas do campo, para inventários de ciclo de vida de sistemas de produção agrícolas. Esse documento se baseou principalmente no “ecoinvent Report N° 15” (Nemecek; Kägi, 2007).

Corresponde à referência para a elaboração de inventários para o ecoinvent – o maior e mais completo banco de dados internacional de Inventários de Ciclo de Vida. Esse repositório cobre vários setores da economia, em níveis regional e global. Contém mais de 18 mil atividades (processos ou serviços), oferecendo um grande conjunto dedicado a processos agrícolas, pecuários e agroindustriais.

Agri-footprint

Agri-footprint é outro banco de dados internacional de Inventários de Ciclo de Vida, mas neste caso voltado exclusivamente aos setores agrícola e alimentício. Esse banco de dados compreende mais de 11 mil atividades, abrangendo produtos para a alimentação humana e animal e biomassa para outros fins. Sua referência metodológica é proposta por Van Paassen et al. (2019).

WFLDB

O terceiro conjunto de métodos integrado à ICVCalc é o derivado do "World Food LCA Database (WFLDB) Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products", elaborado por Nemecek et al. (2015). Esse banco de dados, como seu nome indica, contempla produtos agrícolas e produtos alimentícios processados. Tem escopo geográfico global. Em grande medida, os métodos do WFLDB correspondem aos de Nemecek e Schnetzer (2012), atualizados⁵.

Agribalyse

Outro método representado na ICVCalc é o adotado pelo banco de dados Agribalyse v3.0 (Koch; Salou, 2020), que complementa o relatório de Asselin-Balençon et al. (2020). Trata-se de um banco bem mais restrito, voltado a produtos da agricultura francesa. Portanto, os modelos contidos nesse protocolo representam especificamente a realidade daquele país.

IPCC 2019

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – sigla em inglês de "Intergovernmental Panel on Climate Change") é uma iniciativa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e da Organização Meteorológica Mundial. As Diretivas (Guias) do IPCC (Gavrilova, 2019a, 2019b) fornecem metodologias para estimar emissões por fontes antrópicas (derivadas de ações humanas) e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa.

⁵ Embora o WFLDB seja uma atualização do protocolo Nemecek e Schnetzer (2012), este último continua em uso.

O “2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories” corresponde à versão mais atual disponível desse documento. Agricultura, silvicultura e outros usos da terra são contemplados em seu Volume 4, sendo consideradas metodologias de cálculo com sólida base científica, reconhecidas e utilizadas mundialmente.

BR-Calc

Os protocolos internacionais dedicados a orientar a construção de inventários de produtos agrícolas foram concebidos para a agricultura de clima temperado. Os modelos para estimação de emissões representam processos biofísicos e são alimentados com parâmetros adequados para aquela realidade.

O primeiro esforço no sentido de se construir uma ferramenta adaptada à agricultura tropical é expresso na BR-Calc. Essa calculadora reúne modelos selecionados a partir dos outros protocolos da ICVCalc (Tabela 1) e os vincula a parâmetros edafoclimáticos e técnicos específicos para as regiões agrícolas brasileiras (Tabela 2 e Tabela 3).

Tabela 1. Emissões ou remoções de substâncias por compartimento ambiental e modelos para sua estimação, adotados pela BR-Calc.

TIPO DE EMISSÃO	MODELO
Ar, amônia (NH ₃), derivada de fertilizantes sintéticos	Tier 2 (European Environment Agency, 2019)
Ar, amônia (NH ₃), derivada de fertilizantes orgânicos	Agrommon model (Agrammon Group, 2009b)
Ar, amônia (NH ₃), derivada da vinhaça de cana-de-açúcar	Nemecek e Schnetzer (2012)
Ar, óxidos de nitrogênio (NOx)	WFLDB (Nemecek et al., 2015)
Ar, óxido nitroso (N ₂ O)	Tier 1 (Calvo Buendía, 2019)
Ar, gás carbônico fóssil (CO ₂), derivado do calcário e ureia	Tier 1 (Eggleston, 2006)
Ar, gases derivados da combustão de biomassa agrícola Dióxido de carbono (CO ₂), Monóxido de carbono (CO), Metano biogênico (CH ₄), Óxido nitroso (N ₂ O), Óxidos de nitrogênio (NOx)	Tier 1 (Calvo Buendía, 2019)

Continua...

Tabela 1. Continuação.

TIPO DE EMISSÃO	MODELO
Ar, gás carbônico (CO ₂), derivado de Mudança de Uso da Terra	BRLUC (Garafolo et al., 2022)
Ar, pesticidas	PestLCI Consensus v1.0, parametrizado para o Brasil (Birkved; Hauschild, 2006)
Água de subsolo, por lixiviação, nitrato (NO ₃)	SQCB-NO ₃ model, WFLDB (Nemecek et al., 2015), adaptado ao Brasil
Água superficial, por erosão, fósforo (P)	WFLDB (Nemecek et al., 2015), adaptado ao Brasil
Água superficial, por erosão, metais pesados Cd, Cu, Pb, Cr, Hg, As	WFLDB (Nemecek et al., 2015), adaptado ao Brasil
Água, pesticidas	PestLCI Consensus v1.0, parametrizado para o Brasil (Birkved; Hauschild, 2006)
Solo agrícola, metais pesados Cd, Cu, Pb, Cr, Hg, As	WFLDB (Nemecek et al., 2019), adaptado ao Brasil
Solo, pesticidas	PestLCI Consensus v1.0, parametrizado para o Brasil (Birkved; Hauschild, 2006)
TIPO DE REMOÇÃO	MODELO
Do ar, gás carbônico (CO ₂), absorvido durante a fotossíntese	WFLDB (Nemecek et al., 2019), adaptado ao Brasil

Estabelecer os parâmetros edafoclimáticos para alimentar os modelos para estimação de emissões em estudos de ICV é uma tarefa dispendiosa. Os dados são muitas vezes inexistentes ou de difícil obtenção (Ayer et al., 2021). Para preencher tal lacuna, o protocolo BR-Calc construiu bases de dados de parâmetros de clima e solo específicos para as 137 mesorregiões agrícolas do Brasil (IBGE, 2020). A partir de repositórios nacionais e internacionais, foram levantados e compilados os dados edafoclimáticos apresentados na Tabela 2. Esses dados foram processados em ambientes de sistema de informações geográficas, de modo a gerar valores médios na escala de mesorregião do IBGE, o que permite avaliações em maior conformidade com as características do ambiente inventariado.

Tabela 2. Parâmetros edafoclimáticos empregados no protocolo BR-Calc.

PARÂMETROS EDAFOCLIMÁTICOS		UNIDADE	FONTE	APLICAÇÃO NA BR-CALC
Perda de Solo		t ha ⁻¹ ano ⁻¹		
Erosividade - Fator R		MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹		
Erodibilidade - Fator K		t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹	Borrelli et al. (2017), European Soil Data Centre (2019)	Cálculo de emissões de fósforo por meio da erosão hídrica para águas superficiais e emissões de metais pesados por erosão
Fatores topográficos - Fator LS		adimensional		
Fatores de Uso e Manejo do solo - Fatores c1 e c2		adimensional		
Perda de fósforo (P)		kg P ha ⁻¹ ano ⁻¹		
Vigência de práticas conservacionistas - Fator P		adimensional	Bertoni; Lombardi (1999)	Cálculo de emissões de fósforo por meio da erosão hídrica para águas superficiais
Teor de argila		%	NASA (2022)	
Carbono orgânico do solo		t ha ⁻¹	FAO (2020)	Cálculo da lixiviação de nitrato (NO ₃) para águas subterrâneas
Zona ecoclimática		adimensional	Eggleston (2006)	
Precipitação		mm ano ⁻¹	Alvares et al. (2014)	
pH		adimensional	FAO (2009)	Cálculo de emissões de amônia para o ar a partir do uso de fertilizantes nitrogenados
Uso agropecuário		%		
Cobertura vegetal natural		%	MapBiomass, coleção 6 (MapBiomass, 2021)	Cálculo de emissão de pesticidas
Corpos d'água		%		

Tabela 3. Outros parâmetros (não edafoclimáticos) empregados no protocolo BR-Calc.

BR-Calc	SOJA	
	VALOR SUGERIDO	FONTE
<i>Ar, óxido nitroso (N₂O), emissões diretas</i>		
<p>$F_{OS,CG,TROP}$ = the amount of organic soil (cropland, grassland and tropical)</p> <p>[$F_{OS,CG,TROP}$ = quantidade de solo orgânico (agricultura, pastagem e tropical)]</p>	0	Fração de solo orgânico no Brasil é ínfima e não cultivada
<p>$EF_{2,CG,TROP}$ = emission factor for N₂O</p> <p>[$EF_{2,CG,TROP}$ = fator de emissão para N₂O]</p>	Não é selecionado, já que o campo acima é 0	
<p>$\Delta C_{Mineral, LU}$ = average annual loss of soil carbon for each land-use type (LU)</p> <p>[$\Delta C_{Mineral, LU}$ = perda anual média de carbono do solo para cada tipo de uso da terra]</p>	Valor da emissão de CO ₂ da cultura para determinada região, obtido no BRLUC, convertido em carbono (i.e., dividido por 44/12)	Garofalo et al. (2022).
<p>R = C/N ratio of the soil organic matter. A default value of 15 (uncertainty range from 10 to 30)</p> <p>[R = razão C/N da matéria orgânica do solo (a incerteza varia de 10 a 30)]</p>	15 [adimensional]	Recomendação de especialistas
<p>$Frac_{Remove(T)}$ = fraction of above-ground residues of crop T removed annually</p> <p>[$Frac_{Remove(T)}$ = fração de resíduos aéreos da cultura T removida anualmente]</p>	0	Todo o resíduo agrícola fica no campo
<p>$Frac_{Burnt(T)}$ = fraction of annual harvested area of crop T burnt</p> <p>[$Frac_{Burnt(T)}$ = fração queimada da área da cultura T colhida anualmente]</p>	0	Não há queima pré ou pós-colheita
<p>$Area_{(T)}$ = total annual area harvested of crop T</p> <p>[$Area_{(T)}$ = área total da cultura T colhida anualmente]</p>	1 [ha ano ⁻¹]	Emissões estimadas para 1 ha

Continua...

Tabela 3. Continuação.

BR-Calc	SOJA	
	VALOR SUGERIDO	FONTE
Frac _{Renew(T)} = fraction of total area under crop T that is renewed annually [Frac _{Renew(T)} = fração da área total sob a cultura T renovada anualmente]	1 [adimensional]	IPCC (para culturas temporárias)
F _{PRP, CPP} = amount of cattle (dairy, nondairy and buffalo), poultry and pigs [F _{PRP, CPP} = quantidade de gado bovino (de leite, de outra natureza e bubalino), frango e porcos]	0	Zero, se cultura agrícola. Aplica-se apenas à pecuária
F _{PRP, SO} = amount of sheep and 'other animals' [F _{PRP, SO} = quantidade de ovinos e 'outros animais']	0	Zero, se cultura agrícola. Aplica-se apenas à pecuária
<i>Ar, gases derivados da combustão de biomassa agrícola</i>		
<i>Dióxido de carbono (CO₂), Monóxido de carbono (CO), Metano biogênico (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Óxidos de nitrogênio (NOx)</i>		
A = area burnt [A = área queimada]	0 [ha]	Só preencher quando houver área queimada como manejo, o que não ocorre para a soja
MB = mass of fuel available for combustion. This includes biomass, ground litter and dead wood. When Tier 1 methods are used, then litter and dead wood pools are assumed zero, except where there is a land-use change; [MB = massa de combustível disponível para combustão. Isto inclui bioassa, cobertura morta e madeira morta. Quando métodos de Tier 1 são usados, então os "pools" de cobertura e madeira morta são assumidos como zero, exceto onde há mudança de uso da terra]	0 [kg ha ⁻¹]	Só preencher quando houver área queimada como manejo, o que não ocorre para a soja
<i>Ar, gás carbônico (CO₂), derivado de Mudança de Uso da Terra</i>		
Carbon dioxide, land transformation [Dióxido de carbono, transformação da terra]	Estimar pelo BRLUC, para cada cultura e região [tCO ₂ ha ⁻¹ ano ⁻¹]	Garofalo et al. (2022)

Continua...

Tabela 3. Continuação.

BR-Calc	SOJA	
	VALOR SUGERIDO	FONTE
<i>Água de subsolo, por lixiviação, nitrato (NO₃)</i>		
L = rooting depth [L = profundidade da raiz]	0,49 [m]	Folegatti-Matsuura e Picoli (2018)
U = nitrogen uptake by crop [U = absorção de nitrogênio pela cultura]	0,054*produtividade*40% [kg N ha ⁻¹]	0,054 [kg N.kg ⁻¹ de grãos] - Tecnologias de Produção de Soja (Seixas et al., 2020) 60% de FBN são descontados – recomendação de especialista, considerando o IPCC
[C_content = teor-C não-fóssil]		
r _{C/N} = ratio C/N [r _{C/N} = razão C/N]	15 [adimensional]	Recomendação de especialistas
r _{Norg} = ratio of Norg to Ntot [r _{Norg} = razão de Norg no Ntot]	0,95 [adimensional]	Cantarella et al. (2008)
<i>Água superficial, por erosão, metais pesados. Solo agrícola, metais pesados Cd, Cu, Pb, Cr, Hg, As</i>		
D	87% * produtividade	Produtividade em matéria seca. Folegatti-Matsuura e Picoli (2018)
<i>Do ar, gás carbônico (CO₂), absorvido durante a fotossíntese</i>		
C_content = Carbon content in the plant dry matter [C_content = teor de carbono na matéria-seca da planta]	0,5 [kg C kg ⁻¹ matéria seca]	Teor de carbono da matéria seca da soja = 50%

“Guidance”

A aba “Guidance” tem como objetivo ser o manual de instrução e controle para o uso adequado da ICVCalc. O grande volume de dados, o nível de complexidade de modelos e cálculos, além da segmentação da ferramenta resultam em uma solução bastante elaborada, que requer orientações para que o usuário seja guiado pelas funcionalidades da ferramenta de maneira clara.

Nessa aba há instruções para o preenchimento, para o uso dos seus diferentes comandos, além de orientações metodológicas sobre os modelos e premissas assumidas.

As seções que constituem o manual são:

- i. “Acronyms”;
- ii. “Commands”;
- iii. “Glossary”;
- iv. “Overall instructions”;
- v. “Primary Data and “Allocation Worksheets”;
- vi. “Pedigree Matrix”;
- vii. “Land Use Change using - BRLUC”;
- viii. “Limestone classification”;
- ix. “Fertilizers and estimation of N, P and K concentration”;
- x. “Pesticides”;
- xi. PestLCI.

É importante salientar que a compreensão dos comandos e instruções, contidos no “Guidance”, é imprescindível para o adequado funcionamento da ferramenta.

“Metadata”

Em estudos de Avaliação de Ciclo de Vida, os inventários de processo (que contêm fluxos de entrada e saída de material e energia) são acompanhados de metadados, para compor os conjuntos de dados (ou “datasets”). Metadados correspondem à documentação complementar ao inventário, utilizada para descrever um conjunto de dados (Evers, 2011).

Na ICVCalc, a aba “Metadata” está estruturada com a lista dos 42 requisitos do Guia Qualidata (Rodrigues et al., 2016), reunidos nas categorias “General”, “Methods and processes”, “Flows” e “Revision”. Os requisitos são classificados em “Mandatory”, “Recommended” e “Optional”. Ao preencher a planilha, o usuário avalia o grau de atendimento de cada requisito e descreve o método pelo qual o requisito foi atendido.

Abas de registro e processamento de dados

As abas de registro e processamento de dados da ICVCalc foram propostas para organizar e facilitar a inserção das informações necessárias para compor o ICV de um produto agrícola. A “Primary Data” é uma aba dedicada à inserção de dados brutos (de insumos e serviços consumidos) referentes à produção em um hectare, de uma safra e de uma cultura agrícola. A aba “Allocation” se destina à divisão de cargas ambientais geradas pelo consumo de insumos e operações agrícolas e suas emissões, que são compartilhados entre as várias culturas produzidas em sistemas de sucessão, rotação ou integração. A aba “Input Data” é utilizada para a entrada de dados com algum nível de processamento. Seu preenchimento é indispensável para o funcionamento da ICVCalc, uma vez que alimenta as abas de cálculo de emissões dos diferentes protocolos (-Calc). Os dados das abas “Input Data” e “-Calc” são consolidados nas abas de inventários (-LCI, “Life Cycle Inventory”, na sigla em inglês).

A construção do inventário de um produto agrícola se inicia pela descrição do processo de produção e pelo levantamento do conjunto dos insumos e serviços consumidos em campo, desde o preparo do solo até a colheita. São informações indispensáveis: a quantidade de produto produzida em

determinada área (produtividade); os tipos de insumos aplicados (corretivos, fertilizantes, sementes, pesticidas, adjuvantes e água), com suas respectivas composições (nutrientes, ingredientes ativos etc.) e doses (volume/quantidade por área de produção ou volume/quantidade por quantidade de produto); as frequências de aplicação; as operações envolvidas nessas aplicações, especificando-se o tipo de maquinário (trator, pulverizador autopropelido, colhedora etc.), o tipo de implemento (grade niveladora, arado, distribuidor de corretivos, semeadora/adubadora, tanque pulverizador, barras de pulverização etc.); o consumo de combustíveis (quantidade/volume de diesel/gasolina/etanol por área trabalhada) e; o desempenho das operações (horas de operação por área), entre outras informações.

O nível de detalhe e a especificidade das informações levantadas são determinantes para a escolha da aba de registro. Cabe lembrar que o preenchimento da ICVCalc deve ser feito com base nas orientações do "Guidance".

"Primary Data"

A "Primary Data", como o nome sugere, é uma aba de preenchimento de dados primários ou brutos, sendo o seu uso opcional na ICVCalc. Ela foi proposta com o objetivo de facilitar a organização das informações primárias e sua conversão para os padrões exigidos na elaboração de um ICV. Em outras palavras, ela organiza os consumos de insumos ("Agricultural Inputs") e operações ("Agricultural Operations") em etapas de produção e converte dados brutos em informações minimamente processadas. Como exemplos, podem ser citadas as conversões de: a) quantidade de fertilizantes comerciais consumidos, expressa como quantidade de nutrientes (dado de entrada de modelos para estimativa de emissões de substâncias nitrogenadas, fosfatadas, metais pesados); b) quantidade de pesticidas comerciais consumidos em quantidade de ingredientes ativos (dado de entrada para o modelo PestLCI); c) consumo de horas de trator em rendimento operacional ($\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$) (dado usado na estimativa do consumo de diesel); entre outras. Também pode ser usada para o levantamento das informações primárias, como um guia para entrevistas ou buscas de informações.

A “Primary Data” é proposta para o estudo de uma cultura, em uma safra agrícola, que pode ou não compor um sistema com mais safras, envolvendo ou não outras culturas. Cabe destacar que sistemas mais complexos podem exigir a alocação de cargas ambientais associadas a insumos e operações agrícolas compartilhados entre os produtos do sistema. A alocação é realizada em aba específica (“allocation”), considerando o “tempo de benefício” dos insumos e operações agrícolas compartilhados, dado de entrada da “Primary Data”.

Independentemente da complexidade do sistema onde a cultura está inserida, o preenchimento das informações sempre acontecerá em uma sequência de etapas, que envolve desde a sistematização dos talhões até a colheita do produto. As etapas de produção que constam na “Primary Data” correspondem a uma forma de organização comumente utilizada no manejo agrícola, sendo: 1) sistematização/correção do solo (“soil systematization/correction”); 2) preparo do solo (“soil preparation”); 3) fertilização pré-plantio (“pre-plant fertilization”); 4) irrigação (“irrigation”); 5) plantio/semeadura/fertilização (“planting/sowing/fertilization”); 6) práticas culturais (“cultivation practices”); e 7) colheita (“harvest”). O preenchimento da calculadora por etapa de produção tende a facilitar o levantamento e a organização de dados, evitando perdas e sobreposições de informações. Assim, o usuário identifica e preenche as etapas de produção que são pertinentes ao seu estudo, obtendo, ao final, uma sequência organizada e completa de todos os insumos e operações consumidos para a produção da cultura – dados essenciais para compor o ICV.

Para auxiliar na obtenção e no preenchimento dos dados, a “Primary Data” apresenta uma lista de categorias de insumos para cada etapa de produção: i) adjuvante (“adjuvant”); ii) corretivo (“corrective”); iii) inoculante (“inoculant”); iv) pesticida (“pesticide”); v) semente (“seed”); vi) água da rede de abastecimento (“tap water”); e vii) água de fonte natural (“water-natural”). A categoria fertilizante (“fertilizer”) traz adicionalmente uma lista de subcategorias – “mineral”, “manure”, “slurry/liquid sewage sludge”, “other nutrients”, “sugarcane agro-industrial residues”, “foliar” – que, por sua vez, contêm listas com fontes fertilizantes.

Há uma distinção entre os insumos, de maneira geral, e os fertilizantes, sendo estes últimos subdivididos por fontes de nutrientes, particularmente nitrogênio

e fósforo, que são utilizados em modelos para estimativa de emissões em vários protocolos. Cabe ainda uma atenção especial aos pesticidas, que podem ser descritos pelo usuário ou ser buscados em banco de dados acessório da ICVCalc (DB_Pesticide). Este banco possui um conjunto de pesticidas comerciais, para os quais se indica os princípios ativos e suas concentrações. Os insumos selecionados, preenchidos e processados na “Primary Data” seguem automaticamente para a aba “Input Data”.

As operações são tratadas em diferentes níveis de complexidade, na “Primary Data”. O nível mais simples, denominado “Tier 1”, envolve apenas a seleção de operações pré-modeladas, com fluxos já descritos em inventários de bancos de dados de ACV. O segundo nível, “Tier 2”, exige o conhecimento do tipo de operação agrícola e seu consumo de combustível. O terceiro e mais complexo nível, “Tier 3”, envolve a modelagem da operação, com a especificação do maquinário, do implemento e do consumo de diesel.

Há também um espaço na “Primary Data” para a declaração de informações indispensáveis ao uso da ferramenta PestLCl, caso o usuário tenha intenção de usar este modelo em seu estudo. São informações relativas ao tipo de equipamento de aplicação de pesticida, mês de aplicação, fase da cultura em que o pesticida foi aplicado e o seu tipo.

Aba “Allocation”

O melhor aproveitamento da área é um benefício percebido ao se adotar os sistemas de produção mais complexos, principalmente devido ao aumento de produção. No entanto, também há outros aspectos positivos, como o compartilhamento de práticas agrícolas, com seus respectivos insumos e operações, e benefícios ambientais e sociais (Wagner et al., 2010). Atribuir corretamente as emissões de um insumo compartilhado entre culturas, considerando um sistema de produção complexo, ou ainda, quando uma cultura pode prover mais de um produto de valor econômico, é uma dificuldade frequente e inerente à contabilização da pegada ambiental a partir da perspectiva do ciclo de vida (Costa et al., 2020). Para isso, a ACV utiliza a abordagem de alocação.

A alocação é definida, segundo a ISO 14040 (ISO, 2006a), como o “particionamento dos fluxos de entrada ou saída de um processo ou sistema

de produto, entre o sistema de produto em estudo e um ou mais outros sistemas de produto“. Portanto, a alocação distribui os fatores de impacto entre o produto de referência e os coprodutos, quando são simultâneos e dependentes. Cabe destacar que a recomendação primária da norma é de evitar a alocação, sempre que possível, devido ao alto grau de incerteza da atribuição das cargas. Assim, sugere-se optar pela subdivisão do sistema em subprocessos com dados específicos ou pela expansão dos sistemas de produto, para incluir a funcionalidade mais ampla dos coprodutos no objetivo principal do estudo (ISO, 2006a). Nos casos em que a alocação não pode ser evitada, os métodos recomendados são baseados em alocação por critério físico (por relação física subjacente entre entradas, saídas e as emissões geradas) ou alocação econômica (por valor de mercado). Cabe destacar que a alocação econômica está sujeita às flutuações de preços do mercado, sendo utilizada somente quando não há outra possibilidade (ISO, 2006a).

Na ACV de produtos agrícolas é comum a impossibilidade de se evitar a alocação, recomendando-se nesses casos o uso da relação física entre os produtos e coprodutos. Nessa abordagem, a distribuição das cargas ambientais pode ter como base a relação de massa, volume, poder calorífico; ou critérios como área ocupada, área ocupada em um determinado período (área-tempo), dentre outros.

Considerando-se que, no Brasil, grande parte das culturas agrícolas é produzida em sistemas mais complexos, a equipe de ACV da Embrapa Meio Ambiente propôs uma estratégia de alocação dos fluxos que considera a ocupação do solo da cultura no sistema de produção (aba “Allocation”). A ocupação do solo em ACV é contabilizada em $m^2.a$, o que pode ser explicado como a área de ocupação (m^2) multiplicada pelo tempo de ocupação (a) necessário para determinado processo produtivo. No entanto, tradicionalmente essa abordagem considera apenas a cultura de interesse, sem considerar o sistema de produção. A aba “Allocation”, da ICVCalc, considera simultaneamente a área e o tempo de ocupação de cada cultura em um ciclo completo de produção, atribuindo assim um fator de alocação para cada produto do sistema de produção.

Essa é uma abordagem que promove a distribuição de cargas ambientais, abordando o sistema de produção como um todo, o que permite considerar algumas práticas conservacionistas que nos sistemas de produção brasileiros

destinam-se apenas a favorecer o sistema de produção. Como exemplo temos o fornecimento de biomassa, que recobre a superfície do solo em períodos de entressafra, com a finalidade de evitar a erosão e o crescimento de plantas daninhas (Alcântara et al., 2000; Perin et al, 2004). Esta é uma situação típica do Brasil, que não é comum em outros países. Neste sentido, a aba “Allocation” possibilita a “customização” dessa distribuição a partir das escolhas realizadas na coluna “Treatment of the load”, e assim permite aos usuários uma autonomia sobre as premissas que pretendem adotar.

Portanto, a aba “Allocation” possibilita calcular o fator de alocação e assim compartilhar as cargas ambientais oriundas de processos, cujos benefícios se estendem por todo o sistema de produção e não exclusivamente a uma das culturas que compõem o sistema (por exemplo, a operação de aplicação de corretivos de solo; os corretivos de solo como insumos, propriamente). Assim, seu cálculo é fundamentado na função da fração de área ocupada e fração de tempo de ocupação de cada cultura com valor comercial no sistema (cultura 1, 2, 3, ... e pastagem), ou seja, que gera produtos para comercialização. No caso de outras culturas, que não geram produtos comerciais (por exemplo, plantas de cobertura), sendo cultivadas no sistema, as cargas por elas geradas podem ser compartilhadas entre as demais culturas que geram produtos comerciais, de acordo com a proporção de tempo e espaço considerados pelo usuário. A mesma abordagem é dada aos períodos de pousio e períodos de entressafra. A carga do período de entressafra é calculada automaticamente subtraindo-se o valor 1 da soma da carga calculada para cada safra relatada. A abordagem de alocação será apresentada em detalhes em publicação dedicada.

O fator de alocação também é aplicado para as operações agrícolas. Na aba “Allocation”, é possível selecionar quais operações agrícolas serão alocadas. Isso significa que todos os “outputs” calculados na aba “Agri_Op_Emissions” (modelagem “Tier 3”), “Vehicle Emissions” (modelagem “Tier 2”) e na “Input Data” (modelagem “Tier 1”) serão alocados.

Aba “Input Data”

Na ICVCalc existem duas opções de preenchimento dos dados de entrada de um inventário: 1) inserir os dados na aba “Primary Data”, sendo esses

dados automaticamente transferidos para a aba “Input Data”, ou 2) preencher diretamente a aba “Input Data”. Nesta seção será abordada a forma de preencher os dados diretamente na aba Input Data.

A ICVCalc busca dados na “Input Data” para calcular emissões para o ar, a água e o solo, nos diversos protocolos. Alguns dados listados na “Input Data” não são usados diretamente para esses cálculos, mas ainda assim precisam ser preenchidos, uma vez que compõem os inventários de processo, que consolidam entradas e saídas, e correspondem às abas “-LCI” na calculadora. Os inventários de processo, por sua vez, são alimentados nos softwares de ACV.

Instruções gerais

O preenchimento dessa aba se inicia pela inserção do nome do produto agrícola que está sendo inventariado na linha “Outputs to technosphere”, bem como sua produtividade expressa em quilogramas por hectare (kg ha^{-1}).

Antes de iniciar a inserção dos insumos consumidos, deve-se optar por preencher as quantidades aplicadas por área (1 ha) ou por massa de produto (1 kg).

A análise de incerteza é muito importante nos estudos de Avaliação do Ciclo de Vida e, por essa razão, para cada linha contida na aba “Input Data” deve-se preencher cada critério da Matriz Pedigree (confiabilidade, completude, correlação temporal, correlação geográfica, correlação tecnológica). Há também uma coluna para inserir comentários por fluxo.

“Inputs from Environment”

Nessa seção da ferramenta são registrados os tipos e valores dos recursos naturais consumidos pelo processo agrícola. Dentre esses, está o recurso terra, para o qual se indica a ocupação (em ha.ano^{-1}) e as transformações do tipo “de”, e “para”, (em ha). Outros recursos pertinentes a processos agrícolas também estão listados, como várias fontes de energia e de água.

“Inputs from Technosphere”

As entradas da tecnosfera (isto é, advindas da esfera técnico-econômica, ou ainda, advindas de outros processos produtivos) são subdivididas em grupos, organizadas por tipos de insumos. Para todos os grupos está disponível um campo denominado “outros”, permitindo a inclusão de um insumo não previamente listado e sua especificação na coluna de comentários.

Sementes, mudas e inoculantes

O primeiro conjunto de dados trata das sementes, mudas e inoculantes. Todos os fluxos são mostrados em kg, com exceção do fluxo das mudas, que é mostrado em “quantidade” (unidade genérica, “p”).

Corretivos e fertilizantes

O segundo conjunto de dados refere-se aos corretivos de solo e fertilizantes.

A ferramenta contém uma lista com os principais corretivos de solo utilizados em sistemas de produção. A lista compreende gesso, cal, calcário de diversos tipos (calcítico, dolomítico, magnesiano e inespecífico) e óxido de magnésio. O total do corretivo aplicado deverá ser informado (em kg).

O preenchimento dos fertilizantes exige alguns cuidados. Essa categoria de insumos está organizada de acordo com os nutrientes fornecidos: nitrogênio, fósforo e potássio. Para cada nutriente há uma lista de possíveis fontes. Nesse caso em particular, a ICVCalc deve ser preenchida de duas formas: 1) como massa total do fertilizante comercial aplicado; e 2) como massa do nutriente contido na quantidade aplicada do fertilizante comercial (por exemplo, “urea, as N”; “Single Superphosphate (SSP), as P_2O_5 ”; “Potassium Chloride (KCl), as K_2O ”). A massa do nutriente precisa ser informada, pois esse é um dado de entrada dos modelos para estimação de emissões dos vários protocolos.

Para se chegar à massa do nutriente contido no fertilizante comercial também há dois caminhos: 1) informar a massa aplicada do fertilizante comercial e o percentual do nutriente nele contido na aba “Primary Data”, que transferirá o valor calculado da massa do nutriente para a aba “Input Data”; ou 2) calcular a massa do nutriente em planilha de apoio, informando-a diretamente na aba “Input Data”. É importante lembrar que alguns fertilizantes são fontes de mais

de um tipo de nutriente como, por exemplo, o “mono-ammonium phosphate” (MAP) e o “di-ammonium phosphate” (DAP), que contêm N e P_2O_5 . A aba “Guidance” traz instruções sobre como realizar esses cálculos.

No caso do calcário, fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, após o preenchimento das massas das diversas fontes, a ferramenta soma automaticamente os valores inseridos, apresentando o total para cada uma dessas quatro categorias.

Esterco e bioinsumos

O quarto conjunto de dados refere-se ao uso de esterco e de cama de frango como fertilizantes. Na ICVCalc estão listadas várias fontes, como esterco bovino e suíno, e cama de frango. Como a composição dos fertilizantes orgânicos é muito variável, os teores de N e P_2O_5 devem ser informados na “Input Data” (no lado esquerdo da planilha, é possível clicar no símbolo de “+” para abrir campos onde poderão ser completados os teores de nutrientes).

A calculadora também permite a inserção dos teores de metais pesados (Cd, Cu, Zn, Pb, Ni, Cr e Hg) contaminantes nos insumos agrícolas aplicados. Essa opção está disponível para os insumos apresentados do item 4.3.3.1 ao item 4.3.3.3 e para a torta de filtro (basta o usuário clicar no símbolo de “+” para abrir campos onde poderão ser inseridos os percentuais de contaminantes). Caso os teores de metais pesados específicos para os insumos empregados não estejam disponíveis, a ICVCalc adotará valores existentes em seu banco de dados para fazer o balanço das emissões dos metais pesados para os compartimentos ambientais correspondentes.

Lodo e lodo de esgoto

Além dos vários tipos de esterco e resíduos agropecuários, a ICVCalc permite ao usuário incluir lodo e lodo de esgoto que tenham sido utilizados no sistema de produção. Também para esses insumos é necessário o preenchimento dos teores de N e de P_2O_5 .

Outros nutrientes

Nessa seção devem ser informados outros nutrientes empregados no sistema de produção. Normalmente, são nutrientes aplicados em pequenas quantidades, conhecidos também como micronutrientes. Os valores a serem preenchidos referem-se à quantidade em quilograma de nutriente por hectare cultivado (kg ha^{-1}) ou em quilograma de nutriente por quilograma do produto agrícola (kg kg^{-1}).

Existe também um campo para preenchimento das porcentagens de cada elemento no insumo agrícola. Muito embora esse campo não seja utilizado diretamente nos cálculos de emissões da ICVCalc, conhecer as porcentagens dos nutrientes pode auxiliar o usuário na escolha dos inventários de “background”, quando da construção do inventário do ciclo de vida em “softwares” de ACV.

Fertilizantes foliares

Nessa seção foram listados os principais fertilizantes foliares comerciais comumente empregados na produção agrícola (particularmente de grãos). A maior parte desses fertilizantes não possui inventários de produção modelados nos principais bancos de dados de Avaliação de Ciclo de Vida. Inserir esses dados na ICVCalc tem efeito de registro, para manter completo o inventário do processo agrícola. Eventualmente, em atualizações futuras, é possível que os inventários desses insumos passem a constar dos bancos de dados de ACV.

Resíduos agroindustriais da cana-de-açúcar

A cadeia de processamento da cana-de-açúcar para produção de açúcar, etanol e outros derivados gera volumes consideráveis de resíduos agroindustriais, em localização próxima à das áreas agrícolas. Por esses motivos, tais resíduos, ricos em nutrientes, são muito aplicados no próprio canavial. São eles: cinzas, torta de filtro e vinhaça. Suas quantidades e seus respectivos teores de N, P_2O_5 e K_2O podem ser informados na ICVCalc.

Pesticidas

A entrada de pesticidas na “Input Data” da ICVCalc é feita por meio de listas de ingredientes ativos. As listas estão organizadas nas categorias: 1) “inventariados”, ou seja, aqueles pesticidas que possuem inventários relativos a sua produção nas principais bases de dados de ICV; 2) “não-inventariados”; e 3) outros pesticidas (campos abertos para a inserção de novos ingredientes ativos que não estejam listados). Normalmente, no levantamento de dados para a elaboração de um inventário de processo agrícola, os pesticidas utilizados são reportados como produtos comerciais. Dessa forma, antes de preencher a ICVCalc, é necessário calcular a quantidade de cada ingrediente ativo contido na lista de pesticidas comerciais. Para tanto, a calculadora oferece um banco de dados acessório (aba “DB_Pesticidas”).

Adjuvantes

O preparo da calda de pesticidas normalmente demanda o uso de adjuvantes, como óleo mineral, óleo vegetal, grafite e outros produtos comerciais, que são listados nessa seção.

Embalagens

Dependendo do escopo do estudo de ACV, pode ser importante estimar a quantidade de embalagens de insumos agrícolas “consumidas” indiretamente (isto é, inseridas no sistema de produto por conterem os insumos, propriamente). Na ICVCalc essa seção é composta por campos abertos, onde podem ser inseridas embalagens de fertilizantes e pesticidas. Em geral, considera-se a massa do material principal da embalagem.

Água tratada e eletricidade

Diferentemente da água advinda diretamente da natureza, cujo registro deve ser feito na seção “Inputs from Environment”, a água tratada consumida no processo agrícola deve ser registrada como um recurso da tecnosfera.

Caso haja consumo de eletricidade relacionado à produção agrícola (por exemplo, em sistemas de bombeamento), a quantidade consumida também precisa ser relatada. Para facilitar a transferência dos dados da ICVCalc para os “softwares” de ACV, essa calculadora conta com uma lista nominando os

fluxos de eletricidade para as principais regiões brasileiras, segundo constam nas bancos de dados de ICV.

Operações agrícolas

No banco de dados doecoinvent existem várias operações agrícolas já modeladas e prontas para uso. A forma de modelagem dessas operações compreende a quantidade de infraestrutura, tais como galpões e máquinas agrícolas, quantidade de diesel e emissões para o ar e para o solo decorrentes da operação. A unidade funcional está indicada para cada operação. A listagem existente na ICVCalc serve para auxiliar o usuário durante a construção do ICV. No topo da seção de “Operações Agrícolas” é possível acessar a tradução para o português dos nomes das operações, orientando, assim, a seleção daquela mais adequada.

Secagem

Muitas vezes o produto agrícola é seco ainda no estabelecimento rural onde é produzido. Nessa seção da ICVCalc o usuário deverá preencher quantos litros de água foram evaporados durante a secagem.

Combustíveis veiculares

Quando não forem adotadas as operações agrícolas já disponíveis em bancos de dados de inventários, o consumo de combustíveis nessas operações precisa ser informado. Existem vários tipos de combustíveis na ICVCalc. Caso a opção escolhida seja diesel, é preciso indicar na coluna adjacente o teor de biodiesel na mistura.

Abas “-Calc”

As abas intituladas com o sufixo “-Calc” são destinadas aos cálculos de emissões para os compartimentos ambientais, de acordo com a metodologia de cada protocolo indicado. Para que isso aconteça de maneira adequada, é necessário que haja o preenchimento de parâmetros técnicos específicos requeridos em cada protocolo.

Todos os protocolos são alimentados a partir dos dados fornecidos nas abas “Primary Data”, “Allocation” e “Input Data”. Nos protocolos “BR-Calc”, “Nemecek-Calc” e “WFLDB-Calc” as emissões de algumas substâncias são estimadas em nível de compartimento e subcompartimento ambiental.

“BR-Calc”

A aba “BR-Calc” corresponde a um “protocolo” proposto pela Embrapa Meio Ambiente, que consiste na reunião de métodos para estimação de emissões derivadas de atividades agrícolas, consolidados na literatura, que melhor descrevem a realidade nacional (ver Tabela 1, apresentado anteriormente). Além disso, a ferramenta dispõe de banco de dados de clima e solo específicos para o Brasil, no nível de país, de unidade federativa ou de mesorregião agrícola. O usuário pode optar pelo recorte geográfico mais adequado ao seu escopo de estudo (ver Tabela 2, apresentado anteriormente). Parâmetros específicos da cultura, necessários para a realização dos cálculos, foram anteriormente apresentados no 3.

As emissões e remoções calculadas por essa metodologia são:

- i. Amônia (NH_3) a partir de fertilizante mineral e bioinsumos (European Environment Agency, 2019).
- ii. Amônia (NH_3) a partir de vinhaça (Jungbluth et al., 2007; Flisch et al., 2009; Agrammon Group, 2009b).
- iii. Óxido nitroso (N_2O) (Calvo-Buendía, 2019).
- iv. Óxido de nitrogênio (NO_x) (European Environment Agency, 2016).
- v. Nitrato (NO_3^-) (Faist Emmenegger et al., 2009).
- vi. Fósforo (P, PO_4^{3-}) (Prasuhn, 2006).
- vii. Metais pesados (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) (Freiermuth, 2006; Schmidt, 2007).
- viii. Dióxido de carbono (CO_2) (Eggleston, 2006).
- ix. Dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera (Nemecek; Schnetzer, 2012).
- x. Emissões da queima de biomassa (Calvo-Buendía, 2019).

“Nemecek-Calc”

A aba “Nemecek-Calc” contempla um conjunto de cálculos baseados nos métodos de estimação de emissões diretas de campo para inventários de ciclo de vida da produção agrícola, proposto por Nemecek e Schnetzer (2012). Alguns parâmetros técnicos precisam ser inseridos para que os cálculos sejam adequadamente feitos, como dados de precipitação local, percentual de argila no solo, nitrogênio contido nos resíduos da colheita, entre outros.

As emissões e remoções calculadas por essa metodologia são:

- i. Amônia (NH_3) a partir de fertilizante mineral e esterco (Agrammon Group, 2009a, 2009b).
- ii. Amônia (NH_3) a partir de vinhaça (Jungbluth et al., 2007; Flisch et al., 2009; Agrammon Group, 2009b).
- iii. Óxido nitroso (N_2O) (Eggleston, 2006; Walther et al., 2001; Nemecek e Kägi., 2007).
- iv. Óxido de nitrogênio (NO_x).
- v. Nitrato (NO_3) (Faist Emmenegger et al., 2009).
- vi. Fósforo (P , PO_4^{3-}) (Prasuhn, 2006).
- vii. Metais pesados (Cd , Cr , Cu , Hg , Ni , Pb , Zn) (Freiermuth, 2006).
- viii. Dióxido de carbono (CO_2).
- ix. Dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera.
- x. Pesticidas (Sutter, 2010).

“WFLDB-Calc”

A aba WFLDB-Calc contempla um conjunto de cálculos de emissões de substâncias para compartimentos ambientais, baseado na metodologia que originou a base de dados World Food LCA Database 3.0 (WFLDB) (Nemecek et al., 2015). Os parâmetros técnicos demandados para a execução dos cálculos são pH do solo, profundidade da raiz, fator de erodibilidade do solo, nitrogênio da mineralização da matéria orgânica do solo, dentre outros.

As emissões calculadas por essa metodologia são de:

- i. Amônia (NH_3) (European Environment Agency, 2013).
- ii. Óxido nitroso (N_2O) (Eggleston, 2006);
- iii. Óxido de nitrogênio (NO_x) (European Environment Agency, 2013);
- iv. Nitrato (NO_3^-) (Faist Emmenegger et al., 2009).
- v. Fósforo (P, PO_4^{3-}) (Prasuhn, 2006).
- vi. Metais pesados (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) (Freiermuth, 2006).
- vii. Dióxido de carbono (CO_2) (Eggleston, 2006).
- viii. Pesticidas (Rosenbaum et al., 2015).

“Agri-footprint-Calc”

A “Agri-footprint-Calc” contempla um conjunto de cálculos baseados na metodologia usada na construção dos inventários do Agri-footprint 5.0 (Van Paassen et al., 2019). Também neste caso são demandados parâmetros edafoclimáticos e referentes à cultura, como pH do solo, condição climática local, quantidade de nitrogênio em resíduos de colheita, quantidade de nitrogênio mineralizado em solos minerais, entre outros.

As emissões calculadas por essa metodologia são:

- i. Amônia (NH_3) (European Environment Agency, 2016).
- ii. Óxido nitroso (N_2O) (Eggleston, 2006).
- iii. Fósforo (P, PO_4^{3-}) (Goedkoop et al., 2013).
- iv. Metais pesados (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) (Nemecek; Schnetzer, 2012).
- v. Dióxido de carbono (CO_2) (Eggleston, 2006).
- vi. Pesticidas (European Commission, 2018).

O modelo contempla ainda os cálculos para emissões em nível de compartimento e de subcompartimento ambiental para alguns metais pesados para águas subterrâneas, águas superficiais e solo.

“Agribalyse-Calc”

A “Agribalyse-Calc” contempla um conjunto de cálculos baseados na metodologia usada na construção dos inventários da Agribalyse 3.0 (Koch; Salou, 2020) – orientada particularmente à produção agrícola francesa. Caso exista a intenção de contribuir com o povoamento desse banco de dados com inventários de produtos brasileiros, é importante conhecer esse protocolo.

Como os anteriores, esse protocolo também demanda parâmetros edafoclimáticos e relacionados à cultura.

As emissões calculadas por essa metodologia são:

- i. Amônia (NH_3) (European Environment Agency, 2016).
- ii. Óxido nitroso (N_2O) (Eggleston, 2006).
- iii. Óxido de nitrogênio (NO_x) (European Environment Agency, 2016).
- iv. Nitrato (NO_3) (Faist Emmenegger et al., 2009).
- v. Fósforo (P, PO_4^{3-}) (Prasuhn, 2006).
- vi. Metais pesados (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) (Freiermuth, 2006).
- vii. Dióxido de carbono (CO_2) (Eggleston, 2006).
- viii. Gases de combustão veiculares (Nemecek; Kägi, 2007).
- ix. Pesticidas (Nemecek; Kägi, 2007).

O modelo contempla ainda os cálculos para emissões em nível de compartimento e de subcompartimento ambiental para alguns compostos, como fosfato para águas subterrâneas e águas superficiais e metais pesados para águas subterrâneas, águas superficiais e solo.

“IPCC-Calc”

A “IPCC-Calc” contempla métodos baseados nas Diretrizes do IPCC (Gavrilova, 2019a, 2019b) e trata apenas de emissões de gases de efeito estufa, como emissões diretas e indiretas de óxido nitroso (N_2O) a partir do uso de fertilizantes minerais e orgânicos e de resíduos culturais; emissões de dióxido de carbono (CO_2) derivadas da aplicação de calcário e ureia;

emissões de dióxido de carbono (CO_2) decorrentes de mudanças de uso da terra (MUT ou LUC - Land Use Change).

As seguintes fontes de N estão incluídas na metodologia para estimar as emissões diretas de N_2O de solos manejados:

- i. Fertilizantes sintéticos nitrogenados (F_{SN});
- ii. N orgânico aplicado como fertilizante (por exemplo, esterco animal, composto, lodo de esgoto, resíduos de processamento e efluente de águas residuais) (F_{ON});
- iii. N de urina e esterco depositados no pasto, pastagem e piquete por animais em pastejo (F_{PRP});
- iv. N em resíduos culturais (acima e abaixo do solo), inclusive de culturas fixadoras de N e de pastagens em renovação (F_{CR});
- v. mineralização de N associada à perda de matéria orgânica do solo resultante da mudança de uso da terra ou do manejo de solos minerais (F_{SOM});
- vi. manejo de solos orgânicos (ou seja, Histossolos) (F_{OS}).

Detalhes metodológicos relacionados às emissões de óxido nitroso podem ser consultados na seção 11.2, Capítulo 11, Volume 4 do IPCC (Gavrilova, 2019b). Emissões de F_{SOM} são calculadas a partir da perda de C associado à LUC (“ $\Delta\text{C}_{\text{Mineral}}$, LU”). Recomenda-se que dados de emissões associados à LUC de produtos agrícolas brasileiros sejam obtidos a partir da ferramenta BRLUC (Novaes et al., 2017). Merece atenção: a ferramenta BRLUC fornece dados de LUC em $\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1}$, enquanto os dados devem ser inseridos na ICVCalc em toneladas de C (o que exige dividir o valor encontrado no BRLUC por 3,66).

Abas “-LCI” e “Emissions Comparison”

A ICVCalc utiliza diversos protocolos para calcular as emissões de campo. Para cada protocolo há uma aba intitulada “LCI” (sigla em inglês para “Life Cycle Assessment”), que tem a função de apresentar o inventário do processo

agrícola composto pelos dados de entrada (inseridos pela aba “Primary Data” ou “Input Data”, mas reunidos nesta última) e os dados de saída estimados nas abas “-Calc”. O conjunto de dados reunido na aba “-LCI” é aquele que deve ser inserido nos softwares de apoio à ACV, como OpenLCA, SimaPro, GaBi, dentre outros. As abas “-LCI” são “customizadas” por protocolo, ou seja, os compartimentos ambientais de destino e a forma com que as emissões são calculadas variam. Para todos os protocolos, os resultados das emissões são apresentados por hectare e por quilo de produto.

Um importante diferencial da ICVCalc é permitir ao usuário, com um mesmo esforço de levantamento de dados, construir um inventário de processo agrícola considerando vários dos principais protocolos para cálculo de emissões hoje disponíveis. A facilidade da planilha automatizada permite a modelagem a partir de mais de um protocolo e a comparação dos resultados. Essa comparação aparece disponível na aba “Emissions Comparison”. A aba contém um filtro por cores que indica facilmente ao usuário qual protocolo apresentou o menor valor de emissão (verde) e qual apresentou o maior valor (vermelho).

Aba “Agri_Op_emissions”

Uma atenção especial foi dada para a modelagem das operações agrícolas dentro da ferramenta ICVCalc. Na aba “Primary Data” existem campos específicos para a escolha do tipo de modelagem para as operações agrícolas: i) “Tier 1”, ii) “Tier 2” e iii) “Tier 3”.

A “Tier 1” envolve as operações agrícolas que já estão modeladas na base de dados do ecoinvent. Uma vez que a opção “Tier 1” é selecionada na aba “Primary Data”, na aba “Input Data” deve-se elencar, com base na lista disponível, as operações que serão incluídas no inventário. A lista das operações foi construída com base na versão 3.7 do ecoinvent. Feito isso, nenhuma outra ação é requerida na aba “Primary Data”.

A modelagem “Tier 2” é recomendada quando o usuário só quer reportar o consumo de diesel das operações agrícolas empregadas no sistema de produção que está sendo inventariado. Nenhum outro detalhamento referente à operação agrícola, propriamente, será solicitado. Existem duas formas de

incluir a quantidade de diesel consumido: na aba “Primary Data” e na aba “Input Data”. Se a aba “Primary Data” está sendo utilizada para modelar o inventário, o usuário deverá incluir a quantidade de diesel consumida para cada operação agrícola listada por ele. Caso o usuário opte por preencher o inventário na aba “Input Data”, a quantidade de diesel referente a todas as operações agrícolas (do grupo “Tier 2”) deverá ser preenchida, conforme explicado anteriormente. Após incluir a quantidade de diesel consumida, as emissões relacionadas à combustão são apresentadas na aba “Vehicle_Fuels_Emissions”.

A “Tier 3” permite que os usuários “customizem” a modelagem das operações agrícolas. Os detalhes quanto à construção de um inventário de operações agrícolas estão bem descritos no “Report 15”, escrito por Nemecek e Kági (2007). Optando pela modelagem “Tier 3”, todos os campos referentes ao maquinário agrícola existentes na aba “Primary Data” deverão ser preenchidos. As informações requeridas são:

- a. Nome da operação agrícola;
- b. Seleção dos maquinários agrícolas (caminhão, trator, colhedora etc.);
- c. Seleção dos implementos agrícolas;
- d. Marcas e modelos das máquinas e implementos (opcional);
- e. Potência (apenas dos tratores);
- f. Consumo de diesel e unidade de medida considerada;
- g. Rendimento operacional da máquina e sua respectiva unidade;
- h. Teor de biodiesel no diesel;
- i. Velocidade da máquina (opcional).

Após o preenchimento das informações solicitadas, as saídas calculadas são disponibilizadas na aba “Agri_Op_Emissions”, o que facilita a inserção das operações agrícolas “customizadas” no software de ACV. As saídas calculadas são:

- a. Quantidade de máquina (kg ha^{-1});
- b. Quantidade de combustível (kg ha^{-1});

- c. Emissões da queima de combustível para o ar;
- d. Emissões para o solo devido à abrasão dos pneus.

É importante destacar que, se o usuário incluir o número de anos no campo de anualização ou indicar na aba “Allocation” que a operação agrícola será alocada, os anos e o fator de alocação serão aplicados a todas as saídas calculadas na aba “Agri_Op_Emissions” (modelagem “Tier 3”), “Vehicle Emissions” (modelagem “Tier 2”) e na “Input Data” (modelagem “Tier 1”). O fator de alocação será o mesmo para se alocar a operação agrícola e o insumo por ela aplicado.

Aba “DB Pesticides”

Para o uso seguro de pesticidas é essencial o conhecimento da dinâmica dessas substâncias nos diversos compartimentos ambientais (solo, água e atmosfera) e seus potenciais impactos nos organismos não-alvo. Essa dinâmica é bastante complexa e envolve inúmeros fatores, como as propriedades físico-químicas das moléculas, características edafoclimáticas, além de práticas agrícolas, como o método de aplicação dos pesticidas e de preparo do solo.

Na ICVCalc, na aba “Input Data”, são apresentadas três listas com ingredientes ativos (i.a.) presentes nos pesticidas. Na primeira (“Inventoried Pesticides”), são listados os i.a. que possuem inventários relativos a sua produção nas principais bases de dados do ICV. O segundo grupo (“Non-Inventoried Pesticides”) contém produtos para os quais os inventários de produção não estão disponíveis e para os quais será atribuído um processo não específico de produção. Além desses, há campos abertos para a inserção de novos i.a., que não estejam classificados nas listas anteriores.

Em todos esses casos, a entrada dos dados é feita pelo conteúdo de ingrediente ativo dos produtos comerciais. Assim, é necessário calcular a quantidade de cada i.a. presente nas formulações comerciais levantados no estudo. Para facilitar a obtenção destes dados a ICVCalc traz a aba auxiliar “DB_Pesticides”, onde são descritas as informações dos principais pesticidas em uso na agricultura. Para cada produto são apresentados: nome comercial (“Formulated pesticide - Product name”); número de registro do

composto químico (“CAS-NUMBER”); nome do ingrediente ativo (“Active Principle”); concentração do i.a. no produto formulado (em g L⁻¹ ou g kg⁻¹) (“Concentration”); e a classe de uso do produto (“Classification”).

Na ACV aplicada a sistemas agrícolas é necessário estimar as emissões de pesticidas para os diferentes compartimentos ambientais e, com isso, quantificar os seus impactos sobre a saúde humana e o meio ambiente (Fantke et al., 2017). Entretanto, devido à elevada incerteza dos resultados e dos desafios relacionados à avaliação da toxicidade dos pesticidas, muitos estudos de ACV no setor agroalimentar não realizam uma avaliação dos impactos da toxicidade destas substâncias ou utilizam abordagens bastante simplistas. Isso resulta em uma avaliação incompleta e traz o risco de subestimar potenciais pontos críticos relacionados ao uso dos pesticidas (Gentil et al., 2020).

A ICVCalc no protocolo “BR-Calc” traz um aprimoramento da estimação de emissões de pesticidas para os compartimentos ambientais, organizando as informações geradas por meio do emprego do “PestLCI Consensus”, parametrizado para cenários de produção agrícola brasileiros (Barizon et al., 2021).

O modelo “PestLCI”, desenvolvido na Dinamarca (Birkved; Hauschild, 2006), inicialmente endereçou alguns cenários de solo e clima daquele país, sendo posteriormente expandido para cenários do continente europeu (Dijkman et al., 2012). Em 2020 foi lançada a versão “PestLCI Consensus”, disponibilizada em base web (<https://pestlciweb.man.dtu.dk/>). Um dos principais avanços desta versão foi a possibilidade de inserir novos cenários na base de dados do modelo (Gentil-Sergent et al., 2021). Diante da possibilidade de incorporar cenários brasileiros na base de dados do “PestLCI Consensus” e aprimorar os estudos de ACV dos produtos agrícolas, a Embrapa Meio Ambiente, em parceria com a Fundação Espaço Eco, coordenou um estudo que visou à parametrização de 35 cenários de produção agrícola brasileiros. Os detalhes da parametrização e as orientações para o uso do modelo estão disponíveis em Barizon et al. (2021). Essa parametrização está sendo expandida para todas as 137 mesorregiões agrícolas brasileiras.

No protocolo “BR-Calc” são disponibilizadas duas possibilidades de estimação da distribuição de pesticidas, conforme preconizado no “PestLCI”.

Na primeira, é estimada a distribuição inicial (“Initial Distribution Estimates”), que é aquela que ocorre imediatamente após a aplicação do pesticida no campo. A distribuição é estimada para os compartimentos ar (“Air” [kg ha⁻¹]), solo agrícola (“Field soil surface” [kg ha⁻¹]), superfície foliar (“Leaf surface” [kg ha⁻¹]) e superfícies fora da área de aplicação (“Off-field surface” [kg ha⁻¹]).

As emissões secundárias (“Secondary Emissions”), que são aquelas decorrentes da redistribuição das moléculas no campo pela ocorrência de chuva ou irrigação, podem ser estimadas para os compartimentos ar (“Air” [kg ha⁻¹]), solo agrícola (“Field soil” [kg ha⁻¹]), superfície foliar (“Field crop leaf surfaces” [kg ha⁻¹]) e “Leaf field crop leaf, via leaf uptake” [kg ha⁻¹]), lençol freático (“Groundwater” [kg ha⁻¹]), superfícies fora da área de aplicação (“Off-field surfaces” [kg ha⁻¹]) e emissões para o solo agrícola e superfície foliar, via degradação (“Field soil and crop, via degradation” [kg ha⁻¹]).

Muito recentemente, Nemecek et al. (2022), os desenvolvedores “PestLCI Consensus”, comunicaram ter identificado erros relacionados a alguns algoritmos do modelo, ainda não solucionados. Enquanto as correções não ocorrem, não é recomendado o uso da distribuição secundária.

BD Adubos foliares

O banco de dados de adubos foliares contempla um conjunto de substâncias para as quais são propostos inventários de ciclos de vida com caráter de “proxy”⁶, para os principais fertilizantes foliares empregados nas culturas anuais brasileiras.

O conjunto de dados foi desenvolvido dentro do escopo de projetos da Embrapa Meio Ambiente e buscou representar o consumo de fertilizantes foliares aplicados nas principais culturas anuais, além de amendoim e café. O consumo de fertilizantes foliares foi identificado em entrevistas realizadas no período de 2019 a 2021, que tiveram como objetivo a construção de inventários de processos agrícolas.

⁶ Inventários contendo várias aproximações e simplificações, principalmente decorrentes das limitações dos bancos de dados de “background”.

A partir das informações sobre o nome comercial, a dose e a cultura de interesse, uma série de premissas e diversos procedimentos foram realizados para a construção desse BD de adubos foliares, como segue abaixo:

- i. A partir das informações como o tipo de cultura e o nome comercial do fertilizante foliar, foi feita uma busca para se estabelecer sua formulação, a partir de consultas a fichas técnicas e outras informações públicas.
- ii. A partir da qualificação e quantificação dos elementos presentes no formulado (N, P_2O_5 , Ca, S, Zn etc.), substâncias químicas foram sugeridas como fontes desses nutrientes (por exemplo, óxido de zinco e sulfato de zinco, como fontes de Zn). Cabe mencionar que dados dos fabricantes foram priorizados nessa etapa (por exemplo, foi considerada a ureia, quando o fabricante indicava essa substância como fonte de N em seu produto).
- iii. Foi realizada uma consulta à especialista em formulação de fertilizantes, com o objetivo de escolher e validar as principais fontes dos nutrientes para cada fertilizante. Nesta etapa, formulações que declaram possuir quelatos como fonte de algum nutriente foram negligenciadas, assumindo-se a fonte mais simples para o nutriente (por exemplo, quelato de zinco foi assumido como óxido de zinco).
- iv. A composição do formulado foi calculada considerando a informação do teor do nutriente fornecido pelo fabricante e as substâncias assumidas como fontes do nutriente. Nesta etapa foi estimada a quantidade da fonte (por exemplo, sulfato de cobre) necessária para disponibilizar a quantidade do elemento (cobre), mencionada no rótulo do produto. Para tanto, assumiu-se cálculos baseados em estequiometria e um fluxo de referência de 1 litro de produto (fertilizante foliar). Assumiu-se também que a densidade do produto é 1 kg.dm^3 .
- v. Cada fluxo foi modelado no “software” SimaPro, utilizando o banco de dados da ecoinvent versão 3.8. Nesta etapa, foram priorizadas as substâncias equivalentes e, quando não disponíveis, optou-se por um inventário similar (por exemplo, óxido de cobalto foi assumido como “Cobalt {GLO} market for | Cut-off, U”). Quando nenhuma das opções pôde ser atendida, assumiu-se um inventário genérico como fonte do

nutriente (por exemplo, molibdato de sódio foi assumido como “Chemical, inorganic {GLO}| production | Cut-off, U”). Cabe ainda mencionar que fluxos de enxofre foram negligenciados para aqueles formulados que declaram a presença desse nutriente em seu rótulo e que também possuem alguma outra fonte contendo enxofre em sua formulação (por exemplo, sulfato de cobre). Assim, assumiu-se que o elemento enxofre é suprido pela fonte que supre o cobre.

Os seguintes “scores” da matriz pedigree foram recomendados para esse conjunto de dados: “4,1,1,1,4”. O banco de dados foi classificado como “adequado” pela equipe do projeto.

“Land Use”

Toda área agropecuária atual ocupa um espaço outrora ocupado por outro uso da terra ou cobertura natural. Essa dinâmica é denominada mudança de uso da terra (MUT ou LUC - Land Use Change), e ocorre quando uma cobertura natural ou uso preexistente é substituído por outro uso, de modo que haja uma alteração da função designada a uma determinada área, acarretando perdas ou ganhos ambientais (Shukla, 2019; Calvo-Buendía, 2019). Uma vez que os diferentes usos e coberturas da terra apresentam diferentes estoques de carbono (C orgânico no solo somado ao C na biomassa da vegetação), a LUC ocasiona alterações nesses estoques, tendo grande impacto nas emissões ou sequestros de gases de efeito estufa (GEE) (Shukla, 2019). Esses impactos fazem com que a LUC se configure como um dos processos de maior peso nos resultados da ACV de produtos agropecuários (Castanheira; Freire, 2013; Van Middelaar et al., 2013, Tubiello et al., 2021), sendo a contabilização das emissões de GEE derivadas da LUC comumente requerida nos protocolos e padrões internacionais de ACV (por exemplo, em International Life Cycle Data System (2010) e The British Standards Institution (2012)). A mudança de uso da terra pode ser do tipo direta (mudança direta de uso da terra - dLUC), quando há uma mudança no uso da terra dentro das fronteiras do sistema, ou indireta (mudança indireta de uso da terra - iLUC), quando há uma mudança fora das fronteiras do sistema, causada por uma mudança direta (The British Standards Institution, 2019).

As metodologias empregadas para estimar a dLUC e emissões ou fluxos decorrentes levam em consideração o padrão de conversão do uso da terra, os estoques de carbono de cada uso da terra, os sistemas de manejo adotados e os diferentes níveis de entradas de C para o solo, para então fazer a atribuição de tais emissões aos produtos agrícolas associados ao atual uso da terra (Calvo-Bendía, 2019). Todavia, devido à onerosidade na obtenção de tais dados e na complexidade envolvida no cálculo das estimativas de emissões de dLUC, métodos e ferramentas foram desenvolvidos em nível internacional para disponibilizar estimativas de dLUC para uso em estudos de ACV em nível nacional, a partir de dados genéricos (por exemplo, em Blonk Consultants (2021) e em Persson et al., 2014).

Com o objetivo de estimar as emissões de dLUC para uma gama de produtos agropecuários brasileiros, em níveis subnacionais, pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente desenvolveram o método BRLUC (“Brazilian Land Use Change”) (Novaes et al., 2017), o qual fornece estimativas das taxas de emissão de CO₂ derivadas da dLUC associadas a 64 culturas agrícolas, pastagens e silvicultura para cada estado brasileiro, em um período de 20 anos. Em constante aprimoramento o método BRLUC está na versão v.2.0, recentemente publicada por Garofalo et al. (2022), e traz resultados em nível municipal, com base em dados espacialmente explícitos. Todas as versões do método BRLUC estão disponíveis gratuitamente para acesso e download no portal da Embrapa (2021) em <https://www.cnpma.embrapa.br/forms/BRLUC.php>

Fluxos de dLUC na ICVCalc

Há pelo menos três maneiras diferentes de incorporar o fluxo de mudança direta de uso da terra (dLUC) em um ICV atribucional: (i) uso de dados específicos do projeto; (ii) uso de dados “default” doecoinvent; e (iii) uso de dados “default” do BRLUC:

(i) Uso de dados específicos do projeto

Caso o projeto disponha de dados sobre o histórico de uso da terra do seu sistema de produto e emissões decorrentes, essa é a opção mais adequada.

Nota: caso o ICV esteja sendo construído a partir de ICV existentes doecoinvent e o usuário opte por usar dados específicos do projeto, o fluxo

correspondente a “land use change” presente na tecnosfera deverá ser excluído do ICV doecoinvent.

(ii) Uso de dados “default” doecoinvent

Os dados “default” doecoinvent estão disponíveis como ICV de “LUC” na base de dados ecoinvent. Eles foram modelados com base no BRLUC, mas com modificações. Os detalhes da modelagem estão disponíveis em Donke et al. (2020).

Sugere-se o uso desses dados quando o objetivo específico for declarar “conformidade com a estrutura de mudança de uso da terra doecoinvent 3.3 em diante”. Geralmente, são casos bastante específicos.

(iii) Uso de dados “default” do BRLUC

Os dados “default” do BRLUC em nível nacional e estadual foram desenvolvidos para atender aos estudos que não possuam dados específicos disponíveis de mudança de uso da terra.

“Land transformation”

Existem duas maneiras de os usuários da ICVCalc incluírem os fluxos “transformation from” e a “transformation to” em seus inventários:

- (i) usando dados primários (neste caso, a recomendação é seguir o estudo publicado por Koellner et. al. (2013); e
- (ii) usando os resultados do método BRLUC.

Na segunda maneira, caso haja uma limitação de informações (por exemplo, não há informações sobre uso de irrigação), uma equivalência entre “land use change” e “land transformation” deve ser empregada. Uma premissa temporal (normalmente 20 anos) estará sendo assumida.

“Land occupation”

É importante destacar que, usualmente, a área de 1 hectare ocupada por uma cultura agrícola anual é menor que 1. Isso ocorre devido às premissas assumidas, como dupla safra, tempo de cultivo etc. Logo, o fluxo de “land occupation” pode ser estimado a partir de duas abordagens:

- i) considerando as premissas reportadas em Folegatti et al. (2019); ou
- ii) adotando um fator em função do tempo e área: por exemplo, 1 hectare x (125 dias/365 dias) = 0,342.

Conclusão

A ICVCalc, ferramenta aqui apresentada, é resultado de mais de uma década de estudos da equipe de pesquisa em Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) da Embrapa Meio Ambiente. É dedicada à elaboração de Inventários de Ciclo de Vida – a estrutura mínima e, portanto, a base metodológica de um estudo de ACV. Expressa uma modelagem dos processos produtivos agrícolas, propriamente, mas também modelagens que representam, de forma simplificada, as trocas de material entre o ambiente antrópico e o meio ambiente.

Reúne todos os principais protocolos atualmente disponíveis para a construção de ICV agrícolas, sendo a mais atual e completa ferramenta hoje disponível para essa modalidade de métodos aplicados à contabilidade ambiental e análise de sustentabilidade de atividades agrícolas.

Referências

AGRAMMON GROUP. **Technical process description AGRAMMON**: draft. Agrammon. [Bern, Agrammon Group, 2009a]. Disponível em: <<https://agrammon.ch/assets/Documents/Dokumentation-Technische-Parameter-20220608pub.pdf>>. Acesso em 06 jun. 2022.

AGRAMMON GROUP. **Technische Parameter Modell Agrammon. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft SHL. Agrammon**. [Bern, Agrammon Group, 2009b]. Disponível em: <<https://agrammon.ch/assets/Documents/Technische-Parameter-20220608.pdf> >. Acesso em 06 jun. 2022.

ALCÂNTARA, F. A.; FURTIN NETO, A. E.; PAULA, M. B.; MESQUITA, H. A.; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho-escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000200006>.

ALVARES, C. A.; STAPE J. L.; SENTELHAS P. C.; GONÇALVES J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ASSELIN-BALENÇON, A.; BROEKEMA, R.; TEULON, H.; GASTALDI, G.; HOUSIER, J.; MOUTIA, A.; ROUSSEAU, V.; WERMEILLE, A. AGRIBALYSE v. 3.0: the french agricultural and food LCI database: methodology for the food products. [França]: ADEME 2020.

AYER, J. E. B.; GAROFALO, D. F. T.; CARDOSO, F. H.; MORANDI, M. A. B.; RAMOS, N. P.; PACKER, A. P. C.; ANDRADE, C. A. de; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S. Dados pedológicos e climáticos para inventários de ACV disponibilizados por mesorregiões brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 7, 2021, Gramado. **Anais do VII Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida**, Gramado: UFRGS, 2021. p. 62-67.

BARIZON, R. R. M.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; SCACHETTI, M. T.; SILVA, G. B. S. da; COSTA, M. P.; GAROFALO, L. V. F. de; LANES, V. F. de; PICOLI, G.; PIGHINELLI, A. L. M. T.; MORANDI, M. A. B. Modelo PestLCI: parametrização para os cenários brasileiros de produção agrícola. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2021. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1134598>>. Acesso em: 06 jun. 2022.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone Editora, 1999. 355 p.

BIRKVED, M.; HAUSHILD, M. Z. PestLCI - A model for estimating field emissions of pesticides in agricultural LCA. *Ecological Modelling*, v. 198, p. 433-451, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.035>.

BLONK CONSULTANTS. **LUC impact tool, full dataset version 2021**. [Gouda, 2021]. Disponível em: <<https://www.blonksustainability.nl/tools>>. Acesso em: 06 jun. 2022.

BORRELLI, P.; ROBINSON, D. A.; FLEISCHER, L. R.; LUGATO, E.; BILLABIO, C.; ALEWELL, C.; MEUSBURGER, K.; MODUGNO, S.; SCHÜTT, B.; FERRO, V.; BAGARELLO, V.; VAN OOST, K.; MONTANARELLA, L.; PANAGOS, P. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, v. 8, n.1, p. 2013-, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>.

THE BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Greenhouse gases**: carbon footprint of products: requirements and guidelines for quantification. [London]: BSI, 2019. 62 p.

THE BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **PAS 2050-1**: 2012 assessment of life cycle greenhouse gas emissions from horticultural products: supplementary requirements for the cradle to gate stages of GHG assessments of horticultural products undertaken in accordance with PAS2050. London: BSI, 2012. 46 p.

CALVO BUENDÍA, E.; TANABE, K.; KRANJC, A.; BAASANSUREN, J.; FUKUDA, M.; NGARIZE, S.; OSAKO, A.; PYROZHENKO, Y.; SHERMANAU, P.; FEDERICI, S. (ed). **2019 Refinement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Switzerland: IPCC, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/0_Overview/19R_V0_00_Cover_Foreword_Preface_Dedication.pdf>. Acesso em: 05 out. 2022

CANTARELLA, H.; ANDRADE, C. A.; MATTOS JÚNIOR, D. Matéria orgânica do solo e disponibilidade de nitrogênio para as plantas. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. da; CANELLAS, F. de O. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Metropole, 2008. p. 581-596.

CASTANHEIRA, E. G.; FREIRE, F. Greenhouse gas assessment of soybean production: implications of land use change and different cultivation systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 49-60, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.026>.

COSTA, M. P., CHADWICK, D., SAGET, S., REES, R. M., WILLIAMS, M., STYLES, D. Representing crop rotations in life cycle assessment: a review of legume LCA studies. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, p. 1942–1956, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01812-x>.

DIJKMAN, T. J.; BIRKVED, M.; HAUSHILD, M. Z. PestLCI 2.0: a second generation model for estimating emissions of pesticides from arable land in LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 17, p. 973-986, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0439-2>.

DONKE, A. C. G.; NOVAES, R. M. L.; PAZIANOTTO, R. A. A.; MORENO-RUIZ, E.; REINHARD, J.; PICOLI, J. F.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S. Integrating regionalized Brazilian land use change datasets into the ecoinvent database: new data, premises and uncertainties have large effects in the results. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, p. 1027–1042, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01763-3>.

EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (ed.). **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Japan: IPCC/IGES, 2006. 5 v. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>. Acesso em: 14 maio 2020.

EMBRAPA. **BRLUC: method for estimating land use change and CO2 emissions associated to agriculture in Brazil**. [Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2021]. Disponível em: <http://www.cnpma.embrapa.br/forms/BRLUC.php>. Acesso em 06 jun. 2022.

EUROPEAN COMMISSION. **PEFCR feed for food producing animals**: version 4.1. [Brussels: EC], Apr. 2018. 149 p. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/eusds/mgpf/pdf/PEFCR_feed.pdf. Acesso em 06 jun. 2022.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013: technical guidance to prepare national emission inventories**. Luxembourg: EEA, 2013. 26 p. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>. Acesso em 06 jun. 2022.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016: technical guidance to prepare national emission inventories**. Luxembourg: EEA, 2016. 28 p. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2016>. Acesso em 06 jun. 2022.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, technical guidance to prepare national emission inventories**. Luxembourg: EEA, 2019. 26 p. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>. Acesso em 06 jun. 2022.

EUROPEAN SOIL DATA CENTRE. **Global soil erosion**. [Italy: ESDAC, 2019]. Disponível em: <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/global-soil-erosion#tabs-0-description>. Acesso em 09 mai. 2021.

EVERS, D. (ed.). **Global guidance principles for life cycle assessment databases: a basis for greener processes and products**. Nairobi: UNEP/SETAC, 2011, 160 p. (Shonan Guidance Principles)

FAIST EMMENEGGER, M.; REINHARD, J.; ZAH, R.; ZIEP, Z.; WEICHBRODT, R.; WOHLGEMUTH, V.; ROCHES, A.; FREIERMUTH KNUCHEL, R.; GAILLARD, G. **Sustainability quick check for biofuels: intermediate background report**. With contributions from Dübendorf, Switzerland, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.5000.8167>.

FANTKE, A. A.; GRANT, T.; HAYASHI, K. Pesticide emission quantification for life cycle assessment: A global consensus building process. **Journal of the Japan Society for LCA Studies**, v. 13, n. 3, p. 245-251, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3370/lca.13.245>.

FAO. **Global soil organic carbon map V1.5: technical report**. [Rome: FAO, 2020]. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/ca7597en>. Acesso em 06 jun. 2022.

FAO. **Harmonized world soil database. Version 1.1**. [Rome: FAO, 2009]. Disponível em: <https://www.fao.org/publications/card/en/c/2fa14e5e-ae97-516e-9dd2-24bc7abbc823/>. Acesso em 24 de jun. 2022.

FLISCH, R.; SINAJ, S.; CHARLES, R.; RICHNER, W. GRUDAF 2009: grundlagen für die Düngung im Acker und Futterbau. **Agrarforschung**, v.16, n. 2, p. 1-97, 2009.

FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; PICOLI, J. F. **Life cycle inventories of agriculture, forestry and animal husbandry - Brazil**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2018. 143 p.

FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; PICOLI, J. F. **Life cycle inventories of agriculture, forestry and animal husbandry - Brazil: for the SRI project**. Zurich: Ecoinvent Association, 2019. 143 p.

FREIERMUTH, R. **Modell zur berechnung der schwermetallflüsse in der landwirtschaftlichen ökobilanz**. [Zürique: Agroscope FAL Reckenholz, 2006]. Disponível em: www.agroscope.admin.ch. Acesso em 06 jun. 2022.

GAROFALO, D. F. T.; NOVAES, R. M. L.; PAZIANOTTO, R. A. A.; MACIEL, V. G.; BRANDÃO, M.; SHIMBO, J. Z.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S. Land-use change CO₂ emissions associated with agricultural products at municipal level in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 364, 132549, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132549>.

GAVRILOVA, O.; LEIP, A.; DONG, H.; MACDONALD, J. D.; GOMEZ BRAVO, C. A.; AMON, B.; BARAHONA ROSALES, R.; PRADO, A. del; LIMA, M. A. de; OYHANTÇABAL, W.; WEERDEN, T. J. van der; WIDIAWATI, Y. Emissions from livestock and manure management. In: CALVO BUENDIA, E.; TANABE, K.; KRANJC, A.; BAASANSUREN, J.; FUKUDA, M.; NGARIZE, S.; OSAKO, A.; PYROSHENKO, Y. SHERMANAU, P.; FEDERICI, S. (ed.). **Refinement to the 2006 guidelines for national greenhouse gas inventories**. Agriculture, forestry and other land use. Geneve: IPCC, 2019a. v. 4., cap. 10 Emissions from livestock and manure management. p. 10.1-10.171, 172-209. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>. Acesso em: 24 de jun. 2022.

GAVRILOVA, O.; LEIP, A.; DONG, H.; MACDONALD, J. D.; GOMEZ BRAVO, C. A.; AMON, B.; BARAHONA ROSALES, R.; PRADO, A. del; LIMA, M. A. de; OYHANTÇABAL, W.; WEERDEN, T. J. van der; WIDIAWATI, Y. Emissions from livestock and manure management. In: CALVO BUENDIA, E.; TANABE, K.; KRANJC, A.; BAASANSUREN, J.; FUKUDA, M.; NGARIZE, S.; OSAKO, A.; PYROSHENKO, Y. SHERMANAU, P.; FEDERICI, S. (ed.). **Refinement to the 2006 guidelines for national greenhouse gas inventories**. Agriculture, forestry and other land use. Geneve: IPCC, 2019b. v. 4., cap. 11 N₂O emissions from managed soils and CO₂ emissions from lime and urea application. p. 11.1-11.48. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>. Acesso em: 24 de jun. 2022.

GENTIL, C.; FANTKE, P.; MOTTES, C.; BASSET-MENS, C. Challenges and ways forward in pesticide emission and toxicity characterization modeling for tropical conditions. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 25, n. 7, p. 1290-1306, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01685-9>.

GENTIL-SERGEANT, C.; BASSET-MENS, C.; GAAB, J.; MOTTES, C.; MELERO, C.; FANTKE, P. Quantifying pesticide emission fractions for tropical conditions. **Chemosphere**, v. 272, 130014, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130014>.

GOEDKOOP, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; SCHRYVER, A.; DE, STRUIJS, J.; ZELM, R. VAN. **ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level**. The Hague, Netherlands: Ministério da VROM, 2013. 126p.

IBGE. **BR_Mesorregioes_2020**. [Rio de Janeiro, 2020]. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa223175>. Acesso em: 14 abr. 2021.

ISO. **ISO 14040: environmental management of life cycle assessment: principles and framework**. Geneva: ISO, 2006a. 28 p.

ISO. **ISO 14044: environmental management of life cycle assessment: requirements and guidelines**. Geneva: ISO, 2006b. 54 p.

INTERNATIONAL LIFE CYCLE DATA SYSTEM. **General guide for life cycle assessment: detailed guidance**. [Luxembourg: ILCD, 2010]. Disponível em: <https://doi.org/10.2788/38479>. Acesso em 06 jun. 2022.

JUNGBLUTH, N.; CHUDACOFF, M.; DAURIAT, A.; DINKEL, F.; DOKA, G.; FAIST-EMMENEGGER, M.; GNANSOUNOU, E.; KLJUN, N.; SCHLEISS, K.; SPIELMANN, M.; STETTLER, C.; SUTTER, J. **Life cycle inventories of bioenergy. ecoinvent report No. 17**. Dübendorf, Switzerland: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007.

KOCH, P.; SALOU, T. **Agribalyse®: rapport méthodologique, volet agriculture: agribalyse v3.0**. France: ART, INRAE, Ademe, juin 2020. 319 p.

KOELLNER, T.; BAAN, L. de; BECK, T.; BRANDÃO, M.; CIVIT, B.; GOEDKOOP, M.; MARGNI, M.; CANAIS, L. M.; MÜLLER-WENK, R.; BO, W.; WITTSTOCK, B. Principles for life cycle inventories of land use on a global scale. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 6, p. 1203-1215, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0392-0>.

KUCZENSKI, B.; MARVUGLIA, A.; ASTUDILLO, M. F.; INGWERSEN, W. W.; SATTERFIELD, M. B.; EVERS, D. P. KOFFLER, C.; NAVARRETE, T.; AMOR, B.; LAURIN, L. LCA capability roadmap: product system model description and revision. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, n. 8, p. 1685–1692, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1446-8>.

MAPBIOMAS. **Projeto de mapeamento anual da cobertura e uso do solo no Brasil**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto#:~:text=O%20Projeto%20de%20Mapeamento%20Anual,produzir%20mapas%20anuais%20de%20uso>. Acesso em: 09 fev. 2021.

NASA. Land Data Assimilation System. **GLDAS soil texture**. [United States of America: S.I, 2022]. Disponível em: <https://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas/soils>. Acesso em: 09 mai. 2021.

NEMECEK, T.; ANTÓN, A.; BASSET-MENS, C.; GENTIL-SERGEANT, C.; RENAUD-GENTIÉ, C.; MELERO, C.; NAVIAUX, P.; PEÑA, N.; ROUX, P.; FANTKE, P. Operationalising emission and toxicity modelling of pesticides in LCA: the OLCA-Pest project contribution. **The International**

Journal of Life Cycle Assessment, v. 27, p. 527-542, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02048-7>.

NEMECEK, T.; BENGGOA, X.; LANSCH, J.; ROESCH, A.; FAIST-EMMENEGGER, M.; ROSSI, V.; HUMBERT, S. **Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products. Version 3.0**. Switzerland: WFLDB, Quantis and Agroscope, 2015.

NEMECEK T.; KÄGI, T. **Life cycle inventories of swiss and european agricultural production systems: data v2.0 (2007)**. Ecoinvent report No. 15a. Zurich and Dübendorf, Switzerland: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.

NEMECEK, T.; SCHNETZER, J. Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems: data v3.0. Zurich: Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Aug. 2012. 34 p.

NOVAES, R. M. L.; PAZIANOTTO, R. A. A.; BRANDÃO, M.; ALVES, B. J. R.; MAY, A.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S. Estimating 20-year land-use change and derived CO₂ emissions associated with crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. **Global Change Biology**, v. 23, n. 9, p. 3716–3728, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.13708>.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.1, p.35-40, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000100005>.

PERSSON, U. M.; HENDERS, S.; CEDERBERG, C. A method for calculating a land-use change carbon footprint (LUC-CFP) for agricultural commodities - applications to Brazilian beef and soy, Indonesian palm oil. **Global Change Biology**, v. 20, p. 3482– 3491, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12635>.

PRASUHN, V. **Erfassung der PO4**: austrage für die okobilanzierung: SALCA-Phosphor. Zurich: Agroscope FAL Reckenholz, 2006. Disponível em: <www.agroscope.admin.ch>. Acesso em: 27 jun. 2022.

RODRIGUES, T. O.; SUGAWARA, E.T.; SILVA, D. A. L.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; BRAGA, T. E. N.; UGAYA, C. M. L. **Guia Qualidata**: requisitos de qualidade de conjuntos de dados para o banco nacional de inventários do ciclo de vida - SICV Brasil. 1. ed. Brasília: IBICT, 2016. v. 1. 50 p.

ROSENBAUM, R.K.; ANTON, A.; BENGGOA, X.; BJØRN, A.; BRAIN, R.; BULLE, C.; COSME, N.; DIJKMAN, T. J.; FANTKE, P.; FELIX, M.; GEOGHEGAN, T. S.; GOTTESBÜREN, B.; HAMMER, C.; HUMBERT, S.; JOLLIET, O.; JURASKE, R.; LEWIS, F.; MAXIME, D.; NEMECEK, T.; PAYET, J.; RÄSÄNEN, K.; ROUX, P.; SCHAU, E. M.; SOURISSEAU, S.; VAN ZELM, R.; VON STREIT, B.; WALLMAN, M. The Glasgow consensus on the delineation between pesticide emission inventory and impact assessment for LCA. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, p. 785-776, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0871-1>.

SCHMIDT, J. **Life cycle assessment of rapeseed oil and palm oil**. 2007. 280p. Tese (Doutorado) - Departamento de Planejamento e Desenvolvimento, Universidade de Aalborg, Aalborg.

SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. de C. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p. (Sistemas de produção/Embrapa Soja).

SHUKLA, P. R.; CALVO-BUENDÍA, E.; MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAL, P.; PÖRTNER, H.-O.; ROBERTS, D.; ZHAI, P.; SLADE, R.; CONNORS, S.; DIEMEN, R. van; FERRAT, M.; HAUGHEY, E.; LUZ, S.; NEOGL, S.; PATHAK, M.; PETZOLD, J.; PEREIRA, J. P.; VYAS, P.; HUNTLEY, E.; KISSICK, K.; BELKACEMI, M.; MALLEY, J. (ed.). **Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. Genebra: IPCC, 2019. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/srccl/>>. Acesso em 24 de jun. 2022.

SILVA, G. A. da.; BRASHER, M.; LIMA, J. A. O; LAMB, C. R. **Avaliação do ciclo de vida: ontologia terminológica**. Brasília: Ibict, 2014.

SUTTER, J. **Life Cycle Inventories of Pesticides**. St. Gallen, Switzerland: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2010.

TUBIELLO, F. N. ROSENZWEIG, C.; CONCHEDDA, G.; KARL, K.; GÜTSCHOW, J.; XUEYAO, P.; OBLI-LARYEA, G.; WANNER, N.; QIU, S. Y.; BARROS, J. de. Greenhouse gas emissions from food systems: building the evidence base. **Environmental Research Letters**, v. 16, n.6, 065007, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac018e>.

VAN MIDDELAAR, C. E.; CEDERBERG, C.; VELLINGA, T. V.; VAN DER WERF, H. M.; DE BOER, I. J. Exploring variability in methods and data sensitivity in carbon footprints of feed ingredients. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 4, p. 768-782, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0521-9>.

VAN PAASSEN, M.; BRACONI, N.; KULING, L.; DURLINGER, B.; GUAL, P. **Agri-footprint 5.0**. Gouda, Netherlands, 2019. Disponível em: <<https://www.agri-footprint.com/wp-content/uploads/2019/11/Agri-Footprint-5.0-Part-2-Description-of-data-17-7-2019-for-web.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2022.

WAGNER, S. A.; GIASSON, E.; MIGUEL, L. M.; MACHADO, J. A. D. (org.). **Gestão e planejamento de unidades de produção agrícolas**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2010. 128p.

WALTHER U.; RYSER J. P.; FLISCH, R. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau 2001. **Agrarforschung**, v. 8, n.6, p. 1-80, 2001. Disponível em: <<http://www.art.admin.ch/dokumentation/>>. Acesso em: 06 jun. 2022.

Anexo 1: Glossário

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): compilação e avaliação das entradas, saídas e potenciais impactos ambientais de um sistema de produto ao longo de seu ciclo de vida (ISO, 2006a, 2006b).

Análise de Inventário do Ciclo de Vida (ICV): fase da avaliação do ciclo de vida (ACV) que envolve a compilação e a quantificação de entradas e saídas de um sistema de produto ao longo de seu ciclo de vida (ISO, 2006a, 2006b).

Banco de dados de inventários do ciclo de vida: coleção de dados de inventários de ciclo de vida.

Entrada: fluxo de produto, material ou energia que entra em um processo elementar (ISO, 2006a, 2006b).

Metadados: informações que caracterizam os dados documentados, garantindo que estes sejam localizáveis, acessíveis, reutilizáveis e interoperáveis (FAIR, em inglês).

Dado primário: dado coletado diretamente junto ao processo elementar (Silva et al., 2014).

Dado secundário: dado calculado ou estimado a partir de informações disponíveis na literatura (Silva et al., 2014).

Inventário do ciclo de vida: Conjunto de dados quantificados das entradas e saídas em um estudo de ACV (Silva et al., 2014).

“Primary data”: ver ‘Dado primário’.

Processo de “foreground”: parte de um estudo de ACV que é específica para o sistema de produto que está sendo modelado, frequentemente chamada de primeiro plano do modelo e projetada pelo modelador (Kuczenski et al., 2018).

Processo de “background”: partes que refletem a economia industrial como um todo e são extraídas de bancos de dados de referência, sendo chamadas também de plano de fundo ou segundo plano (Kuczenski et al., 2018).

Processo elementar: Menor elemento considerado na análise de inventário do ciclo de vida para o qual dados de entrada e saída são quantificados (ISO, 2006a, 2006b).

Saída: Fluxo de produto, material ou energia que deixa um processo elementar (ISO, 2006a, 2006b).

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP-340, Km 127,5
Tanquinho Velho
CEP: 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: +55 (19) 3311-2610
Fax: +55 (19) 3311-2640
www.embrapa.br/meio-ambiente
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição
1ª edição eletrônica (2022)



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente

Janaina Paula Marques Tanure

Secretário-Executivo

Cristina Tiemi Shoyama

Membros

*Cristiano Menezes, Victor P. M. Simão, Eliana
de Souza Lima, Rafaela C R. M. Duarte, Fagoni
F. Calegario, Geraldo Stachetti Rodrigues, Vera
Lucia Ferracini, Ana Lucia Penteado*

Revisão de texto

Eliana de Souza Lima

Normalização bibliográfica

Maria de Cléofas Faggion Alencar, CRB-8/1658

Tratamento das ilustrações

Silvana Cristina Teixeira

Projeto gráfico

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Silvana Cristina Teixeira

Ilustração da capa

Milena Pagliacci