

## Capítulo • 2

# Pegada de carbono de produtos agrícolas: estudo de caso do melão Amarelo

*Viviane da Silva Barros  
Tayane de Lima Santos  
Maria Cléa Brito de Figueirêdo  
Ebenézer de Oliveira Silva  
João Alencar de Sousa  
Fernando Antonio de Souza Aragão*

### Introdução

O termo “pegada de carbono” para produtos se refere à massa de gases de efeito estufa (GEE) emitida devido à produção, uso e descarte de um produto, ou seja, a emissão de GEE durante o ciclo de vida do produto (PANDEY et al., 2011). Os principais GEE emitidos para atmosfera devido à atividade humana são o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ ) (INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006).

Estudos da pegada de carbono de produtos são estudos de impacto ambiental com foco na categoria de impacto mudanças climáticas. Como resultado do estudo da pegada de carbono, pode-se identificar as atividades com maior potencial de emissão de GEE e definir práticas de manejo que mitiguem essas emissões. Quando o estudo leva à certificação do produto, contribui para ampliar o mercado para comercialização do produto em locais onde os consumidores valorizam essa iniciativa, como o mercado europeu.

Empresas internacionais de suprimento como Tesco (TESCO PLC., 2013), Casino (CASINO GROUP, 2013) e Dole (DOLE FOOD COMPANY, 2011) realizam estudos de pegada de carbono dos alimentos que comercializam. Esses estudos resultam na certificação da pegada de carbono dos produtos, já que é realizada por terceiros. A certificação de pegada de carbono é expressa em selo de qualidade presente na embalagem do produto.

Neste capítulo, são apresentadas as principais atividades possivelmente geradoras de emissões de GEE na produção de melão, os procedimentos para



cálculo das emissões de GEE e da pegada de carbono e os principais protocolos para certificação da pegada. Por fim, dois estudos de caso apresentam a pegada de carbono do melão Amarelo produzido em sistemas de cultivo tradicional e conservacionista no Nordeste brasileiro.

## **Possíveis fontes de emissões de GEE no cultivo do melão**

A seguir, estão listadas as potenciais fontes de emissão de GEE desde o estabelecimento até a colheita e comercialização do melão produzido em sistema de produção de melão no Nordeste brasileiro. As principais emissões diretas e indiretas decorrentes dos processos envolvidos na produção de melão estão sumarizadas na Tabela 1.

### **Limpeza inicial do terreno (desmatamento e queima da vegetação nativa)**

O desmatamento de áreas com cobertura vegetal nativa para implantação de áreas agrícolas era responsável, até o ano de 2010, pela maior parte das emissões antropogênicas de gases de efeito estufa no Brasil (BRASIL, 2014). O principal gás emitido devido ao desmatamento e queima da vegetação nativa é o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

A mudança no uso da terra causa danos às propriedades do solo, devido a: aumento da erosão, pela ação da chuva e do vento sobre o solo nu; compactação, pelo uso intenso de maquinários agrícolas; e modificação da estrutura do solo, pela alteração da sua capacidade de retenção de água e nutrientes.

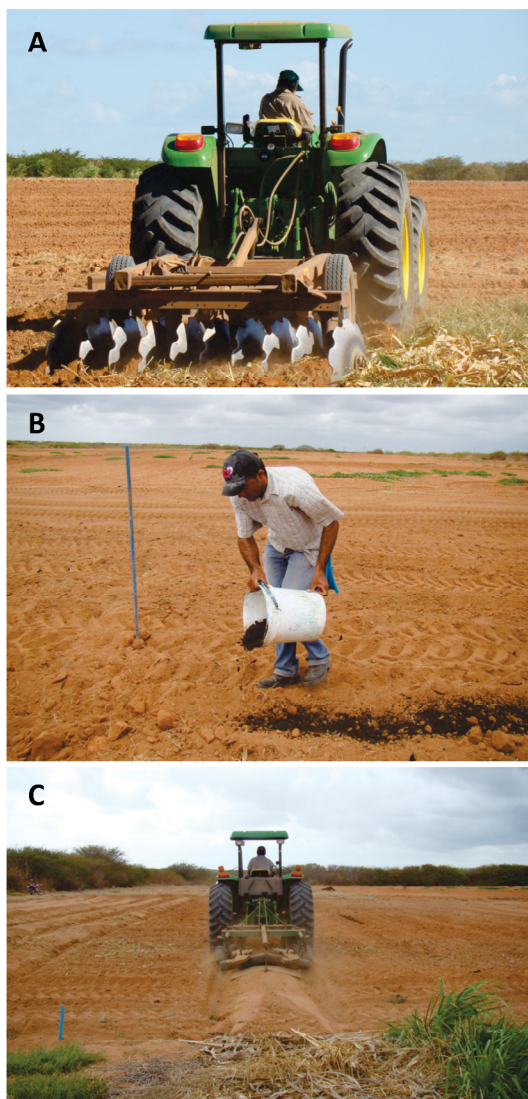
As emissões de GEE decorrentes da abertura de novas áreas podem ser reduzidas pela escolha de áreas já utilizadas para a agricultura ou recuperação de áreas degradadas para instalação de novas áreas produtoras de melão. A recuperação de áreas degradadas aliada ao manejo sustentável das áreas de produção torna possível a maximização do uso de áreas para fins agrícolas, evitando o desmatamento para o estabelecimento de novas áreas de produção.

### **Preparo do solo**

As operações de preparação do solo com o uso de arado e grades são frequentemente realizadas nas áreas produtoras de melão do Nordeste (Figura 1A). Dependendo do resultado da análise de solo, faz-se necessário realizar a adubação de fundação, a aplicação de composto orgânico e calcário



para correção de possível acidez (Figura 1B). Para facilitar a drenagem, são levantados camalhões (canteiros), com largura entre 1,5 m e 2,0 m, onde é instalado o sistema de irrigação, colocado manta plástica (*mulching*) e realizado o plantio das mudas (Figura 1C).



Fotos: João Alencar de Sousa

**Figura 1.** Preparo do solo: (A) aração e gradagem do solo; (B) aplicação de adubo orgânico e (C) levantamento dos camalhões. Área experimental do projeto Repensa-Melão (Tibau, RN).



**Tabela 1.** Principais fontes de emissões de gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) em cada etapa do processo produtivo de melão no Nordeste.

Etapa de produção	Emissões dos principais GEE ( $\text{CO}_2$ , $\text{CH}_4$ e $\text{N}_2\text{O}$ ) na produção de melão	
	Emissões diretas	Emissões indiretas
Desmatamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perda da biomassa vegetal e redução do estoque de carbono no solo (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{N}_2\text{O}</math>)</li> <li>- Queima da biomassa (<math>\text{CH}_4</math>, <math>\text{CO}_2</math> e <math>\text{N}_2\text{O}</math>)</li> <li>- Queima de combustível fóssil por veículos para retirada da vegetação (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{N}_2\text{O}</math> e <math>\text{CH}_4</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de diesel utilizado nos veículos (<math>\text{CO}_2</math>)</li> </ul>
Preparo do solo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Queima de combustível fóssil por veículos para preparo do solo (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{N}_2\text{O}</math> e <math>\text{CH}_4</math>)</li> <li>- Adubação de fundação (<math>\text{N}_2\text{O}</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de plásticos p/irrigação, manta e <i>mulching</i> (<math>\text{CO}_2</math> e <math>\text{CH}_4</math>)</li> <li>- Produção de fertilizantes (<math>\text{N}_2\text{O}</math>, <math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>)</li> <li>- Produção de diesel utilizado nos veículos (<math>\text{CO}_2</math>)</li> <li>- Transporte de insumos para a fazenda (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>, <math>\text{N}_2\text{O}</math>)</li> <li>- Produção de fertilizantes (<math>\text{N}_2\text{O}</math>, <math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>)</li> </ul>
Cultivares, produção de mudas e plantio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adubação (<math>\text{N}_2\text{O}</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de plásticos para bandejas de mudas e cobertura das estufas (<math>\text{CO}_2</math> e <math>\text{CH}_4</math>)</li> <li>- Produção de energia elétrica para bombeamento da água de irrigação (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>)</li> <li>- Transporte de insumos para a fazenda (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>, <math>\text{N}_2\text{O}</math>)</li> </ul>
Nutrição de planta	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fertilização (<math>\text{N}_2\text{O}</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de fertilizantes (<math>\text{N}_2\text{O}</math>, <math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>)</li> <li>- Produção de energia elétrica para bombeamento da água de irrigação (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>)</li> <li>- Transporte de insumos para a fazenda (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>, <math>\text{N}_2\text{O}</math>)</li> </ul>
Manejo da cultura – plantas daninhas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Queima de combustível fóssil por veículos – aplicação de agrotóxicos (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{N}_2\text{O}</math> e <math>\text{CH}_4</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de herbicidas (<math>\text{CO}_2</math>)</li> <li>- Produção de diesel utilizado nos veículos (<math>\text{CO}_2</math>)</li> <li>- Transporte de insumos para a fazenda (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>, <math>\text{N}_2\text{O}</math>)</li> </ul>
Manejo da cultura – controle de plantas daninhas, pragas e doenças	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Queima de combustível fóssil por veículos – aplicação de agrotóxicos (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{N}_2\text{O}</math> e <math>\text{CH}_4</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de inseticidas e fungicidas (<math>\text{N}_2\text{O}</math>, <math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>)</li> <li>- Produção de diesel utilizado nos veículos (<math>\text{CO}_2</math>)</li> <li>- Transporte de insumos para a fazenda (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>, <math>\text{N}_2\text{O}</math>)</li> </ul>
Pós-colheita	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Queima de combustível fóssil por veículos – transporte de frutos para <i>packing house</i> (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{N}_2\text{O}</math> e <math>\text{CH}_4</math>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produção de energia elétrica utilizada por maquinário pós-colheita (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>)</li> <li>- Produção de diesel utilizado nos veículos (<math>\text{CO}_2</math>)</li> <li>- Produção de papel para embalagem do melão (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>, <math>\text{N}_2\text{O}</math>)</li> <li>- Transporte de insumos para a fazenda (<math>\text{CO}_2</math>, <math>\text{CH}_4</math>, <math>\text{N}_2\text{O}</math>)</li> </ul>

Fonte: Barros (2012).



As atividades de preparo do solo movimentam as camadas superiores de solo, facilitando a liberação de  $N_2O$  e  $CO_2$  pela decomposição de compostos orgânicos; de  $N_2O$ , pelo uso de fertilizantes, e de  $CO_2$ , pela aplicação de calcário e ureia. Outras emissões nesta etapa são decorrentes da queima de combustíveis fósseis que libera  $CO_2$ ,  $CH_4$  e  $N_2O$ . Emissões indiretas de GEE ocorrem na produção dos insumos agrícolas utilizados nessa etapa da produção: composto, ureia, calcário e combustível.

Em compensação, o uso de adubos verdes na entressafra de melão proporciona melhoria na qualidade do solo. A cobertura vegetal promove o sombreamento do solo, reduz a evaporação e a erosão, bem como influencia na fertilidade do solo, proporcionando o aumento da matéria orgânica, carbono no solo e reduzindo a necessidade de aplicação de composto orgânico (HERNANI; PADOVAN, 2014).

### **Produção de sementes**

A produção de sementes é composta de diferentes processos desde a produção de mudas e frutos, colheita, extração das sementes, fermentação das sementes, lavagem, secagem em estufa e armazenamento. Dependendo do ambiente, a produção pode ser realizada em estufas com ou sem aquecimento. Geralmente, a produção em países tropicais dispensa o uso de aquecimento, o que diminui custos e impactos. Porém, as sementes adquiridas pelos produtores de melão são, na maioria das vezes, importadas de outros países (FIGUEIRÊDO et al., 2013).

As emissões diretas nesta fase são em maior parte de  $N_2O$  devido ao uso de fertilizantes. Emissões indiretas de GEE ocorrem na produção e transporte dos insumos utilizados nessa etapa da produção: sementes, fertilizantes e energia elétrica para irrigação e controle de temperatura.

### **Produção de mudas e plantio**

O plantio do melão se dá de duas formas: semeadura direta (como ocorre no sistema convencional de produção no Submédio São Francisco) e por transplantio de mudas (como ocorre na região do Baixo Jaguaribe e Açu).

O processo de produção de mudas envolve as seguintes etapas: semeadura, germinação em temperatura controlada e desenvolvimento em casa de vegetação. Para atender à demanda por mudas, uma empresa especializada pode realizar essa produção em uma unidade com área de 1.200 m<sup>2</sup>, produzindo cerca de 110 milhões de mudas por ano (FIGUEIRÊDO et al., 2013).



Nessa etapa de produção de mudas e plantio, ocorrem emissões diretas de  $N_2O$  devido à aplicação de adubo nitrogenado no plantio. Emissões indiretas de GEE ocorrem devido à produção (energia elétrica para irrigação e refrigeração) e ao transporte dos insumos (composto orgânico e tubetes) utilizados na produção e no plantio das mudas.

### Nutrição da planta: irrigação e fertirrigação

No campo, além da adubação inicial com uso de composto orgânico, feito a partir de esterco bovino, usualmente a planta recebe, durante todo o seu ciclo de produção, nutrientes diluídos na água de irrigação, procedimento denominado fertirrigação. Ocorrem aplicações de fertilizantes sintéticos via água de irrigação contendo formulações de NPK, sulfato de potássio, ácido fosfórico, nitrato de cálcio e nitrato de potássio, dentre outros produtos. É importante salientar que, sendo o melão uma cultura de ciclo curto, que se estende em média por 65-70 dias do plantio à colheita, o programa de fertirrigação deve ser equilibrado e bem conduzido, oferecendo à planta os nutrientes necessários em cada etapa do cultivo.

O uso de fertilizantes, principalmente nitrogenados, emite GEE nas áreas produtoras de melão. Processos químicos que ocorrem no solo, como desnitrificação e nitrificação, produzem  $N_2O$ , que, embora não seja gerado em grandes quantidades, têm grande potencial de aquecimento global e significativo valor na pegada de carbono do produto, com uma magnitude cerca de 298 vezes maior do que de uma molécula de  $CO_2$ , em 100 anos (Tabela 2). Além das emissões diretas pelo uso dos fertilizantes, também são gerados  $N_2O$ ,  $CO_2$  e  $CH_4$  nos processos de fabricação e transporte dos fertilizantes e tubos de irrigação utilizados, e na produção e distribuição de energia necessária ao sistema de irrigação.

**Tabela 2.** Potencial de aquecimento global de GEE em diferentes períodos.

GEE	20 anos	100 anos	500 anos
$CO_2$	1	1	1
$CH_4$	72	25	7,6
$N_2O$	289	298	153

Fonte: IPCC (2006).



Em contrapartida, a adubação verde pode reduzir as emissões originadas na utilização de fertilizantes sintéticos. Essa prática consiste em produção e corte de plantas imaturas, na fase de floração, que podem ou não ser incorporadas ao solo cuja fertilidade e produtividade se deseja preservar ou restaurar (WUTKE et al., 2014).

As leguminosas são culturas preferencialmente utilizadas como adubos verdes, pois são fontes de macro e micronutrientes que podem ser absorvidos pela cultura sucessora. Ainda, essas plantas realizam a fixação biológica do nitrogênio (FBN), onde, por meio de processos biológicos, o nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) é convertido em nitrogênio reativo, assimilável pelas plantas. Assim, o uso de fertilizantes sintéticos é reduzido (WUTKE et al., 2014).

O acúmulo de carbono no solo está diretamente relacionado à quantidade de biomassa e resíduos orgânicos utilizados no sistema de produção. Assim, solos onde se realiza a deposição de material vegetal tendem a ter mais matéria orgânica e carbono estocado (BODDEY et al., 2012). O carbono é estocado na planta por meio da fotossíntese. Assim, o  $CO_2$  atmosférico que é transferido para as leguminosas pode ser estocado no solo em áreas que recebem resíduos vegetais da adubação verde.

### **Manejo cultural, controle de plantas invasoras, pragas e doenças**

Plantas invasoras se referem à vegetação que nasce em uma área de produção agrícola, interferindo no desenvolvimento da cultura principal e afetando sua produção. As plantas invasoras são dotadas de rusticidade e intenso vigor vegetativo e reprodutivo, concorrendo diretamente com a cultura principal na extração de elementos vitais como água, luz,  $CO_2$  e nutrientes (BRAGA et al., 2008).

Na produção de melão, o controle de plantas invasoras é feito usualmente utilizando uma cobertura sobre o solo, principalmente a manta plástica de polietileno, denominada *mulching*. Esse tipo de cobertura também é responsável por proteger o solo de possível erosão causada por incidência de chuva, além de manter a disponibilidade de água e diminuir a variação de temperatura no solo.

O controle químico de plantas daninhas pode também ser realizado com o uso de herbicidas pré-emergentes (aplicados antes do plantio da cultura) e pós-emergentes que são utilizados durante o ciclo produtivo para



evitar infestação da planta invasora. O controle de pragas e doenças é realizado com a aplicação de pesticidas. A emissão direta de GEE, principalmente CO<sub>2</sub>, ocorre devido à utilização de trator que queima combustível fóssil para aplicação desses produtos no campo. Emissões indiretas de GEE ocorrem quando plásticos e pesticidas são produzidos e transportados às unidades produtoras de melão.

### Aspectos pós-colheita

As principais atividades realizadas após a colheita do melão até o recebimento do produto pelo consumidor final são: transporte do fruto para a casa de embalagem; lavagem do fruto e aplicação de fungicida; secagem a vapor do fruto; embalagem em caixas apropriadas; empilhamento das caixas sobre *pallet* (paletização); resfriamento rápido para redução do metabolismo do melão e prolongamento da vida pós-colheita; e transporte do fruto para o mercado interno ou externo.

Nessa etapa da cadeia produtiva, existem emissões diretas de GEE, devido à queima de combustível fóssil por caminhões e tratores, e indiretas, devido à produção de combustível e gasto de energia elétrica e outros insumos (detergente, fungicida, papelão e *pallets* de madeira) utilizados no processo de preparo para transporte e comercialização do produto.

## Cálculo das emissões de GEE relacionados a um produto agrícola

O cálculo das emissões de GEE é usualmente realizado de acordo com a metodologia proposta pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2006). A Equação 1A generaliza como o cálculo da massa de GEE é feito em estudo de pegada de carbono de um produto agrícola.

$$GEE_{g,a} = Entradas_a * FC_{g,a} \quad \text{Eq. 1A}$$

Em que:

– GEE<sub>g,a</sub> é a massa (em kg) de um GEE *g* liberada em uma atividade *a* (mudança de uso do solo, aplicação de fertilizantes nitrogenados, ou queima de combustíveis fósseis), no tempo de 1 ano.





– Entradas<sub>a</sub> são as massas (kg) dos recursos utilizados durante uma atividade a, no período de 1 ano.

–  $FC_{g,a}$  é o fator de emissão, selecionado segundo as características do insumo e região em que a atividade de produção ocorre. O IPCC (2006) oferece fatores de caracterização que podem ser utilizados na estimativa de emissões provenientes de atividades agrícolas.

A equação 1B, por sua vez, permite o cálculo da massa total (kg) do gás *g* liberado em todos os processos de produção da cadeia de produção relacionada a um produto. Essa massa total é calculada considerando tanto as emissões dos processos de produção de insumos, utilizados na produção agrícola, como as emissões do plantio a colheita no campo. Além disso, a massa total do GEE *g* é relativa a quantidade de produto final comercializado. Assim, nos estudos de pegada de carbono de produtos agrícolas, é fundamental definir a quantidade anual produzida (massa) do produto agrícola e as quantidades de insumos necessários à obtenção dessa quantidade de produto, uma vez que o estudo considera tanto as emissões de GEE da produção de insumos como as emissões provenientes da área agrícola (estudo do tipo berço ao portão em avaliação de ciclo de vida, como detalhado no capítulo sobre pegada ambiental de produtos).

$$\text{Massa\_Total}_{\text{GEE}_g} = \left( \sum_{p=1}^n \text{GEE}_g \right) / \text{massa\_produto (kg)} \quad \text{Eq. 1B}$$

Em que:

–  $\text{Massa\_Total}_{\text{GEE}_g}$  é a massa (kg de emissão/kg de produto) total de um determinado GEE *g* por kg de produto agrícola gerado em um ano em um hectare agrícola.

– *massa\_produto* é a produção (kg) comercializada anualmente em um hectare agrícola.

Usualmente, dentro do processo de produção agrícola, as atividades consideradas para estimativa dos gases são: i) transformação do uso da terra, quando ocorreu há menos de 20 anos; ii) queima de combustíveis fósseis pelo maquinário; iii) uso de fertilizantes nitrogenados, e iv) incorporação de restos culturais ao solo.



## Cálculo da pegada de carbono de um produto agrícola

A pegada de carbono de um produto é calculada multiplicando-se a somatória do produto de cada gás  $g$  ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ , emitidos em todos os processos produtivos considerados no ciclo de vida do produto) pelo potencial de aquecimento global do gás  $g$ , considerando o período de 100 anos (INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006). A Equação 2 indica a fórmula utilizada para o cálculo da pegada de carbono de um produto.

$$PC_p = \sum_{g=1}^n \text{Processo} - GEE_{g,p} * PAG_g \quad \text{Eq. 2}$$

Em que:

- $PC_p$  é a pegada de carbono do produto ( $\text{kg CO}_2\text{-eq/kg}$  de produto/ano).
- $\text{Processo} - GEE_{g,p}$  é a massa total do gás  $g$  ( $\text{kg}$ ) emitida em todos os processos  $p$  por  $\text{kg}$  de produto final gerado.
- $PAG_g$  é o potencial de aquecimento global do gás  $g$ , em um período de 100 anos.

O potencial de aquecimento global dos principais gases de efeito estufa para os períodos de 20, 100 e 500 anos é apresentado na Tabela 2.

## Protocolos para determinação da pegada de carbono de produtos

Podem-se apontar três principais protocolos que orientam estudos quanto à quantificação e comunicação aos consumidores da pegada de carbono de produtos: o PAS 2050 (BSI, 2011), a Norma para Contabilização e Comunicação da Pegada de Carbono de Produtos (WRI; WBCSD, 2011) e a ISO 14067 (ISO, 2012). Uma análise comparativa dos critérios utilizados nesses protocolos permite a identificação de semelhanças e diferenças entre eles (Tabela 3).



**Tabela 3.** Comparação entre as principais metodologias de certificação da pegada de carbono de um produto.

Critério	Aspectos	WRI/SWBCSD	PAS 2050	ISO 14067
Metas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fornece uma metodologia consistente para quantificação da pegada de carbono em produtos, envolvendo identificação, conhecimento e gerenciamento das emissões</li> <li>- Fornece requisitos para comunicação pública dos resultados</li> </ul>	✓	✓	✓
Avaliação de impacto	- Avalia, segundo o International Panel on Climate Change (2006), o potencial de aquecimento global dos GEE, por 100 anos	✓	✓	✓
Fronteiras do sistema permitidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Da empresa ao consumidor</li> <li>- Da empresa para empresa</li> </ul>	✓	✓	✓ Permitido, desde que justificado e em sintonia com os objetivos do estudo
Unidade de análise	- Os resultados da avaliação são relativos a uma unidade funcional de referência. A unidade funcional é a quantificação da função de um produto	✓	✓	✓
Indicador	- Resultado expresso em kg CO <sub>2</sub> -eq/ unidade funcional	✓	✓	✓
GEE	- Gases inventariados: emissões e remoções, na atmosfera, de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), metano (CH <sub>4</sub> ), óxido nítrico (N <sub>2</sub> O), hexafluoreto de enxofre (SF <sub>6</sub> ), perfluorcarbonos (PFCs) e os hidrofluorcarbonos (HFCs)	✓ Apresenta, separadamente, todas as emissões e remoções biogênicas e não biogênicas de CO <sub>2</sub>	✓ Não considera emissões de CO <sub>2</sub> , por fontes biogênicas, quando equivalentes às remoções	✓

Continua...



Tabela 3. Continuação.

Critério	Aspectos	WRI/SWBCSD	PAS 2050	ISO 14067
Armazenagem de carbono no produto	- Consideração das remoções biogênicas e não biogênicas, e, após a disposição final do produto, o teor de carbono é mantido por um período maior que o período de avaliação	✓	✓	✓
Carbono no solo	- Quantificação e consideração do carbono armazenado no solo devido a práticas agrícolas	Permitido com comprovação científica		Permitido desde que cálculo utilize métodos indicados pelo IPCC
Mudança no uso da terra	- Consideração da transformação direta de áreas florestais em agrícolas ocorrida após 1990, em qualquer fase do ciclo de vida do produto - Consideração das emissões de GEE devido às transformações indiretas pelo uso da terra	✓ Podem ser reportadas separadamente	✓	✓ Podem ser reportadas quando houver consenso internacional sobre método
Dados	- Apresenta regras de qualidade para coleta de dados - Indicação de coleta de dados primários para os processos pertencentes, operados ou controlados pela organização que desenvolve o estudo	✓ ✓	✓ ✓	✓ ✓
Alocações	- Indicação de alocação física quando mais de um produto ou coprodutos são gerados, caso não possa ser evitada pela expansão do sistema do produto - Indicação de alocação econômica quando mais de um produto ou coprodutos são gerados, caso não possa ser evitada pela expansão do sistema do produto	✓		✓ Segunda opção
Incertezas	- Requer a inclusão de uma indicação qualitativa de incertezas dos resultados	✓	✓	✓



Observam-se as seguintes semelhanças entre os protocolos utilizados para determinação da pegada de carbono de um produto: i) utilizam métodos elaborados pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006), incluindo as emissões decorrentes de mudanças no uso da terra, para estimar emissões de GEE; ii) expressam o resultado da pegada em termos de massa de CO<sub>2</sub>-equivalente (CO<sub>2</sub>-eq), considerando o potencial de aquecimento global dos GEE em um período de 100 anos; iii) requerem a consideração das fontes de incerteza nos resultados; iv) requerem o uso da avaliação do ciclo de vida (ACV) para o cálculo da pegada; v) associam os resultados da pegada a uma unidade funcional de referência. A pegada de carbono de produtos agrícolas usualmente utiliza como unidade funcional um quilo ou tonelada de produto, considerando a produção em 1 ano, para culturas anuais, ou todos os anos de vida útil do pomar, no caso de culturas permanentes. Já as principais diferenças nesses protocolos se referem: i) ao escopo da avaliação, ou seja, processos que precisam ser contemplados no cômputo das emissões de GEE; ii) à consideração e comunicação das emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de fontes biogênicas e remoções de carbono no solo; e iii) ao procedimento indicado para alocação dos dados quando um processo resulta em mais de um produto.

Recomenda-se que o cálculo das emissões de GEE oriundas de cada processo utilize os métodos propostos pelo International Panel on Climate Change (2006), que também são utilizados para realização de inventários nacionais dos GEE. Os métodos são propostos pelo IPCC para cada atividade (ex.: agricultura, indústria, energia e resíduos) e gás de efeito estufa (ex.: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>). Para o cálculo de GEE em áreas de cultivo, os métodos do International Panel on Climate Change (2006) combinam informações relacionadas à quantidade de insumos utilizados (ex.: quantidade de fertilizante nitrogenado), características ambientais (ex.: tipo de solo, vegetação, clima e cultura) e fatores de emissão para cada gás em estudo. O International Panel on Climate Change (2006) fornece informações ambientais para classes globais de bioma, clima e solo, assim como fatores de emissão gerais para grupos de culturas temporárias e permanentes (metodologia mais simplificada de análise – Tier1) cultivados em todo o mundo. O inventário brasileiro de emissões de GEE apresenta informações ambientais mais detalhadas para biomas e solos brasileiros (BRASIL, 2014). Figueirêdo et al. (2013) sumariza, em material suplementar, equações para o cálculo de emissões e fatores utilizados para as atividades de produção de melão.



As incertezas relacionadas aos estudos de pegada de carbono de produtos agrícolas estão relacionadas à qualidade dos dados coletados e à estimativa das emissões. A coleta de dados deve prezar pela completude e possuir correlação tecnológica, temporal e geográfica com a região onde os processos em estudo ocorrem. Nesses levantamentos, deve-se primar pela consideração da variabilidade dos dados. A transparência quanto a essa variabilidade é importante para que os interessados no estudo possam entender suas limitações e abrangência.

Outra fonte que traz incerteza aos estudos de pegada de carbono são os fatores de emissão utilizados no cálculo das emissões de GEE (FIGUEIRÊDO et al., 2016). Como observado anteriormente, os fatores disponíveis nos inventários de GEE do International Panel on Climate Change (2006) e do governo brasileiro (BRASIL, 2010) são gerais e contemplam grandes biomas brasileiros, sendo necessário o desenvolvimento de pesquisa para geração de fatores de emissões característicos de culturas específicas e microrregiões brasileiras. Pesquisas estão em andamento no Brasil com o objetivo de determinar fatores de emissão de  $N_2O$  para o uso de fertilizantes em culturas específicas localizadas em diferentes condições ambientais brasileiras, como a cana-de-açúcar produzida no Sudeste e o melão no Nordeste.

## **Estudo de caso 1: pegada de carbono do melão Amarelo produzido em sistema convencional no polo Baixo Jaguaribe-Açu**

Este estudo, realizado por Figueiredo et al. (2013), refere-se ao sistema convencional de cultivo praticado em fazendas da região do Baixo Jaguaribe e Açu (CE e RN), principal área produtora e exportadora de melão do Brasil. O clima da região, de acordo com a classificação de Koeppen, é do tipo 'BSwh', quente e seco, com precipitação pluviométrica média anual de 674 mm; temperatura e umidade relativa do ar média de 27 °C e 68,9%, respectivamente, e o período chuvoso na região é de fevereiro a junho, com baixíssimas possibilidades de ocorrência de chuvas entre agosto e dezembro (CARMO FILHO; OLIVEIRA, 1995).

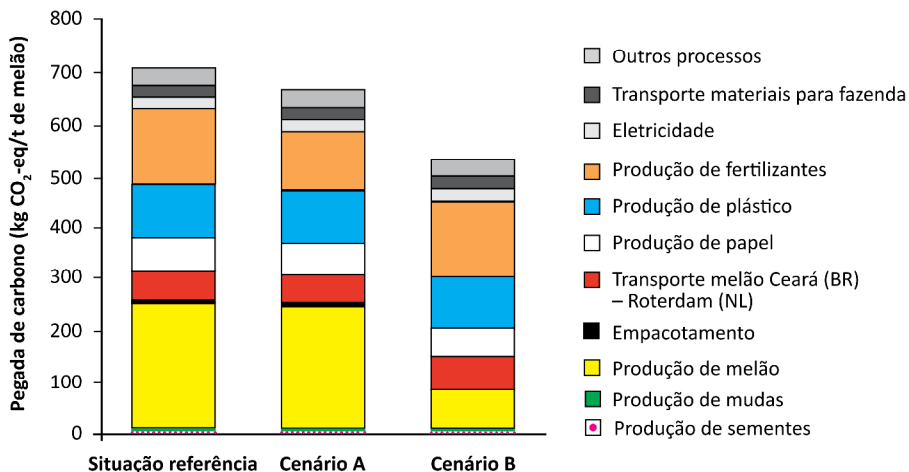
A avaliação da pegada de carbono do melão Amarelo brasileiro considera incertezas e cenários de produção. O estudo é baseado na avaliação de ciclo de vida, segundo as normas ISO 14040 e 14044 (ISO, 2006a, 2006b), com o foco na avaliação da categoria de impacto sobre mudanças climáticas. O resultado



da avaliação é expresso em kg CO<sub>2</sub>-eq por tonelada de melão exportado para o Porto de Roterdam, na Holanda.

A análise considera os seguintes processos: i) montante da produção agrícola, relacionada à produção e transporte dos insumos utilizados no cultivo do meloeiro (fertilizantes, agrotóxicos, combustível, eletricidade e outros); ii) processos agrícolas, relacionados à produção de sementes, mudas e frutos; e iii) processos a jusante da produção agrícola, relacionados ao empacotamento dos melões, transporte viário ao porto e marítimo para a Europa, e disposição final de resíduos sólidos da produção agrícola em aterros e incineradores (embalagens de agrotóxicos, por exemplo).

A avaliação da pegada de carbono do melão apresentada neste estudo de caso considera uma situação de referência e dois cenários de produção agrícola A e B (Figura 2). Na situação de referência, áreas de Caatinga são transformadas em áreas agrícolas há menos de 20 anos e valores médios encontrados para cada insumo são utilizados. No cenário A, a quantidade média de fertilizante nitrogenado empregado na produção de melão é reduzida de 6 para 4 kg/t de melão, seguindo a indicação para a região em estudo, sugerida por Crisostomo et al. (2003). No cenário B, considera-se que as áreas produtoras de sementes, mudas e melão já são ocupadas com atividades agrícolas há mais de 20 anos, não tendo ocorrido desmatamento de vegetação nativa, e que as mesmas quantidades de insumos da situação de referência são utilizadas.



**Figura 2.** Pegada de carbono do melão Amarelo na situação de referência e cenários A e B.

Fonte: Figuerêdo et al. (2012).



Este estudo de caso mostra que a produção de melão em campo aberto é o processo que mais requer área plantada. Consequentemente, é responsável pelas maiores emissões de GEE devido à mudança no uso do solo. Esse processo também utiliza as maiores quantidades de fertilizantes nitrogenados por kg de melão exportado, liberando as maiores quantidades de  $N_2O$ .

A pegada média de carbono do melão Amarelo é de 710 kg  $CO_2$ -eq/t melão exportado na situação de referência (Figura 2). Entretanto, devido às incertezas, esse valor pode variar de 539 a 669 kg  $CO_2$ -eq/t. Essas incertezas se devem, principalmente, às variações dos tipos de solo e vegetação de caatinga encontrados na região do Baixo Jaguaribe, e dos fatores de emissão aplicados de acordo com o International Panel on Climate Change (2006), que influenciam a estimativa de emissões de GEE.

Comparando a pegada de carbono na situação de referência com a dos cenários A e B, observa-se que a pegada de carbono do melão pode ser reduzida. A principal redução (24% em relação à situação referência) ocorre no cenário B, quando os processos agrícolas são instalados em áreas já desmatadas há mais de 20 anos. No cenário A, a redução no uso de fertilizantes nitrogenados na produção de melão implica menores emissões de  $N_2O$  no campo e na produção dos fertilizantes, com redução em 6% da pegada de carbono em relação à situação referência.

Ainda, a magnitude da pegada de carbono do melão nos cenários do Nordeste brasileiro é menor do que a pegada de carbono encontrada para o melão produzido na Sicília, Itália (1.427 kg  $CO_2$ -eq/t, (CELLURA et al., 2012). A diferença entre os resultados pode ser em função da diferença entre os ciclos e sistemas de produção (produção em campo aberto e em estufas), quantidade de plantas por área, assim como a quantidade de insumos utilizados em cada sistema de produção.

## **Estudo de caso 2: pegada de carbono do melão produzido sob sistema convencional e conservacionista no Submédio São Francisco**

Este estudo avalia a pegada de carbono do melão cultivado no Submédio São Francisco produzido de forma convencional e em um sistema conservacionista em área experimental. O sistema convencional é baseado em informações de uma



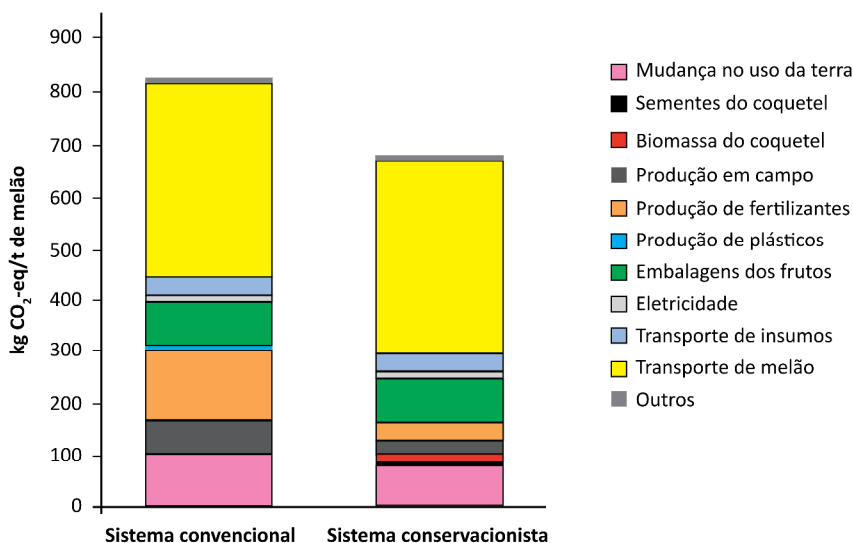


importante área produtora localizada no Município de Juazeiro, BA, que utiliza irrigação por gotejamento, plantio de sementes em cova, uso de maquinários e adubação intensiva. Já o sistema conservacionista considera informações de uma área experimental, localizada no Município de Petrolina, PE. Esse sistema conservacionista caracteriza-se por realizar adubação verde com a utilização de coquetel vegetal, composto por 25% de leguminosas e 75% de não leguminosas. O coquetel vegetal é incorporado ao solo antes do plantio de melão. As espécies do coquetel vegetal são: calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), mucuna-preta (*Mucuna aterrina*), mucuna-cinza (*Mucuna conchinchinensis*), *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes*), guandu (*Cajanus Cajan* L.), lab-lab (*Dolichos lablab* L.), gergelim (*Sesamum indicum* L.), milho (*Zea mays*), milheto (*Penisetum americanum* L.) e sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.).

Os processos considerados neste estudo de caso são: a produção e o transporte de insumos (sementes, fertilizantes, agrotóxicos, plásticos, combustível, entre outros), os processos envolvidos na produção de mudas (utilizadas apenas nos tratamentos com e sem incorporação de coquetel vegetal), a produção agrícola do melão em si, a embalagem e o transporte rodoviário dos frutos. Os dados inventariados se referem a valores médios (considerando os anos de 2011 a 2013) obtidos por meio da aplicação de questionários nas unidades de produção e campo experimental. A pegada de carbono é calculada em função da produção de uma tonelada de melão Amarelo produzido no Submédio São Francisco e transportado para a Ceagesp, cidade de São Paulo.

Observa-se que a pegada de carbono do sistema convencional (818,63 kg CO<sub>2</sub>-eq/t melão) é maior que a do sistema conservacionista (672,43kg CO<sub>2</sub>-eq por tonelada de melão produzido). A análise de incerteza, realizada segundo o método de Monte Carlo indica que o sistema convencional tem maior impacto que o sistema conservacionista nas mudanças climáticas, a um nível de significância de 100% (Figura 3).

No sentido de avaliar a contribuição dos principais processos no valor final da pegada de carbono, analisou-se a contribuição de cada processo na pegada de carbono do melão cultivado nos sistemas convencional e conservacionista. Observa-se que o transporte de melão tem significativa contribuição nos dois sistemas analisados, aproximadamente, 46% no sistema convencional e 56% no sistema conservacionista (Figura 3). As emissões nesse processo se devem, principalmente, à queima de combustíveis fósseis consumidos pelos caminhões utilizados no transporte rodoviário do melão até São Paulo.



**Figura 3.** Contribuição dos principais processos na pegada de carbono dos dois sistemas de produção.

No sistema convencional, nota-se ainda a importante contribuição da produção de fertilizantes. Essa contribuição é maior no sistema convencional, pois este utiliza maiores quantidades de fertilizantes que o sistema conservacionista (experimental com adubação verde). A demanda de fertilizantes sintéticos no sistema conservacionista é menor, pois há fornecimento de nutrientes pela adubação verde.

A mudança no uso da terra também se destaca entre os principais processos que contribuem para a pegada de carbono na produção de melão em ambos os sistemas. Porém, a mudança no uso da terra no sistema conservacionista apresenta menor contribuição para a pegada total de carbono (84,6 kg CO<sub>2</sub>-eq/t melão) do que no sistema convencional (103,37 kg CO<sub>2</sub>-eq/t de melão). Essa diferença se deve principalmente à biomassa do coquetel vegetal que repõe maiores quantidades de carbono ao solo, reduzindo as perdas de CO<sub>2</sub> (contabilizadas no balanço de C).

## Considerações finais

Estudos de pegada de carbono de alimentos são cada vez mais utilizados por cadeias de suprimento como instrumento mercadológico. Esses estudos



avaliam o impacto de produtos considerando as emissões de GEE que ocorrem ao longo do seu ciclo de vida, ou seja, considerando os processos de extração de matérias-primas, produção de insumos utilizados no campo, produção agrícola e transporte do produto ao mercado de destino.

Os estudos de pegada de carbono de produtos agrícolas no Brasil devem considerar as particularidades ambientais e de produção regionais. Os estudos de caso apresentados neste capítulo indicam que a pegada de carbono de um produto agrícola varia de acordo com a região, sistema de cultivo e tipo de transporte utilizado. Cada região possui características ambientais (tipo de solo e clima) que influenciam as taxas de emissão de GEE e o estoque de carbono no solo.

A produção de melão em rotação com adubos verdes incorporados ao solo (sistema conservacionista) apresenta menor pegada de carbono que a produção convencional sem rotação. A adubação verde fornece nutrientes à cultura do melão, reduzindo as emissões decorrentes principalmente do uso dos fertilizantes sintéticos. Além disso, o sistema conservacionista de produção de melão reduz as emissões provenientes da mudança do uso da terra, pois a biomassa do adubo verde contribui para reposição de carbono ao solo, reduzindo assim as perdas no balanço final de carbono do sistema de produção.

Analisando o processo de transporte de insumos e do produto final (melão), observa-se que o transporte por caminhão emite mais GEE do que por navio. O principal fator para essa diferença está relacionado ao volume de carga transportado. Assim, deve-se sempre avaliar a pertinência de realizar o transporte de insumos e do produto final por via marítima quando as distâncias são grandes e existe uma rede hidroviária disponível.

## Referências

BARROS, V. B. **Identificação do potencial de liberação de gases de efeito estufa na produção de melão (*Cucumis melo* L.), no Nordeste do Brasil.** 2012. 41 p. Trabalho conclusão do curso de Perícia, Auditoria e Gestão Ambiental. Universidade Paulista, São Paulo.

BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; MARTIN-NETO, L.; MADARI, B. E.; MILORI, D. M. B. P.; MACHADO, P. L. O. de A. Estoques de carbono nos solos do Brasil: quantidade e mecanismos de acúmulo e preservação. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. de A.; URQUIAGA, S. (Ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira.** Brasília, DF: Embrapa; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. p. 33-82.



BRAGA SOBRINHO, R.; GUIMARÃES, J. A.; FREITAS, J. de A. D. de; TERAQ, D. (Org.). **Produção integrada de melão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical; Banco do Nordeste do Brasil, 2008. 338 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Inventário brasileiro de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa não controlados pelo protocolo de Montreal**. Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério de Ciência Tecnologia e Inovação. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/347281.html>>. Acesso em: 01 out. 2014.

BSI. BRITISH STANDARDS 2011. **PAS 2050: 2011** – Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. DEFRA, United Kingdom. Disponível em: <<http://shop.bsigroup.com/en/forms/PASs/PAS-2050/>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

CARMO FILHO, F. do; OLIVEIRA, O. F. de. **Mossoró**: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico. Mossoró: ESAM, 1995 (Coleção Mossoroense, série B).

CASINO GROUPE (CASINO). **A pioneer of environmental labeling**. Disponível em: <<http://www.groupe-casino.fr/en/Encouragingconsumption-that.html>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

CELLURA, M.; LONGO, S.; MISTRETTA, M. Life cycle assessment (LCA) of protected crops: an Italian case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 56-62, 2012.

CRISOSTOMO, L. A.; SANTOS, A. A. dos; VAN RAIJ, B.; FARIA, C. M. B. de; SILVA, D. J. da; FERNANDES, F. A. M.; SANTOS, F. J. de S.; CRISOSTOMO, J. R.; FREITAS, J. de A. D. de; HOLANDA, J. S. de; CARDOSO, J. W.; COSTA, N. D. **Adubação, irrigação, híbridos e práticas culturais para o meloeiro no Nordeste**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 20 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Circular Técnica, 14). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT-2010/9013/1/Ci-014.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2016.

DOLE FOOD COMPANY INC. **Corporate responsibility and sustainability**: carbon footprint. 2011. Disponível em: <<http://dolecrs.com/sustainability/carbon-footprint/>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; BARROS, V. S.; SANTOS, T. L.; KROEZE, C.; POTTING, J.; BOER, I. Pegada de Carbono do Melão Amarelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DO CICLO DE VIDA DE PRODUTOS E SERVIÇOS, 3., 2012, Maringá. **Anais...** Maringá: DeltaPress, 2012. p.357-359.

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

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; CROEZE, C.; POTTING, J.; BARROS, V. B.; ARAGÃO, F. A. S.; GONDIM,



R. S.; SANTOS, T. L.; BOER, I. J. M. The carbon footprint of exported Brazilian yellow melon. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 404-414, 2013.

HERNANI, L. C.; PADOVAN, M. P. Adubação verde e recuperação de solos degradados. In: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 1, p. 373-398.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040** – Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework. Geneva, 2006a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14044** – Environmental management - Life cycle assessment - requirements and guidelines. Geneva, 2006b.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Geneva, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>>. Acesso em: 5 jul. de 2014.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14067** – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication. Geneva, 2012.

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; PANDEY, J. S. Carbon footprint: current methods of estimation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 178, p. 135-160, 2011.

WRI/WBCSD. WORLD RESOURCE INSTITUTE; WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Product life cycle reporting and standard**. Washington, DC., 2011. Disponível em: <<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Product%20Life%20Cycle%20Accounting%20and%20Reporting%20Standard.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2012.

TESCO PLC. **Reducing our impact on the environment**. 2016. Disponível em: <<http://www.ghgprotocol.org/product-standard>>. Acesso em: 21 dez. 2016.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações de uso. In: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 1, p. 62-167.