

VIVIANE DA SILVA BARROS

**PEGADA DE CARBONO DO MELÃO PRODUZIDO EM
SISTEMAS CONVENCIONAL OU CONSERVACIONISTA**

MOSSORÓ

2015

VIVIANE DA SILVA BARROS

**PEGADA DE CARBONO DO MELÃO PRODUZIDO EM SISTEMAS
CONVENCIONAL OU CONSERVACIONISTA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como parte das exigências do Programa para obtenção do grau de Doutor em Agronomia: Fitotecnia.

Orientador: Prof. D. Sc. EBENÉZER DE OLIVEIRA SILVA
Co-orientador: Dr.^a MARIA CLÉA BRITO DE FIGUEIRÊDO

MOSSORÓ - RN
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA - CAMPUS MOSSORÓ
Setor de Informação e Referência

B277p Barros, Viviane da Silva.

Pegada de carbono do melão em sistemas convencional ou conservacionista / Viviane da Silva Barros. - Mossoró, 2016.
120f: il.

Orientador: Prof. Dr. Ebenézer de Oliveira Silva
Co-Orientador: Profa. Dra. Maria Cléa Brito de Figueirêdo

Tese (DOUTORADO EM FITOTECNIA) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

1. Melão. 2. Impacto ambiental. 3. Gases de efeito estufa. 4. Mudanças climáticas. I. Título

RN/UFERSA/BOT/064

CDD 635.611

VIVIANE DA SILVA BARROS

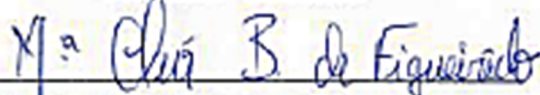
**PEGADA DE CARBONO DO MELÃO PRODUZIDO EM SISTEMAS
CONVENCIONAL OU CONSERVACIONISTA.**

Tese apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia da
Universidade Federal Rural do
Semi-Árido como parte das
exigências do Programa para obtenção
do grau de Doutor em Agronomia:
Fitotecnia.

Aprovada em: 09 / 10 / 2015



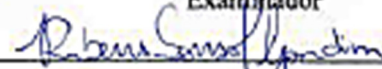
Prof. DSc. Ebenézer de Oliveira Silva - EMBRAPA/UFERSA
Presidente - Orientador



Dr. Maria Cléa Brito de Figueirêdo - EMBRAPA
Co-orientador



D.Sc. João Alencar de Sousa - EMBRAPA
Examinador



DSc. Rubens Sonsol Godim - EMBRAPA
Examinador



Prof. DSc. Fernando Antonio Souza de Aragão - EMBRAPA/UFERSA

Em memória

À minha amada mãe, Valquíria Barros (em memória), cujo amor incondicional sempre me incentivou a buscar a realização dos meus sonhos. À senhora, o meu amor eterno.

Dedico

Ao meu esposo, Vandemberk Oliveira, por todo o amor, amizade, carinho e companheirismo que temos compartilhado na vida acadêmica e conjugal.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, que está ao meu lado em todos os momentos de minha vida e que é a fonte de minha fé, amor, coragem e esperança.

Ao meu esposo, Vandemberk Oliveira, cujo incentivo me faz acreditar na minha capacidade de realização. Sou feliz por compartilhar uma vida de amor e amizade com uma pessoa tão especial;

Ao meu pai, irmãos e irmãs, pela família que constituímos e pelos incentivos em minha formação profissional;

A Maria Cléa Brito de Figueirêdo, cujas orientações foram fundamentais para o desenvolvimento desse trabalho, e que tem me guiado em busca do conhecimento e aprimoramento para contribuir no desenvolvimento de um agronegócio sustentável. Tem sido uma honra poder contar com seu apoio e amizade;

Ao meu orientador, Ebénezer de Oliveira Silva, pelos conselhos, sugestões e oportunidades a mim concedidas nesse período de minha vida acadêmica;

Ao Dr. João Alencar, por todo o apoio e ensinamentos na realização desse trabalho. Sua amizade foi um dos maiores presentes nessa etapa da minha vida.

À equipe do laboratório de biomassa de Embrapa-CNPAT, na pessoa da Dr^a Morsyleide Rosa, por todo o apoio, colaboração e amizade que compartilhamos nos últimos anos. Foi uma honra fazer parte dessa equipe.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- CNPAT, pelo fornecimento da estrutura e apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao curso de Pós-graduação em Fitotecnia, na pessoa do prof. Vander Mendonça, pela oportunidade de cursar minha pós-graduação;

A Stockbridge School of Agriculture, University of Massachusetts, Amherst Mass-USA, especialmente ao Prof. Frank Mangan, e às amigas Zoraia Barros e Aline Marchese, por todo o apoio durante meu estágio de doutorado sanduíche;

Às empresas de fomento à pesquisa CAPES, CNPQ pelas bolsas de estudos concedidas;

Às empresas Agrícola Famosa e Top Plant, pelo apoio na realização desse trabalho;

À banca examinadora (D. Sc. João Alencar de Sousa, D. Sc. Rubens Sonsol Gondim, D. Sc. Fernando Antonio Souza de Aragão), pela disponibilidade em contribuir com o nosso trabalho;

Ao grupo de estudos de Análise de Ciclo de Vida, especialmente a Tayane Lima, que tem compartilhado comigo as horas alegres e difíceis da realização de um trabalho de tese.

Aos Amigos Cristhyan Carvalho, Izabel Guimarães, Dalila Melo, Chris Cassimiro, Vianney Reinaldo e Ítalo Silva, pela amizade e companheirismo dos nossos dias de curso e espero perdurem ao longo de nossas vidas;

Às colegas da “casa 10”, pelo apoio e carinho e amizade com que me receberam.

Enfim, a todos os que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

Meu muito obrigada.

RESUMO

BARROS, Viviane da Silva. **Pegada de carbono do melão produzido em sistema convencional ou conservacionista**. 2015. 116f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, Mossoró, RN, 2015.

Esse estudo avalia o impacto ambiental de sistemas de produção de melão sobre as mudanças climáticas, integrando as linhas de pesquisa da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). É resultado de parceria realizada entre a Embrapa - Agroindústria Tropical, a Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), e a University of Massachusetts (UMass). A pesquisa é baseada na avaliação do ciclo de vida do produto (melão), com foco na categoria de impacto Mudança Climática. O trabalho foi realizado em duas etapas, uma realizada no Brasil, em 2011, e a segunda, nos EUA, entre 2014 e 2015. No Brasil, dados foram coletados na área experimental localizada na fazenda Agrícola Famosa, situada no município de Tibau-RN, com o objetivo de determinar a eficiência de sistemas de cultivo atualmente praticados (convencional) e conservacionistas, fundamentados no uso de adubação verde. No sistema convencional, o melão (Goldex) foi cultivado após a incorporação da vegetação espontânea, e no sistema conservacionista, após o tombamento ou incorporação da biomassa vegetal proveniente dos adubos verdes milho consorciado com braquiária e feijão guandu. O sistema de produto referente à produção de melão no Brasil abrangeu a produção em sistemas convencional e conservacionistas, considerando os seguintes processos: produção de sementes de adubos verdes e de melão, produção da biomassa de adubo verde, produção de mudas de melão, produção em campo de melão, embalagem e transporte do melão à Europa, bem como produção e transporte dos insumos para a área experimental. A etapa da pesquisa realizada nos Estados Unidos buscou determinar a eficiência do sistema de cultivo convencional atualmente praticado na fazenda experimental da UMass. Assim, esse sistema de produto abrangeu a produção de sementes e mudas de melão, produção em campo de melão, embalagem e transporte do melão, produção e transporte dos insumos para a área experimental da UMass. No Brasil, o melhor resultado de pegada de carbono foi do sistema conservacionista milho consorciado com braquiária com incorporação que gera uma pegada de carbono média de 647,82CO₂-eq/t de melão, ao passo que a pegada do sistema convencional brasileiro é de 756,90 kg CO₂-eq/t. No detalhamento dos processos, observa-se que a mudança

do uso da terra e o transporte do melão do Porto do Pecém, CE, para o porto de Rotterdam, na Holanda, são os processos que mais contribuem para a pegada de carbono do melão produzido no Brasil. Na mudança do uso da terra, devido ao crescente aumento de áreas produtoras de melão no Nordeste Brasileiro, incluindo o polo Jaguaribe-Açu, consideram-se as emissões referentes à transformação da terra com vegetação de caatinga para área produtora de melão. Nos EUA, a pegada é de 356 kg CO₂-eq/t, sendo o processo de embalagem o que mais contribui com esse resultado. É importante salientar que o impacto da mudança do uso da terra não foi considerado nos EUA, em virtude de essa mudança ter ocorrido há mais de 20 anos na fazenda UMass. Conclui-se que, em termos de eficiência ambiental, o melhor resultado no Brasil ocorre no sistema conservacionista, demonstrando que a adubação verde incrementa a matéria orgânica no solo, reduzindo, conseqüentemente, a pegada de carbono. Para reduzir a pegada do melão brasileiro, tornando-o tão competitivo quanto o americano, deve-se realizar a produção de melão em áreas agrícolas com vegetação natural removida há mais de 20 anos. Os resultados desse trabalho subsidiam ações visando à melhoria da competitividade do melão brasileiro frente às potenciais barreiras não tarifárias relacionadas à redução das emissões de gases de efeito estufa pela agricultura e adoção de práticas de baixo carbono.

Palavras-chave: Gases de efeito estufa, mudanças climáticas, impacto ambiental, *Cucumis melo*.

ABSTRACT

BARROS, Viviane da Silva. **Melon carbon Footprint produced in conventional or conservation system. 2015.** 117p. Thesis (PhD in Plant Science) - Federal Rural University of Semi-Arid - UFERSA, Mossoró, RN, 2015.

This study evaluates the environmental impact of melon production systems on climate change, integrating the research lines of the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa). It is the result of partnership held among Embrapa - Tropical Agroindustry, the Federal Rural University of Semi-Arid (UFERSA), and the University of Massachusetts (UMass). The research is based on an evaluation of the product life cycle (melon), focusing on climate change impact category. The study was conducted in two stages, one held in Brazil, in 2011, and the second, in the US, between 2014 and 2015. In Brazil, data were collected in the experimental area located in Agricola Famosa farm, located in the municipality of Tibau, RN, with order to determine the efficiency of farming systems practiced today (conventional) and conservation, based on the use of green manure. In the conventional system, the melon (Goldex) was cultivated after the merger of spontaneous vegetation and conservation system, after overturning or incorporation of plant biomass from the green manure with maize intercropped with braquiária and Guandu beans. The product system refers to melon production in Brazil covered production in conventional and conservation systems considering the following processes: production of green fertilizers seeds and melon, biomass production of green manure production melon seedlings production melon field, packaging and transport of melons to Europe, as well as production and transportation of supplies for the experimental area. The stage of the research conducted in the United States sought to determine the conventional cultivation system efficiency currently practiced in the experimental farm of UMass. Thus, this product system included the production of seeds and melon seedlings production in melon field, packaging and transport of melon, production and transport of inputs for the experimental area of UMass. In Brazil, the best result of carbon footprint was the conservationist corn intercropping system with braquiária with incorporation that generates an average carbon footprint of 647.82 CO₂-eq / t melon, while the footprint of Brazilian conventional system is 756, 90 kg CO₂-eq / t. Detailing the process, we observe that the change of land use and melon transportation Port of Pecém, CE, to the port of Rotterdam, in the Netherlands, are the processes that most contribute to the carbon footprint of melon

produced in Brazil. The change of land use, due to the increasing number productive melon areas in Northeast Brazil, including Jaguaribe-Açu polo, we consider the emissions for the transformation of land with scrub vegetation to melon producing area. In the US, the footprint is 356 kg CO₂-eq/t, and the packaging process is the largest contributor to this result. It is important to note that the land use change impact was not considered in the US, because this change has occurred more than 20 years ago on the farm UMass. We conclude that in terms of environmental efficiency, the best result in Brazil occurs in the conservation system, showing that green manure increases soil organic matter, thus reducing the carbon footprint. In order to reduce the footprint of Brazilian melons, making it as competitive as the US, it is necessary to hold to melon production in agricultural areas with natural vegetation removed for more than 20 years before. The results of this research subsidize actions to improve the competitiveness of Brazilian melons front of potential non-tariff barriers related to reducing emissions of greenhouse gases by agriculture and adoption of low carbon practices.

Keywords: Greenhouse gases, climate change, environmental impact, *Cucumis melo*.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura melão nas grandes regiões e unidade da Federação do Brasil -2014.....	24
Tabela 2. Tabela 2: Potencial de aquecimento global (PAG) dos principais gases de efeito estufa.....	47

CAPÍTULO II

Tabela 1- Descrição dos sistemas de cultivo de melão.	62
Tabela 2 - Análise de variância produtividade melão. Tibau-RN, 2011.....	73
Tabela 3- Inventários de entradas e saídas nos processos relativos à produção de um quilo de melão.....	75

CAPÍTULO III

Tabela 1 - Origem e destino dos insumos inventariados nos processos de produção.....	97
Tabela 2 - Inventários de entradas e saídas nos processos relativos à produção de um quilo de melão.	103

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1- Principais melões produzidos no Brasil: (A) Grupo de inodorus (Cucumis melo var. inodorus) e (B) Grupo dos Aromáticos (C melo var. cantaloupensis).....	23
Figura 2 - Fases e aplicações de ACV.....	45

CAPÍTULO II

Figura 1 - Fronteira do sistema em estudo.	60
Figura 2 - Etapas de coleta de solo, A) Coleta de amostra de solo, B) Marcação das parcelas para plantio de sementes das culturas de adubação verde. Tibau-RN, 2011.....	63
Figura 3- Tombamento e disposição da biomassa na parcela de milho consorciado com braquiária.....	65
Figura 4- Etapas de produção de melão em dos sistemas conservacionistas com e sem incorporação e convencional.	68
Figura 5 - Pegada de carbono em diferentes sistemas de cultivo e produtividades.....	73
Figura 6 - Análise comparativa da pegada de carbono dos diferentes sistemas de cultivo do melão.....	78
Figura 7 - Contribuições dos processos na pegada de carbono do melão amarelo em diferentes sistemas.	80
Figura 8 - Análise de cenários em sistema conservacionista com incorporação de milho com braquiária.....	81

CAPÍTULO III

Figura 1 - Fronteira do sistema em estudo.....	95
Figura 2 - Atividade de preparo de solo colocação de <i>mulch</i> plástico e fita de irrigação.	99
Figura 3 - (A) Produção de mudas em casa de vegetação e (B) Transplântio de mudas..	99
Figura 4 – Pegada de carbono sistema cultivo convencional Massachusetts.....	105
Figura 5 - Contribuições dos processos na pegada de carbono do melão amarelo sistema Convencional de Produção, Massachusetts.....	105

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA.....	20
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 PRODUÇÃO DE MELÃO: ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	22
2.1.1 Importância do melão no nordeste brasileiro.....	22
2.2 CARACTERÍSTICAS DO MELOEIRO	25
2.2.1 Aspectos edafoclimáticos	26
2.3 SISTEMAS DE CULTIVO.....	26
2.3.1 Sistema de cultivo convencional de melão no polo Jaguaribe-Açu..	26
2.3.2 Sistema de cultivo conservacionista.....	29
2.3.2.1 Histórico da adubação verde no Brasil.....	30
2.4 ESTOCAGEM E LIBERAÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO EM PLANTAS E SOLOS EM ATIVIDADES AGRÍCOLAS.....	31
2.4.1 Ciclo de Nitrogênio.....	31
2.4.2 Ciclo Biológico do Carbono.....	33
2.5 ESTOCAGEM E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO E CARBONO DO SOLO NOS DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO.....	34
2.6 ESTOCAGEM E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO E DE CARBONO NA ADUBAÇÃO VERDE, SEM INCORPORAÇÃO DA BIOMASSA VEGETAL (PLANTIO DIRETO)	36
2.7 ESTOCAGEM E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO E CARBONO NA ADUBAÇÃO VERDE COM INCORPORAÇÃO DA BIOMASSA VEGETAL	39

2.8 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (FBN) REALIZADA PELAS LEGUMINOSAS	40
2.9 DISPONIBILIDADE DE N NO SOLO COM E SEM INCORPORAÇÃO DE LEGUMINOSAS E GRAMÍNEAS	41
2.10 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA	43
2.10.1 Etapas da avaliação do ciclo de vida.....	43
2.10.2 Elementos opcionais da AICV segundo a ISO 14044 (2006b)	45
2.10.3 Pegada de carbono de produtos agrícolas.....	46
2.10.4 Unidade de medida do impacto sobre mudanças climáticas (Co₂-equivalente).....	47
3 REFÊRENCIAS	48

CAPÍTULO II

RESUMO	54
ABSTRACT.....	55
1 INTRODUÇÃO.....	56
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	58
2.1 ESCOPO DO ESTUDO.....	58
2.2 FRONTEIRAS DO SISTEMA E UNIDADE FUNCIONAL.....	59
2.3 ÁREA EXPERIMENTAL	61
2.4 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS COM COLETA DE DADOS PRIMÁRIOS	64
2.4.1 Adubação Verde.....	64
2.5 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE MELÃO NA ÁREA EXPERIMENTAL	65
2.6 COLETA DE DADOS SECUNDÁRIOS	69
2.7 TIPO DE TRANSPORTE E CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS	69
2.8 CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GEE NAS PRODUÇÕES DE ADUBO VERDE E MELÃO.....	70
2.9 MÉTODO PARA CÁLCULO DA PEGADA DE CARBONO	70
2.10 ANÁLISE DE INCERTEZA	71
2.11 ANÁLISE DE CENÁRIOS	71
3 RESULTADOS.....	73
3.1 Escolha dos sistemas de cultivo para realização do estudo ACV	73
3.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DOS SISTEMAS DE CULTIVO.....	74
3.3 PEGADA DE CARBONO DO MELÃO.....	76
3.3.1 Análise comparativa dos sistemas convencional e conservacionistas 	76

3.3.2 Contribuições dos processos na Pegada de Carbono	78
3.4 ANÁLISE DE CENÁRIOS	80
4 DISCUSSÕES.....	82
4.1 IMPACTO POSITIVO DOS SISTEMAS CONSERVACIONISTAS COM INCORPORAÇÃO	82
4.2 AÇÕES PARA REDUÇÃO DA PEGADA AMBIENTAL DO MELÃO BRASILEIRO	83
4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DESSE ESTUDO COM OUTROS JÁ REALIZADOS.....	84
4.4 OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA CONVERSÃO DO SISTEMA CONVENCIONAL PARA O CONSERVACIONISTA NAS UNIDADES PRODUTIVAS	85
5 CONCLUSÕES.....	86
6 REFERÊNCIAS.....	87

CAPÍTULO III

RESUMO	90
ABSTRACT	91
1 INTRODUÇÃO	92
2 MATERIAL E METODOS.....	93
2.1 ESCOPO DO ESTUDO.....	93
2.2 COLETA DE DADOS PRIMÁRIOS EM ÁREA EXPERIMENTAL.....	96
2.3 COLETA DE DADOS SECUNDÁRIOS	96
2.3.1 Tipo de transporte e cálculo das distâncias	96
2.4 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO CONVENCIONAL DE MELÃO EM MASSACHUSETTS.....	97
2.5 CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GEE NAS PRODUÇÕES DE ADUBO VERDE E MELÃO.....	100
2.6 MÉTODO PARA CÁLCULO DA PEGADA DE CARBONO	101
2.7 ANÁLISE DE INCERTEZA	101
3 RESULTADOS.....	102
3.1 ANÁLISE DE INVENTÁRIO.....	102
3.2 PEGADA DE CARBONO DO MELÃO.....	104
3.2.1 Análise de dominância em sistema conservacionista	104
4 DISCUSSÕES.....	106
5 CONCLUSÕES	107
6 REFERÊNCIAS	108
ANEXO.....	111

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL E REVISÃO DE LITERATURA

1 INTRODUÇÃO GERAL

Nos dias atuais, a expressão desenvolvimento sustentável é mundialmente empregada nos diversos setores socioeconômicos. No setor agropecuário, muito se fala sobre o desafio de produção sustentável para alimentar a população mundial crescente. Nesse enfoque, é de suma importância otimizar a produção agropecuária, nas áreas agrícolas já existentes, bem como otimizar o uso dos recursos, principalmente de fertilizantes e água, definindo metodologias e ferramentas capazes de ajudar a superar esse desafio. O IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change ou Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) foi criado em 1988 pela iniciativa Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) para avaliar a os efeitos dos diversos socioeconômicos sobre as mudanças climáticas ocorridas no planeta.

Em novembro de 2014, o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) divulgou a síntese do seu Quinto Relatório de Avaliação das Mudanças Climáticas do planeta (IPCC-AR5), o qual mostra aumento de temperatura de 0,85°C entre 1880 a 2012 e que o aquecimento continuará ocorrendo, podendo aumentar em até 4,8°C a temperatura média do planeta, ao fim de 2100. Avalia-se ainda que a concentração de CO₂ poderá passar dos atuais 480 ppm para 720 ppm até o fim deste século. Esse relatório também relata que desde o ano 2000, as emissões de GEE têm crescido em todos os setores, exceto no setor de Agricultura, Floresta e Outros Usos da Terra (Agriculture, Forest and Other Land

Use - AFOLU). Entretanto, esse setor manteve estáveis suas emissões, sendo necessário adotar medidas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa (GEE) nos próximos anos.

Práticas agrícolas inadequadas e a mudança no uso e ocupação da terra, causando o desmatamento, são as ações antrópicas relacionadas ao setor AFOLU que mais contribuem para o aumento da concentração dos GEE. A emissão de GEE pode alterar, de forma definitiva, os padrões climáticos mundiais. O efeito dessas mudanças climáticas sobre a produção, ecossistemas e saúde humana é uma preocupação mundial e que repercutiu em compromissos assumidos pelas nações em reduzir e remover emissões GEE.

Nesse contexto, o estudo do impacto da produção agrícola sobre as mudanças climáticas precisa ser avaliado. Esse estudo se concentra na avaliação do impacto da produção de melão, em sistemas de cultivo praticados no Brasil e nos EUA.

No Brasil, o melão é um produto estratégico, visto como fonte de geração de emprego e renda, sendo um dos principais produtos de exportação da região Nordeste do país. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção de melão gerou em 2014 um valor de R\$ 491.792,00, em uma área plantada de 22.001 ha em todo o Brasil.

Essa pesquisa tem por objetivos determinar a pegada de carbono do melão, considerando diferentes sistemas de cultivo produzidos no Brasil, bem como determinar a pegada de carbono do melão produzido em sistema de cultivo convencional na região de Massachusetts-EUA.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRODUÇÃO DE MELÃO: ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

2.1.1 Importância do melão no nordeste brasileiro

Nos últimos anos, o melão tornou-se um dos mais importantes produtos do agronegócio brasileiro, tanto para o mercado interno quanto o de exportação. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2014 foram produzidas no Brasil 589.939 mil toneladas de melão, gerando R\$ 491.792,00, com uma área plantada de 22.001 ha. A maior parte da produção nacional (75,92%) esteve concentrada na região Nordeste, principalmente nos estados do Ceará e Rio Grande Norte, com 28,89% e 32,11%, respectivamente, dessa produção (Tabela 1).

Em relação à quantidade de melões exportados (196.850 mil toneladas, 33,37% do total produzido), o Nordeste brasileiro foi responsável por 87,30% do total exportado em 2014, sendo que o Ceará contribuiu com 56,39% e o Rio Grande do Norte, com 43,39% (Tabela 1). Essa quantidade exportada levou a um faturamento/receita de 151,801 milhões de dólares, de acordo com o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC, 2015).

As principais variedades de melão exportadas pelo Brasil estão entre os tipos Inodorus, como o melão amarelo, o pele de sapo, e no tipo Cantaloupe, como o Cantaloupe, Charentais, Gália. O melão amarelo é também conhecido como melão espanhol, tendo casca amarela, lisa ou levemente enrugada e polpa variando de branca a creme. Seus frutos apresentam formato redondo ovalado, com alta resistência ao manuseio e ao transporte, e boa conservação pós-colheita, sendo o tipo mais cultivado em todo o Brasil. Já o melão Cantaloupe produz frutos com

casca rendilhada, polpa salmão, baixa resistência ao manuseio e ao transporte, sendo necessária a utilização de refrigeração durante a pós-colheita (APEX BRASIL, 2014). Essas variedades comercializadas são, em sua maioria, híbridos provenientes de outros países, as quais, apesar de terem contribuído para a melhoria da qualidade e da produtividade do melão brasileiro, sofrem problemas de adaptação, apresentando ciclos curtos, incidência de pragas e doenças, além de baixo teor de sólidos solúveis, necessitando, portanto, de pesquisas que visando à redução desses problemas (ARAGÃO, 2011).

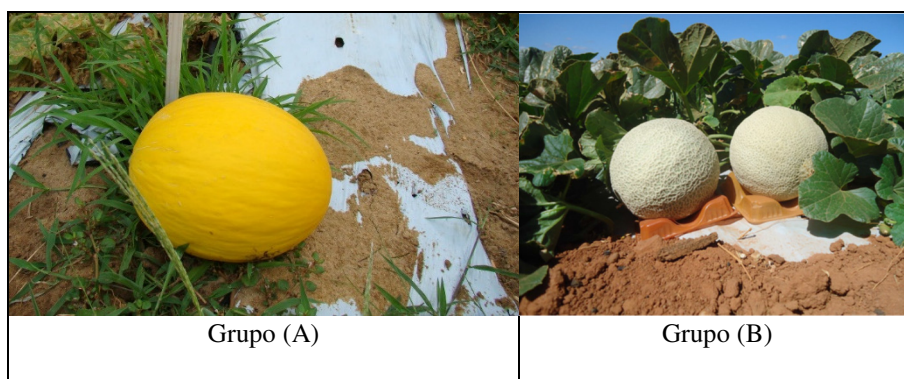


Figura 1- Principais melões produzidos no Brasil: (A) Grupo de inodorus (*Cucumis melo* var. *inodorus*) e (B) Grupo dos Aromáticos (*C. melo* var. *cantaloupensis*).

Foto: Viviane Barros.

Tabela 1 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura melão nas grandes regiões e unidade da Federação do Brasil -2014.

Grande Região e Unidade da Federação	Área plantada (ha)	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (t)	Valor da produção (Mil Reais)
Brasil	22.001	21.996	589.939	491.762
Norte	66	66	826	810
Acre	-	-	-	-
Amazonas	24	24	77	141
Roraima	-	-	-	-
Pará	7	7	49	32
Amapá	-	-	-	-
Tocantins	35	35	700	637
Nordeste	19.271	19.271	559.102	447.869
Maranhão	4	4	24	15
Piauí	635	635	15.269	30.315
Ceará	7.349	7.349	222.391	170.406
Rio Grande do Norte	8.260	8.260	232.575	189.432
Paraíba	5	5	50	48
Pernambuco	870	870	21.750	15.286
Alagoas	30	30	1.050	578
Sergipe	-	-	-	-
Bahia	2.118	2.118	65.993	41.789
Sudeste	26	26	473	536
Minas Gerais	-	-	-	-
Espírito Santo	-	-	-	-
Rio de Janeiro	-	-	-	-
São Paulo	26	26	473	536
Sul	2.450	2.445	25.610	36.644
Paraná	273	273	3.151	5.739
Santa Catarina	51	51	531	616
Continua				

Tabela 1 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida e valor da produção da lavoura melão nas grandes regiões e unidade da Federação do Brasil -2014.

Continuação....

Grande Região e Unidade da Federação	Área plantada (ha)	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (t)	Valor da produção (Mil Reais)
Rio Grande do Sul	2.126	2.121	21.928	30.289
Centro-Oeste	188	188	3.928	5.904
Mato Grosso do Sul	42	42	591	668
Mato Grosso	146	146	3.337	5.236
Goiás	-	-	-	-
Distrito Federal	-	-	-	-
Fonte: IBGE/SIDRA	-	Produção	Agrícola	Municipal

(<http://www.sidra.ibge.gov.br/>).

2.2 CARACTERÍSTICAS DO MELOEIRO

Embora cultivado no Brasil, o centro de origem do melão foram os quentes vales do Irã e Noroeste da Índia (FILGUEIRAS, 2003). O melão pertence à família botânica das Cucurbitaceae e a espécie *Cucumis melo* L. Essa espécie apresenta plantas anuais, herbáceas, de caule prostrado, com um número de hastes ou ramificações, variável em função da cultivar. As folhas são alternadas, simples, palmadas, pentalobuladas, angulosas quando jovens e subcordiformes quando completamente desenvolvidas, possuem grandes gavinhas, que são órgãos de sustentação da planta que nascem nas axilas das folhas (PEDROSA, 1995).

2.2.1 Aspectos edafoclimáticos

As condições climáticas que favorecem o cultivo do meloeiro, seu desenvolvimento e produção, bem como asseguram um fruto de qualidade são: radiação solar entre 2.000 a 3.000 horas/ano, temperaturas elevadas entre 24°C a 32°C, chuvas irregulares (em média 500 mm/ano), concentradas nos quatro primeiros meses do ano. Essas condições são encontradas no Semiárido brasileiro (ANGELOTTI; COSTA, 2010).

2.3 SISTEMAS DE CULTIVO

O sistema de cultivo refere-se às práticas comuns de manejo associadas a determinada espécie vegetal, visando à sua produção a partir da combinação lógica e ordenada de um conjunto de atividades e operações (HIRAKURI et al., 2012).

2.3.1 Sistema de cultivo convencional de melão no polo Jaguaribe-Açu

O sistema de produção convencional de melão praticado nas áreas agrícolas exportadoras do Ceará e Rio Grande do Norte segue o modelo de uso intensivo de insumos e máquinas agrícolas, principalmente nas etapas de preparo de solo, colheita, aplicação de pesticidas para controle de pragas, uso de sistemas de irrigação e de fertirrigação. Em cada etapa dos processos, é demandado uso de diversos insumos, tais como consumo de diesel, fertilizantes, pesticidas, substratos, sementes, água, bem como plástico para *mulch* e energia para o

sistema de irrigação.

Em longo prazo, a escolha desse sistema de produção acarreta problemas significativos, como erosão, redução da matéria orgânica do solo, redução da biodiversidade, afetando as propriedades físicas e biológicas do solo (URQUIAGA et al., 2010; BALOTA et al., 2014).

Na etapa de preparo do solo, realiza-se o desmatamento em áreas novas, limpeza do terreno, aração e gradagem. Em áreas já cultivadas anteriormente, realiza-se roçagem da vegetação espontânea, a aração ou gradagem (grade de discos). Caso haja alguma compactação no solo, realiza-se subsolagem. Em geral, a profundidade de aração é entre 20 a 40 cm, ao passo que a da gradagem é de cerca de 20 cm. Essas operações visam à incorporação do calcário para correção da acidez do solo, e a aplicação de adubação de fundação (composto orgânico), quando necessário, após análise de solo (ANJOS et al., 2003; GIONGO et al., 2010).

Em função do desmatamento, ocorre emissão dos principais gases de efeito estufa (CH_4 , CO e N_2O), principalmente nos processos de queima da biomassa e mineralização da matéria orgânica. O desmatamento acarreta também o aumento da temperatura, redução da umidade do solo, erosão devido à ação de ventos no solo descoberto. O uso contínuo de maquinário leva à compactação do solo e sua modificação de estrutura, que altera sua capacidade de absorção e retenção de água e nutrientes.

Após o preparo do solo, é feito levantamento dos camalhões (15 a 20 cm de altura), espaçados a cada 2m. Esses camalhões servem para facilitar a drenagem da água e onde será instalada a fita gotejadora do sistema de irrigação sob o *mulch* (manta de polietileno), uma cobertura plástica que mantém a umidade do solo, reduzindo a evaporação da água presente no solo, também servindo para proteger o solo da erosão, para reduzir o crescimento de ervas daninhas, para proteger o fruto da umidade do solo, reduzindo seu apodrecimento.

Paralelamente ao preparo do solo, é realizada a produção das mudas, que envolve as etapas: semeadura, germinação em temperatura controlada e aclimação em casa de vegetação, onde recebe irrigação e fertirrigação controlada. Essa

produção é realizada em bandejas plásticas de 200 células preenchidas com substrato à base de casca de coco. A produção das mudas leva em torno de 8 a 10 dias.

Após a saturação hídrica do solo, através de irrigação por gotejamento, é realizado o transplântio de mudas de melão. As mudas são espaçadas entre 35 cm a 40 cm e, em seguida, cobertas com uma manta TNT, que protege contra a incidência de pragas nos primeiros 25 dias após o transplântio. Essa manta é retirada no início da floração a fim de não prejudicar a polinização realizada pelas abelhas.

Durante os 65 a 70 dias do ciclo de produção do melão, são realizados os tratamentos culturais que proporcionam as condições favoráveis ao desenvolvimento da cultura. A fertirrigação, aplicação de fertilizantes diluídos na água de irrigação da cultura, é realizada diariamente (gotejamento), de acordo com a demanda hídrica da cultura. Aplicações preventivas de defensivos agrícolas são realizadas para o controle de pragas, doenças e plantas daninhas. A viragem dos frutos também é feita para evitar que se formem manchas decorrentes da exposição ao sol e deformações pelo contato com o solo.

Na região Nordeste, a colheita é realizada após esse período de 65-70 dias. Entretanto, primeiramente, é feita a avaliação em campo do teor de sólidos solúveis, que deve ser igual ou maior a 9º brix, no momento da colheita. Essa avaliação é realizada utilizando-se um refratômetro portátil. A colheita é realizada manualmente e o fruto é transportado até a unidade de empacotamento da fazenda (*Packinghouse*) em caçambas abertas puxadas por tratores. As caçambas são colocadas na sombra, onde aguardam o momento de embalagem do fruto, que deve ser realizada no mesmo dia.

Os frutos são acondicionados em diversos tamanhos de caixas, dependendo do destino final. Nas empresas exportadoras, os frutos são colocados em caixas de papelão de formato padronizado, que suportam entre 5 e 12 frutos por caixa, dependendo do seu tamanho. Alguns produtores que comercializam seus produtos internamente realizam a embalagem diretamente no campo e já acondicionam os frutos em caminhões para transporte.

2.3.2 Sistema de cultivo conservacionista

Os sistemas de cultivo conservacionistas de produção, que inicialmente visavam apenas à preservação do solo, também podem ser utilizados para implantação de culturas a ser utilizadas como adubos verdes pela cultura principal. A utilização de adubos verdes em diferentes sistemas de cultivo pode, em médio e longo prazo, melhorar as características físico-químicas e biológicas do solo, bem como promover um benefício ambiental pela redução do uso de fertilizantes sintéticos e mitigação de emissões de gases de efeito estufa.

As práticas agronômicas utilizadas nos sistemas conservacionistas incluem adubação orgânica, perturbação mínima do solo, incorporação de plantas e/ou resíduos, terraceamento, captação e conservação de água. Essas práticas podem aumentar a produção de alimentos sem degradar os recursos hídricos e o solo, bem como produzir benefícios sob a forma de redução das emissões de gases de efeito estufa e armazenamento de carbono nos solos e na biomassa (LIMA FILHO et al., 2014; BRANCA et al., 2013).

A adubação verde consiste na utilização de plantas em sistema de rotação ou consórcio com as culturas sucessoras de interesse econômico. Os adubos verdes podem ser incorporados ao solo ou roçados e mantidos na superfície, proporcionando, em geral, melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo (ESPÍNDOLA et al., 1997; WUKTE et al., 2012).

O plantio direto é uma prática mundialmente conhecida e utilizada como forma de proteger o solo dos danos causados pelo sistema de produção convencional (ex.: erosão e compactação). No plantio direto, as práticas de preparo de solo com utilização de grades e outros implementos não são realizadas. A palha e restos culturais são mantidos sobre o solo, que só é movimentado no momento do plantio quando se abre um sulco para colocação das sementes e fertilizantes. Segundo a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (FBRAPDP, 2012), na safra de 2011/2012 havia uma área de 31.800 mil hectares cultivados em sistema de plantio direto no Brasil.

2.3.2.1 Histórico da adubação verde no Brasil

A Adubação verde é uma prática centenária, segundo Rossi e Carlos (2014), os quais, no capítulo “Histórico da adubação verde no Brasil”, descrevem as diversas publicações realizadas sobre adubação verde, como o livro “Adubos verdes: sua produção e modo de emprego”, escrito por Gustavo Rodrigues Pereira D’Utra, em 1919, até obras publicadas nos últimos anos, como o livro “Manejo da Biomassa e do solo visando a sustentabilidade da agricultura brasileira”, de Miyasaka, em 2008. Em todas essas obras, a preocupação com a degradação do solo já existia e a adubação verde, que já era caracterizada pelo uso do material vegetal tanto incorporado quanto utilizado para proteção do solo, buscava não só o aporte de nutrientes no solo, mas a recuperação de áreas que já se apresentavam “cansadas” devido ao uso intensivo. Já na década de 1940, Souza (1947) destacava que o plantio precedido de desmatamento e revolvimento da camada arável do solo é um “hábito funesto do agricultor”.

Nas décadas de 1960 e 1970, a Revolução Verde surgiu na agricultura brasileira, sendo esse um período de incentivo ao uso dos adubos químicos, impulsionado pela instalação de fábricas que produziam nitrato para serem usados em explosivos na segunda guerra mundial. Com o fim da guerra, o nitrato passou a ser utilizado como fertilizante químico, com o incentivo no uso dos chamados pacotes tecnológicos criados pelos norte-americanos (ROSSI; CARLOS, 2014)

O interesse pela adubação verde renasceu a partir da década de 1980, quando foi realizado o I Encontro Nacional sobre Adubação Verde, no Rio de Janeiro. Posteriormente, em 1984, vários trabalhos foram divulgados em publicação intitulada “Adubação Verde no Brasil” (FUNDAÇÃO CARGILL, 1984).

Entre 2001 e 2010, as práticas baseadas nos pacotes tecnológicos da revolução verde passaram a ser vistas como não sustentáveis ambientalmente e economicamente. Desde então, técnicas como o controle integrado de pragas (MIP) e a adubação verde passaram a ser mais utilizadas em sistemas conservacionistas de

produção. Esses sistemas visam a otimizar o uso de recursos, com redução do uso de fertilizantes químicos, assim como preservar e recuperar a capacidade produtiva de solos.

2.4 ESTOCAGEM E LIBERAÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO EM PLANTAS E SOLOS EM ATIVIDADES AGRÍCOLAS

O fluxo de carbono e nitrogênio nos solos agrícolas está diretamente ligado ao tipo de solo, ao teor de matéria orgânica do solo (MOS), atividade microbiana, taxa de mineralização, bem como quantidade e qualidade dos resíduos aplicados ao solo. Muitos desses fatores dependem do tipo de sistema de cultivo utilizado e do manejo de preparo do solo (NUNES et al., 2011).

Outro fator importante nos solos agrícolas é a fertilidade, influenciada diretamente pelos elementos carbono (C) e nitrogênio (N), bem como pelas características físicas, químicas e biológicas dos solos. Esses elementos também estão diretamente ligados às emissões dos principais gases de efeito estufa: metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), e dióxido de carbono (CO_2) (COSTA et al., 2009; BODDEY et al., 2012). Os processos de estocagem e liberação do carbono e nitrogênio do solo e plantas podem ser explicados por diversas reações que ocorrem durante o ciclo desses elementos.

2.4.1 Ciclo de Nitrogênio

O nitrogênio atmosférico é composto de dois átomos ligados por seis elétrons que formam a tripla ligação covalente ($\text{N} \equiv \text{N}$) de alta estabilidade (GARCIA et al., 2013).

No ciclo do nitrogênio, os processos de amonificação, nitrificação e desnitrificação que ocorrem no solo são responsáveis pela redução da amônia até nitrogênio gasoso. Na amonificação, ocorre a decomposição do material orgânico com a liberação de amônia, que é oxidada e transformada em nitrato (NO_3) pelas bactérias Nitrossomonas, que oxidam a amônia a nitrito, e as bactérias Nitrobacter, que oxidam nitrito a nitrato, processo denominado nitrificação, no qual há produção de óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxido nitroso (N_2O). Esse processo ocorre em condições aeróbicas, necessitando de solos bem drenados, com baixa saturação hídrica. O pH do solo também influencia nesse processo, sendo desejável pH acima de 5, que favorece a atividade das bactérias quimioautotróficas que participam do processo (COSTA; MACHADO; ALMEIDA, 2009; ALVES et al., 2012).

A desnitrificação é o processo no qual bactérias heterotróficas oxidam a matéria orgânica usando nitrato como receptor de elétrons (COSTA et al., 2009). Na desnitrificação, o nitrato é reduzido a N_2 , NO_x e N_2O em condições anaeróbicas, sendo predominantes as emissões de N_2O . Nesse contexto, o alto índice de saturação do solo influencia a desnitrificação, pois traz o solo para próximo de sua capacidade e campo (COSTA et al., 2009; BOUWMAN et al., 2013).

Assim, as emissões N_2 e N_2O de solos agrícolas estão diretamente ligadas à atividade microbiana nos processos de nitrificação e desnitrificação no solo. Essas emissões podem ser descritas como emissões diretas do solo, provenientes da entrada de nitrogênio nos solos pelo uso de fertilizantes sintéticos, de resíduos vegetais e animais, e de lodo de esgoto (IPCC, 1996).

A fixação biológica de nitrogênio ocorre quando o N_2 do ar é reduzido a sua forma inorgânica NH_3 , podendo ser aproveitado por microrganismos e plantas. Essa transformação ocorre pela ação de microrganismos que contêm a enzima nitrogenase, e são conhecidos como fixadores de N_2 ou diazotróficos, que são encontrados vivendo livremente em ambientes aquáticos, ou em relação simbiótica com organismos do reino Plantae, Fungi ou Animalia (MARIN et al., 1999; MOREIRA, 2008).

No ecossistema terrestre, a fixação biológica de N_2 , realizada pela bactéria chamada Rhizobium, é a fonte mais importante de nitrogênio para os organismos

vivos. As espécies leguminosas utilizadas como adubos verdes, nos sistemas conservacionistas, possuem esta bactéria em nódulos ou raízes e representam um exemplo interessante de simbiose, onde há benefícios entre os parceiros, nesse caso: N_2 fixado em NH_3 pela bactéria para a planta e CO_2 fixado em carboidrato (fotossíntese) pela planta para a bactéria (MOREIRA, 2008; MARTINS, 2003).

2.4.2 Ciclo Biológico do Carbono

A fotossíntese é um processo físico-químico composto por duas fases: a fase fotoquímica, na qual a energia luminosa é utilizada, gerando ATP e NADPH, os quais serão então utilizados na segunda fase, que é a fase de fixação de CO_2 . O processo fotossintético das plantas ocorre nos cloroplastos e resulta na liberação de oxigênio molecular e na captura de dióxido de carbono da atmosfera, utilizado para sintetizar carboidratos (TAIZ e ZAIGER, 2013).

Cada parte do sistema solo-planta-atmosfera é de fundamental importância para manter o equilíbrio do sistema, principalmente no balanço de carbono. O carbono que entra na planta proveniente do CO_2 atmosférico, através do processo de fotossíntese, é convertido em compostos mais complexos (glicose). Esse carbono capturado retorna à atmosfera, em forma de CO_2 ou CH_4 , durante os processos de respiração (animais e plantas), e decomposição da biomassa morta (folhas, caules e raízes), que é transformada em matéria orgânica do solo (MOS) (METZ et al., 2007; MORGAN et al., 2010; PEREIRA et al., 2013). Outra parte do carbono é assimilada pela própria planta e utilizada no seu desenvolvimento e uma terceira parte, é sequestrada pelo solo.

2.5 ESTOCAGEM E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO E CARBONO DO SOLO NOS DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO.

O manejo adotado nos diferentes tipos de solo afeta diretamente o processo de estocagem e liberação de carbono e nitrogênio do solo.

Os sistemas convencionais de cultivo utilizados geralmente não contribuem com aumento ou manutenção do carbono no solo, se comparados com os ecossistemas naturais, pois o revolvimento do solo gera uma degradação mais rápida da MOS e, conseqüentemente, a liberação do carbono na forma de CO₂ (BODDEY et al., 2012).

O sequestro de carbono no solo ocorre quando o carbono atmosférico é absorvido pelas plantas e estocado no solo quando da sua decomposição. Este é um processo fundamental para o controle do dióxido de carbono na atmosfera, prevenindo seus impactos nas mudanças climáticas (HAYDUK; SATOYAMA; VAFADARI, 2015).

Nos últimos anos, muito se tem estudado sobre carbono orgânico no solo e os percentuais de seu acúmulo em sistema convencional de produção (PC) e em sistema de plantio direto (PD). Sabe-se que esse acúmulo depende do balanço positivo de Nitrogênio (N) no solo, que favorecerá o crescimento vegetal e incrementar a quantidades dos resíduos orgânicos que serão disponibilizados ao solo. Em solos tropicais e subtropicais, onde a fertilidade é baixa, o incremento de matéria orgânica no solo depende dos resíduos vegetais retidos no solo. O aporte de nitrogênio no sistema ocorre ou por fixação biológica ou por adubação, ao passo que as perdas são provenientes de processos como erosão, lixiviação, desnitrificação e colheita (BODDEY et al., 2012; NUNES et al., 2011).

A manutenção de resíduos orgânicos no solo e a inclusão de adubos verdes geram benefícios às condições físicas (agregação, umidade, densidade do solo), químicas (incremento de carbono orgânico, do nitrogênio, ciclagem de nutrientes) e biológicas (maior atividade microbiana e enzimática) do solo. Porém, a taxa de

decomposição desses resíduos é fundamental para se determinar a velocidade de liberação de carbono e dos nutrientes e o tempo em que esse material ficará disponível sobre o solo. Essa taxa de decomposição depende das espécies vegetais utilizadas, do manejo realizado e das condições edafoclimáticas (BELO et al., 2012; AITA et al., 2014).

A eficiência do sequestro de carbono em sistemas de plantio direto, quando comparado ao sistema de plantio convencional, tem sido avaliada em diversos estudos. Alguns enfatizam a eficiência do plantio direto em termos de conservação do solo, mas abrem margens de questionamento quanto a eficiência no sequestro de carbono, principalmente no perfil mais profundo do solo, bem como sobre a estabilidade desse sequestro (URQUIAGA et al., 2010).

Segundo Baker et al. (2006), o preparo intensivo do solo foi responsável pela principal perda histórica no estoque carbono orgânico do solo (SOC) na América do Norte. O uso de sistemas menos intensivos, conservacionistas, pode supostamente sequestrar carbono no solo. No entanto, deve-se atentar para o protocolo de amostragem do solo, pois em praticamente todos os experimentos em que a sistema conservacionista apresentou sequestro C, os solos foram amostrados apenas para uma profundidade de 30 cm ou menos, não considerando a profundidade que as raízes das plantas podem alcançar. Em alguns estudos onde a amostragem foi além da profundidade maior 30 cm, o plantio direto não demonstrou consistência para acúmulo de SOC, mas uma diferença na distribuição do SOC, com maiores concentrações perto da superfície em plantio direto e concentrações mais altas nas camadas mais profundas quando do preparo convencional. Este resultado contrastante pode ser devido a diferenças induzidas por tratamento do solo em condições térmicas e físicas que afetam o crescimento e a distribuição das raízes.

2.6 ESTOCAGEM E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO E DE CARBONO NA ADUBAÇÃO VERDE, SEM INCORPORAÇÃO DA BIOMASSA VEGETAL (PLANTIO DIRETO)

O sistema de cultivo sem incorporação, comparado ao convencional, é o sistema que melhor protege a matéria orgânica do solo, pois funciona à semelhança de um ambiente não perturbado, sendo o carbono um dos principais componentes da matéria orgânica do solo. O estoque de carbono varia em função das taxas de adição de matéria orgânica por resíduos vegetais e/ou animais, e das taxas de perdas, dentre elas as decorrentes da erosão e da oxidação pelos microrganismos do solo. Pereira et al. (2013) ressaltam que, nos solos agrícolas brasileiros, o plantio direto favorece tanto o aumento da biomassa microbiana do solo quanto o sequestro de carbono, com incrementos de 5,2 a 8,5 Mg C ha⁻¹, superior ao solo sob preparo convencional.

A avaliação da decomposição e liberação de nutrientes por plantas utilizadas como adubação verde e como cobertura de solo pode determinar a eficiência do manejo e do incremento da fertilidade do solo. Giongo et al. (2011), em estudo conduzido com vasos em casa de vegetação, utilizando solo coletado em área de caatinga (Argiloso Amarelo Eutrófico), no período de novembro de 2007 a junho de 2008, em Petrolina-PE, avaliaram a taxa de decomposição da matéria seca (MS) e liberação dos nutrientes por coquetéis vegetais colocados sobre o solo de vasos. Os coquetéis eram compostos por espécies de leguminosas (L) (*calopogônio*, *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, feijão de porco, guandu, lab-lab) e não leguminosas (NL) (gergelim, girassol, mamona, milheto e sorgo), combinados nos seguintes tratamentos: T1 - 100% NL; T2 - 100% L; T3 - 75% L e 25% NL; T4 - 50% L e 50% NL; T5 - 25% L e 75% NL. Foi realizada a coleta dos resíduos dos coquetéis aos 8; 15; 30; 60; 90; 120; 150; 180 e 210 dias após o início do experimento. Os coquetéis apresentaram taxas de decomposição de MS e liberação de nutrientes semelhantes, exceto para Ca, Cu e Mn, em que os coquetéis compostos com predominância de espécies NL apresentaram liberação mais rápida. No

tratamento T2 100% L, a quantidade de N encontrada foi de 20g.kg^{-1} de matéria seca do coquetel vegetal.

Na estação experimental da Embrapa-Soja em Londrina (solo-Latossolo argiloso), Zorratelli et al. (2012) avaliaram se a adoção do plantio direto (PD) aumentaria a fixação biológica de nitrogênio para a soja e outras leguminosas, bem como se um sistema mais rico em N traria efeitos positivos sobre os estoques de C no solo. Os tratamentos consistiram em três sistemas e rotação de culturas de soja (*Glycine max.* L), milho (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), aveia (*Avena strigosa* Schreb.) e tremoço (*Lupinus albus* L). Os tratamentos se diferenciaram em função da frequência com que cada uma das culturas apareceu na rotação sob sistema de cultivo de plantio direto (PD) e plantio convencional (PC), durante doze anos de produção. Os autores observaram que o rendimento de grãos para soja foi superior no PD e para o milho sob PC, em rotação com a menor frequência de leguminosas. O comportamento de crescimento das culturas em relação à fixação biológica de nitrogênio (FBN) foi maior na soja em PD (76%) do que sob PC (68%), ao passo que para o tremoço o crescimento foi de 68% sob PD e 60% sob PC. Isso pode ter sido resultante da maior disponibilidade de N devido à incorporação de resíduos frescos e o rompimento de agregados do solo. O tremoço forneceu um aporte extra de N, cerca de 300 kg N ha^{-1} , que foi essencial para manter um equilíbrio positivo de N para o sistema. A comparação de estoque de C orgânico entre 1997 e 2009, período do estudo, revelou quase nenhum ganho de carbono sob PD, mas uma perda de 19 Mg C ha^{-1} após 12 anos em PC. Os resultados sugerem que o PD evitou a perda de C no solo, ao invés de aumentar os estoques de C orgânico, ressaltando a importância de PD para melhorar a FBN para o sistema e a necessidade de reconhecer o balanço de N como um fator essencial de mudança nos estoques de C no solo (ZORATELLI et al., 2012).

No planalto central do México, Dendooven et al. (2012) avaliaram como o plantio direto (PD), em relação ao preparo convencional (PC), afetou as emissões de gases com efeito de estufa (GEE). No sistema PC, o manejo aplicado para os resíduos acumulados das culturas de rotação anual de trigo (*Triticum aestivum*

L.) e de milho (*Zea mays* L.) foi a incorporação ao solo ou remoção para uso como forragem. Já no sistema de PD, os resíduos foram mantidos na superfície do solo. As culturas foram fertilizadas com 150 kg N ha⁻¹ de ureia. Os autores observaram que o conteúdo de C orgânico do solo na camada de 0-60 cm foi maior no PD (117,7 Mg C ha⁻¹) em comparação com PC (76,8 Mg C ha⁻¹) e que o sistema de cultivo teve pouco efeito sobre as emissões de GEE.

Tian et al. (2013) realizaram estudo para avaliar as emissões dos gases de efeito estufa metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) em diferentes sistemas de preparo do solo no plantio de milho-trigo, entre outubro de 2007 a agosto de 2009, na planície norte da China. Esse experimento considerou o sistema de plantio convencional (PC) como controle, o sistema de plantio direto (PD) e três sistemas de preparo reduzido do solo: plantio direto com subsolagem (PD-S), plantio direto com grade (PD-G) e rotação de culturas (RC). Os autores concluíram que os principais fatores responsáveis por aumentar a emissão de N₂O foram a umidade do solo e o teor de nitrato, e não a temperatura do solo. A média de captação de fluxos acumulados de CH₄ sob sistemas de PC, PD-S, PD-G, RC e PD foi de aproximadamente 1,67, 1,72, 1,63, 1,77 e 1,17 t ha⁻¹ano⁻¹, respectivamente, e a emissão de N₂O a partir do solo foi de 4,43, 4,38, 4,47, 4,30 e 4,61 t ha⁻¹ano⁻¹, respectivamente. Além disso, houve ganho de rendimento de 33,73, 34,63, 32,62, 34,56 e 27,54 t ha⁻¹, respectivamente, durante o mesmo período de rotação de culturas. Com base nestas comparações, o plantio rotativo e subsolagem mitigaram as emissões de CH₄ e N₂O, além de melhorar a produtividade das culturas milho e trigo.

Em estudo de longa duração (30 anos) na Finlândia, avaliou-se o efeito do sistema de plantio direto e o manejo da palha (retida, removida ou queimada) sobre a agregação do solo e sobre o sequestro de carbono, em um solo argiloso. As parcelas experimentais estavam sob preparo convencional ou reduzido (PD) e o manejo da palha foi: retida, removida ou queimada. Concluiu-se que, apesar da longa duração do experimento, o preparo reduzido e a palha retida não tinham efeitos positivos claros sobre o montante total de C no solo na camada de 0-15 cm. O preparo reduzido, no entanto, aumentou percentagem de macroagregados e reduziu a quantidade total de microagregados, resultando em maior estabilidade de carbono no

solo (SINGH et al., 2015).

2.7 ESTOCAGEM E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO E CARBONO NA ADUBAÇÃO VERDE COM INCORPORAÇÃO DA BIOMASSA VEGETAL

Existem poucas referências sobre os benefícios gerados pelo sistema conservacionista com incorporação da biomassa do adubo verde, se comparado ao sistema sem incorporação, principalmente no que se refere ao acúmulo de carbono no perfil mais profundo do solo.

Yang et al. (2012) avaliaram os efeitos da adubação verde incorporada em longo prazo sobre a qualidade física do solo vermelho (Fe-Typic Hapli-Stagnic Anthrosols), em cultivo de arroz, com rotação de culturas. Os tratamentos avaliados foram arroz (*Oryza sativa* L.) - arroz (*Oryza sativa* L.) - pousio, arroz (*Oryza sativa* L.) - arroz (*Oryza sativa* L.) - Colza (*Brassica Napus* L), arroz (*Oryza sativa* L.) - arroz (*Oryza sativa* L.) - ervilha chinesa de leite (*Astragalus sinicus* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.) - arroz (*Oryza sativa* L.) – azevém (*Lolium perenne* L.). A colza, a ervilha de leite chinês e o azevém foram incorporados como adubos verdes 15 dias antes do transplântio do arroz. Os resultados mostraram que os tratamentos utilizando os adubos verdes influenciaram positivamente na porosidade do solo, que se mostrou maior do que no solo de tratamento com pousio. Esses tratamentos também reduziram a densidade do solo, aumentaram a capacidade de retenção de água no solo e apresentam maior quantidade de agregados estáveis na camada arável do solo.

Gondim et al. (2015), em área experimental em Tibau-RN, avaliaram o estoque de carbono em diferentes sistemas de produção do melão. Foram avaliados sistemas de produção de melão precedidos por adubação verde, com e sem incorporação dos adubos vegetais, em comparação ao sistema convencional de produção de melão (sem adubação verde). Foram coletadas amostras de solo nos

anos 2011 a 2013, nas profundidades de 0-5 cm; 5-10 cm; 10-20 cm e 20-40 cm. A primeira coleta foi feita anteriormente ao primeiro plantio das gramíneas e leguminosas (abril de 2011), a segunda, aos 15 meses após o início do experimento (julho de 2012); e a terceira, aos 24 meses após o início do experimento. Observou-se que, na média dos três anos avaliados, houve incremento no estoque de carbono no sistema de produção de melão precedido de vegetação espontânea e posterior adubação verde, com incorporação de milho consorciado com braquiária. Esse incremento ocorreu nas profundidades de 5-10 cm; 10-20 cm e 20-40 cm, possivelmente em função da maior quantidade da biomassa incorporada ao solo.

2.8 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO (FBN) REALIZADA PELAS LEGUMINOSAS

Existem várias espécies de leguminosas capazes de realizar essa simbiose, tais como: *Cajanus*, *Calopogonium*, *Crotalaria* e *Mucuna*. As leguminosas possuem sua relação C/N em torno de 20, e são de rápida decomposição, o que favorece a mineralização e a liberação de nutrientes no solo.

Paulino et al. (2009) realizaram um estudo em Campos dos Goytacazes, RJ, para avaliar a FBN e a transferência de N para um pomar de mangueira e graviola. Foram avaliados os seguintes consórcios: mangueira e gravioleira com gliricídia; mangueira e gravioleira com crotalária; mangueira e gravioleira com feijão guandu; e a testemunha mangueira e gravioleira. O maior potencial de FBN foi apresentado pela gliricídia (80%), seguida da crotalária (64,5%) e feijão guandu (45%). O acumulado anual fornecido de N pela crotalária foi de 149,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹, com 96,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ derivados da FBN. A gliricídia 68,35 kg ha⁻¹ por ano⁻¹ N, com 54,5 kg ha⁻¹ ano⁻¹ derivados da FBN, média de dois anos. A quantidade de N fornecida foi superior à necessidade das frutíferas.

2.9 DISPONIBILIDADE DE N NO SOLO COM E SEM INCORPORAÇÃO DE LEGUMINOSAS E GRAMÍNEAS

As leguminosas e gramíneas são as duas famílias vegetais mais utilizadas para adubação verde. As leguminosas têm a capacidade de fixar nitrogênio e, devido à sua baixa relação C/N, sua decomposição é mais rápida, consequentemente, liberando nutrientes mais rapidamente. As gramíneas possuem relação C/N mais alta e sua taxa de decomposição é mais lenta do que das leguminosas, o que permite a manutenção de palha na superfície do solo por maior tempo. Essas características tornam essas espécies aptas ao consorciamento ou rotação com outras culturas, sendo utilizadas na adubação verde, favorecendo a manutenção e o aumento dos níveis de matéria orgânica do solo (RODRIGUES et al., 2012).

As plantas utilizadas na adubação verde funcionam como recicladoras de nutrientes do solo. Quando leguminosas são utilizadas, essas espécies também funcionam como fixadoras de N atmosférico. Dessa forma, grande parte dos nutrientes encontrados na biomassa vegetal fica disponível para aproveitamento pela cultura principal a ser cultivada na mesma área. No caso do nitrogênio, cerca de 60 a 70% do N encontrado nos restos culturais de plantas de cobertura podem ser absorvidos pela cultura seguinte (OLIVEIRA, 2014).

Salmi et al. (2006) avaliaram na área experimental da universidade do Rio de Janeiro a produção de fitomassa aérea, seus teores de Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K) e a dinâmica de liberação desses nutrientes, em seis genótipos de feijão guandu (*Cajanus cajan*), em sistema de cultivo em aléias. Esses autores observaram que a produção média de biomassa foi de 5,9 Mg ha⁻¹; o acúmulo de N variou de 188,3 a 261,3 kg ha⁻¹, o de P, de 7,2 a 9,4 kg ha⁻¹, e o de K, de 29,3 a 45,5 kg ha⁻¹. Já as curvas de liberação mostraram que, aos 56 dias, aproximadamente 60% do N e 65% do P e do K contidos na biomassa remanescente haviam sido liberados ao solo. Não houve diferença significativa entre os genótipos para os parâmetros avaliados,

sendo os genótipos estudados igualmente eficientes em produzir biomassa e em liberar nutrientes de modo satisfatório, no primeiro ano de estudo.

Almeida e Camara (2011) avaliaram os efeitos dos adubos verdes, solteiros ou consorciados, na produção da biomassa e no acúmulo de nutrientes, considerando as espécies crotalária (*Crotalaria juncea*), feijão guandu (*Cajanus cajan*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), milho (*Zea mays*), milheto (*Pennisetum glaucum*) e mucuna-preta (*Mucuna aterrimum*). Os tratamentos foram compostos por plantio solteiro das espécies, por consórcio realizado entre o milho e as leguminosas e por coquetel vegetal com todos os adubos verdes. A maior produtividade de massa fresca e massa seca foi verificada nos tratamentos com feijão-de-porco em cultivo solteiro e consorciado, seguida do consórcio das leguminosas e do coquetel. Já o maior acúmulo de nutrientes ocorreu na fitomassa do feijão-de-porco em cultivo solteiro (476 kg ha^{-1}) e nos consórcios de feijão-de-porco mais milho ($396,27 \text{ kg ha}^{-1}$), consórcio das leguminosas ($357,30 \text{ kg ha}^{-1}$) e coquetel (348 kg ha^{-1}).

Calonego et al. (2012), avaliando a liberação de nutrientes em palhada de milho e braquiária, concluíram que após 135 dias de deposição dos resíduos vegetais sobre o solo, ocorreu liberação semelhante nas palhas de milho e braquiária. Essa liberação foi de aproximadamente 41%. Em torno de 35% nitrogênio foram liberados nos primeiros 70 dias.

Cruz (2015), em trabalho realizado na área experimental da fazenda de melão Agrícola Famosa, Tibau-RN, nos anos de 2011 e 2012, avaliou a produção de matéria seca da parte aérea das plantas, o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, C e a relação C/N de coberturas. Os seguintes tratamentos de coberturas foram utilizados: crotalária mais milheto; milho mais braquiária; vegetação espontânea; milheto solteiro e feijão de porco mais milheto. Os maiores acúmulos observados de matéria seca foram da crotalária mais milheto e do milho mais braquiária, seguido da vegetação espontânea para os dois anos de cultivo. Os tratamentos que apresentaram maior acúmulo de N para os anos avaliados foram: crotalária mais milheto ($140,38 \text{ kg ha}^{-1}$) e o milho mais braquiária ($147,40 \text{ kg ha}^{-1}$), em 2011; e crotalária mais milheto ($135,72 \text{ kg ha}^{-1}$) e o milho mais braquiária ($94,31 \text{ kg ha}^{-1}$), em 2012. A relação C/N nesses tratamentos foi 31,32 - 33,25, em 2011, e 26,80 - 30,64, em 2012.

2.10 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

Dentro das ferramentas que podem ser utilizadas para ajudar a superar o desafio de produção sustentável, encontra-se a avaliação do ciclo de vida (ACV) de produtos e serviços, técnica para avaliação dos aspectos ambientais e dos impactos potenciais associados a um produto ou serviço, compreendendo etapas que podem ir desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo (berço) até a disposição final do produto (túmulo), definido como escopo de berço ao túmulo. Nesse contexto, a ACV considera consumos e emissões oriundas de todos os processos relacionados com a extração, processamento, transporte dos materiais e insumos utilizados na produção de um produto, assim como as emissões provenientes do processo de produção do produto em estudo, seu uso e descarte final. Entretanto, estudos de ACV podem ter um escopo mais restrito, considerando apenas as etapas de extração de materiais e insumos e fabricação do produto, numa abordagem conhecida como “berço ao portão” (CHEHEBE, 2002).

2.10.1 Etapas da avaliação do ciclo de vida

A ACV, segundo a norma ISO 14040 (ISO, 2006a), compreende quatro etapas (Figura 2):

Objetivo e escopo: Nessa fase, ocorre o planejamento da avaliação. Devem ficar claros alguns aspectos como: objetivo principal do estudo, explicitando-se a razão pela qual o estudo está sendo realizado; abrangência geográfica, técnica e histórica do estudo; unidade funcional que representa o desempenho quantificado de um de sistema de produto, método de avaliação de impactos a ser utilizado e os

procedimentos a serem utilizados para coleta dos dados primários e secundários.

- Análise de inventário: realiza-se a coleta e quantificação de dados, sendo levantadas todas as entradas e saídas dos processos relacionados a determinado produto, em cada etapa do ciclo de vida (matérias-primas, insumos, energia, emissões para o ar, água e solo, produtos e coprodutos). É um processo dinâmico onde as informações e os procedimentos devem ser checados para assegurar o requisito de qualidade estabelecido.

- Avaliação do impacto: aqui os aspectos inventariados na etapa anterior são classificados em categorias de impacto e caracterizados. Métodos de caracterização atribuem pesos que denotam a importância de cada recurso natural e emissão na ocorrência de uma categoria de impacto (CHEHEBE, 2002). Os impactos ambientais são expressos quanticamente por um indicador em termos de uma substância de referência. Exemplificando, para a categoria de mudança climática o indicador utilizado é o potencial de aquecimento global e a unidade de medida é CO₂ equivalente.

- Interpretação dos resultados: Essa etapa é de fundamental importância, pois é onde se comparam os objetivos estabelecidos com os resultados alcançados. Devem ser evidenciadas as limitações do estudo, principais fontes de incerteza e erro, além de indicadas recomendações.

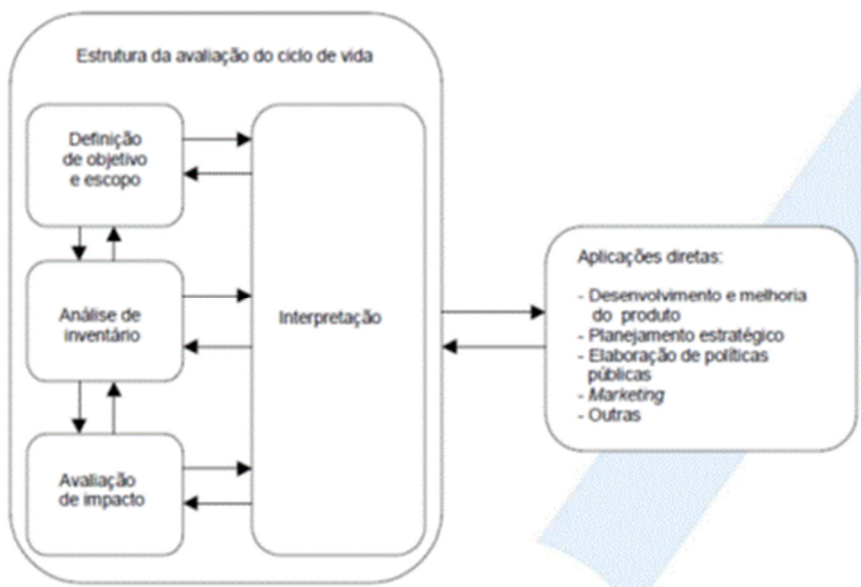


Figura 2 - Fases e aplicações de ACV.

Fonte: NBR ISO 14040 (1997).

2.10.2 Elementos opcionais da AICV segundo a ISO 14044 (2006b)

Os elementos como Normalização, Agregação, Ponderação e Análise da Qualidade dos Dados são passíveis de utilizar de acordo com o objetivo e escopo do estudo. Na Normalização, se calcula a magnitude dos resultados dos indicadores de categoria em função de informações de referência.

Na Agregação, se reúnem as categorias de impactos em um ou mais conjuntos, podendo ser utilizada uma classificação das categorias de impacto em uma base nominal. Exemplificando, características tais como escalas espaciais locais

e regionais, ou ainda uma classificação hierárquica (por exemplo, alta, média e baixa prioridade) podem ser utilizadas.

Na ponderação, as categorias de impacto são somadas entre si, com o intuito de se achar um único indicador de desempenho ambiental para dado produto ou serviço em estudo.

Na Análise da Qualidade dos dados, técnicas adicionais e informações, podem ser necessárias para se compreender melhor a significância, incerteza e sensibilidade dos resultados de um estudo ACV. Desta forma, essa análise ajuda a distinguir as diferenças significativas presentes no estudo, a identificar resultados de ACV não significativos e a orientar o processo iterativo de AICV.

2.10.3 Pegada de carbono de produtos agrícolas

O estudo da pegada de carbono de produtos agrícolas tem por finalidade identificar as atividades com maior potencial de emissão de GEE e possibilitar a definição de práticas de manejo que reduzam essas emissões (SANTOS et al., 2013).

A pegada de carbono de um produto se refere à quantidade de gases de efeito estufa emitidos na produção, uso e descarte desse produto (PANDEY et al., 2011). Dessa forma, para se realizar o cálculo da pegada de carbono, primeiramente as quantidades de GEEs emitidos/removida ou incorporado no ciclo de vida de um produto devem ser calculadas. Em seguida, deve-se multiplicar a quantidade emitida de cada gás pelo seu potencial de aquecimento global (PAG), medido em relação ao gás CO₂.

2.10.4 Unidade de medida do impacto sobre mudanças climáticas (CO₂-equivalente)

De acordo com estudos realizados pelo IPCC (2006), foi atribuído um PAG para cada gás de efeito estufa, que, ao ser multiplicado pela massa de gás liberado, permite sua expressão em termos de CO₂-e (Tabela 2). Dessa forma, tem-se uma relação estabelecida do GEE, quando comparado ao gás CO₂, ao qual foi atribuído potencial 1 (PAG=1). A medida kg CO₂-equivalente, ou kg CO₂-eq, expressa a massa de GEE considerando o potencial de aquecimento global (*global warming potential* – GWP) de todos os GEE's emitidos ao longo do ciclo de vida de um produto.

Tabela 2: Potencial de aquecimento global (PAG) dos principais gases de efeito estufa.

GEE	GWP (20 anos)	GWP (100 anos)	GWP (500 anos)
CO ₂	1	1	1
CH ₄	72	25	7.6
N ₂ O	310	298	153

Fonte: IPCC (2006).

3 REFÊRENCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, D. J.; CERETTA, A. C. Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes. In: FILHO, O. F. L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (org.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. 1ed. Brasília: EMBRAPA, 2014. p. 39-58.

ALMEIDA, K.; CAMARA, F. Produtividade de biomassa e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão, em cultivos solteiros e consorciados. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 55-62, 2011.

ANGELOTTI, F.; COSTA, N. D. Clima. In: COSTA, N. D. (org.). **Sistema de produção de melão**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. (Embrapa Semiárido. Sistemas de Produção, 5). Disponível em: <<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melao/SistemaProducaoMelao/clima.html>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

Anuário brasileiro da fruticultura 2013. Cleit Evandro dos Santos ... [et al.]. – Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2014. 136 p.

ARAÚJO, J. L. P.; VILELA, M. J. Aspectos socioeconômicos. In: SILVA, H. R.; COSTA, N. D. (org.). **Melão: Produção Aspectos técnicos**, Brasília: 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melao/SistemaProducaoMelao/index.html>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

ARAÚJO, J. L. P.; ASSIS, J. S.; COSTA, N. D.; PINTO, J. M.; DIAS, R. C.; SILVA, C. M. J. Produção Integrada de Melão no Vale do São Francisco: Manejo e Aspectos Socioeconômicos. In: SOBRINHO, R. B.; GUIMARÃES, J. A.; FREITAS, J. A. D.; TERAPO, D. (org.). **Produção Integrada de Melão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008.

APEX BRASIL. **Perfil Exportador dos Melões Brasileiros 2014**. Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos. Brasília-DF, 2014.

ARAGÃO, F. A. D. S. **Divergencia genetica de acessos e interação genotipos x ambiente de famílias de meloeiro**. 2011. 137f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2011.

BALOTA, E. L.; YADA, I. F.; AMARAL, H.; NNAKATANI, A. S.; DICK, R. P. COYNE, M.S. Long-term land use influences soil microbial biomass p and s; phosphatase and arylsulfatase activities; and s mineralization in a brazilian oxisol. **Land Degradation & Development**, v. 25, n. 4, p. 397-406, 2014.

CARVALHO, A. D. F.; OLIVEIRA, V. R.; TOSTA A. L.; MADEIRA N. R.; RAGASSI, C. F. Avaliação de híbridos experimentais de Avaliação de híbridos experimentais de melão amarelo no Distrito Federal em sistema de plantio direto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28 n. 2. p. 2622–2629, 2010.

CERRI, C. C.; MAIA, F.; GALDOS, M. V.; CERRI, E. P.; FEIGL, B. J.; BERNOUX, M. Brazilian greenhouse gas emissions: the importance of agriculture and livestock. **Scientia Agricola**, São Paulo, v. 66, n. 6, p. 831–843, 2009.

CHERUBINI, E.; RIBEIRO, P. T. **Diálogos Setoriais Brasil e União Europeia Desafios e soluções para o fortalecimento da ACV no Brasil**. [S.l: s.n.]. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict). 2015.

CHEHEBE, J. R. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial ISO 14000**- Rio de Janeiro: Qualitymak Ed., CNI, p.120, 2002.

DENDOOVEN, L.; PATINO-ZÚNIGA, L.; VERHULST, N.; LUNA-GUIDO, M.; MARSCH, R.; GOVAERTS, B. Global warming potential of agricultural systems with contrasting tillage and residue management in the central highlands of Mexico. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 152, p. 50–58, 2012.

EC- JRC - JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION (2010b). Framework and Requirements for LCIA Models and indicators. **ILCD Handbook - INTERNACIONAL REFERENCE LIFE CYCLE DATA SYSTEM**. Disponível em: <<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-LCIA-Framework-Requirements-ONLINE-March-2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

ESPÍNDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. Adubação verde: Estratégia para uma agricultura sustentável. **EMBRAPA-CNPAB. Documentos**, 1997.

FERNANDES, J. M. B.; GOMES, M. V.; DE SOUSA, T. P.; DA SILVA, E. B.; LINHARES, P. C. F. Desempenho do rabanete sob diferentes quantidades e períodos de incorporação do mata-pasto (*senna obtusifolia*) Ao solo. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 2, p. 921–930, 2014.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003.

FRUTAS DO BRASIL. **Melão – Produção**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Agroindústria Tropical. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Brasília-DF 2003.

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. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.015>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

GIONGO, V.; MENDES, A. M. S.; CUNHA, T. J. F.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de coquetéis vegetais para utilização no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 611–618, 2011.

GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F. Manejo de solo. In: COSTA, N. D. (org.). **Sistema de produção de melão**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. (Embrapa Semiárido. Sistemas de Produção, 5). Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melao/SistemaProducaoMelao/manejo_do_solo.html>. Acesso em: 15 abr. 2015.

HIRAKURI, M. H.; DEBIASI, H.; DE OLIVEIRA PROCÓPIO, S.; FRANCHINI, J. C.; DE CASTRO, C. **Sistemas de Produção: conceitos e definições no contexto agrícola**. Londrina: Embrapa Soja, v. 14, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 15 fev. 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14001:2004-Sistemas da gestão ambiental, Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro: ISO, 2004.

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

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

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2007. **Climate Change (2007): Synthesis report: Contributions of working group I, II and III to the fourth Assessment Report**. IPCC, Geneva. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf> Acesso em: 20 nov. 2014.

JOHNSON, J. M. F.; FRANZLUEBBERS, A. J.; WEYERS, S. L.; REICOSKY, D. C. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions. **Environmental Pollution**, v. 150, n. 1, p. 107–124, 2007.

LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: Fundamentos e Prática**. 1º ed. Brasília: EMBRAPA, 2014, v. 1, p. 265-305.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio. Secretaria de Comércio Exterior, Brasil. Disponível em: <<http://aliceweb.desenvolvimento.gov.br/>>. Acesso em: 27 nov. 2015.

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; PANDEY, J. S. Carbon footprint: Current methods of estimation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 178, n. 1-4, p. 135–160, 2011.

PACHAURI, R. K. et al. **Climate Change 2014 Synthesis Report The Core Writing Team Core Writing Team Technical Support Unit for the Synthesis Report**. [S.l: s.n.]. Geneva, Switzerland, 2014.

PEREIRA, M. F. S.; JÚNIOR, J. N.; DE SÁ, J. R.; LINHARES, P. C. F.; BEZERRA NETO, F.; PINTO, J. R. D. S. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional Ciclagem of the carbon of the soil in the systems of direct and conventional planting carrot, **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande-PB, v. 8, n. 1, p. 21–32, 2013.

ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. Histórico da adubação verde no Brasil. In: FILHO, O. F. L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (org.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. 1ed. Brasília: EMBRAPA, 2014, v. 1, p. 39-58.

DA FRUTICULTURA, ANUÁRIO Brasileiro. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2013. 136 p. **ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. Official methods of analysis**, v. 16, 2014.

SOBRINHO, R. B.; GUIMARÃES, J. A.; FREITAS, J. A. D.; ASSIS, J. S.; MESQUITA, A. L. M.; AZEVEDO, F. R. A Produção Integrada de Melão no Brasil. In: SOBRINHO, R. B.; GUIMARÃES, J. A.; FREITAS, J. A. D.; TERAPO, D. (org.). **Produção Integrada de Melão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008.

SOUZA, F. H. D.; FRIGERI, T.; MOREIRA, A.; GODOY, R. **Produção de sementes de Guandu**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007.

TORRES, J. L. R.; SILVA, M. G. D. S.; CUNHA, M. D. A.; VALLE, D. X. P.; PEREIRA, M. G. Produção de fitomassa e decomposição de resíduos culturais. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, p. 247–253, 2014.

PEDROSA, J. F. **A cultura do melão**. Mossoró: Escola Superior de Agricultura de Mossoró, 1995.

TIAN, S.; WANG, Y.; NING, T.; ZHAO, H.; WANG, B.; LI, N.; CHI, S. Greenhouse gas flux and crop productivity after 10 years of reduced and no tillage in a wheat-maize cropping system. **PLoS ONE**, v. 8, n. 9, p. 1–10, 2013.

URQUIAGA, S.; SISTI, C.; ZOTARELLI, L.; ALVES, B.; BODDEY, R. Manejo de sistemas agrícolas para sequestro de carbono no solo. **Conhecimentos e técnicas avançadas para o estudo dos processos da biota no sistema solo-planta**. Brasília: Embrapa, p. 257-273, 2005.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M. **Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil: uma análise crítica**. 2010.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações de seu uso. In: FILHO, O. F. L.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (org.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. 1ed. Brasília: EMBRAPA, 2014, v. 1, p. 39-58.

CAPÍTULO II

PEGADA DE CARBONO DO MELÃO EM SISTEMAS ALTERNATIVOS DE CULTIVO, EM TIBAU-RN

RESUMO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2014, foram produzidas no Brasil 589.939 mil toneladas de melão, gerando um valor de R\$ 491.792,00, com uma área plantada de 22.001 ha. A maior parte da produção nacional (75,92%) esteve concentrada na região Nordeste, principalmente nos estados do Ceará e Rio Grande Norte, com 28,89% e 32,11%, respectivamente. Atualmente, tanto o mercado europeu como o norte americano (maior importador de melões do mundo) valoriza a importação de melões de regiões que apresentem certificações da pegada de carbono desse produto. Assim, esse trabalho avalia a pegada de carbono da produção de melão em diferentes sistemas de cultivo: i) o convencional, praticado nas fazendas do polo Jaguaribe-Açu e ii) conservacionistas, onde o melão é plantado após adubação verde, com ou sem incorporação da biomassa vegetal, proveniente das culturas de milho consorciado com braquiária e de feijão guandu anão. Esse estudo utiliza a avaliação do ciclo de vida, com foco na categoria de impacto mudanças climáticas. Os dados para essa avaliação foram coletados em unidade experimental localizada em Tibau-RN, em 2011. O sistema de produto em estudo abrange a produção de sementes da biomassa e do melão, produção da biomassa, produção de mudas de melão, produção em campo de melão, embalagem e transporte do melão para a Europa, bem como a produção e o transporte dos insumos utilizados na área experimental. No tratamento de vegetação espontânea com incorporação, calcula-se que a pegada média é de 756,90 kg CO₂-eq/t. de melão. Já nos sistemas conservacionistas, o melhor resultado é de 647,82 CO₂-eq/t de melão no sistema com incorporação de milho e braquiária (referência). Observa-se que a mudança do uso da terra e o transporte do melão do Porto do Pecém, no Ceará, para a Europa, nesse sistema, são os processos que mais contribuem para a pegada de carbono, com 33,18% e 21,72%, respectivamente. Na análise de cenários, observa-se que o cenário com incorporação de milho com braquiária, cultivo em área agrícola há mais de 20 anos, com redução de 50% de nitrogênio inorgânico e transporte do melão para EUA é o que resulta em menor pegada de carbono, com uma redução de quase 38% em relação ao cenário de referência. Esses resultados mostram a importância do uso de terras já agrícolas e de adubos verdes na redução da pegada de carbono, devido ao sistema incrementar a matéria orgânica no solo, favorecendo o aumento do estoque de carbono no solo.

Palavras-chave: Gases de efeito estufa, mudanças climáticas, pegada ambiental.

ABSTRACT

CARBON FOOTPRINT OF MELON FARMING SYSTEMS OF ALTERNATIVE IN TIBAU REGION, RN.

According to the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), in 2014 589 939 000 tons of melon were produced in Brazil, generating R\$ 491,792.00, with a planted area of 22,001 ha. Most of the domestic production (75.92%) was concentrated in the Northeast, especially in the states of Ceará and Rio Grande do Norte, with 28.89% and 32.11%, respectively. Currently, both the European market and the North American (largest importer of melons in the world) value the import of melons from regions showing carbon footprint certification of the product. Thus, this study evaluates the carbon footprint of melon production in different farming systems: i) conventional, practiced on farms Jaguaribe-Açu polo; and ii) conservation, where the melon is planted after green manure, with or without incorporation of plant biomass from intercropping of maize crops with braquiária and pigeon pea dwarf beans. This study uses the evaluation of the life cycle, focusing on climate change impact category. The data for this evaluation were collected in an experimental facility located in Tibau-RN, in 2011. The product system under study covers the seed production of biomass and melon, biomass production, production of melon seedlings, production in melon field, packaging and transport of melons to Europe, as well as the production and transport of inputs used in the experimental area. In the treatment of spontaneous vegetation with incorporation, it is estimated that the average footprint is 756.90 kg CO₂-eq / t. melon. In conservation systems, the best result is 647.82 CO₂-eq / t melon in the system with incorporation of corn and pasture (reference). It is observed that the change of land use and melon transport the Port of Pecém, in Ceará, to Europe, in this system, are the processes that most contribute to the carbon footprint, with 33.18% and 21 72%, respectively. In scenarios analysis, it is observed that the scenario with corn merger with Brachiaria cultivation in agricultural area over 20 years, with 50% of inorganic nitrogen and transport of melons to the US results in smaller footprint carbon, with a reduction of almost 38%, compared to baseline. These results show the importance of using already farmland and green manures in reducing the carbon footprint due to the system to increase the organic matter in soil, favoring an increase in the stock of carbon in the soil.

Keywords: Greenhouse gases, climate change, environmental footprint.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma Política Nacional sobre mudança do clima (PNMC), que, por meio da Lei no 12.187/2009, definiu o compromisso nacional voluntário de adoção de ações com vistas a reduzir entre 36,1% e 38,9% suas emissões de gases de efeito estufa (GEE) projetadas até 2020. Sabe-se que os setores agropecuário e de mudança do uso da terra foram responsáveis por 37% e 15% das emissões de CO₂-eq no ano de 2012, respectivamente, com um aumento de 17% no setor agropecuário em relação a 2005.

Nesse contexto, estudos de pegada carbono de produtos agrícolas tornam-se cada vez mais importantes, já que podem ser requeridos (como barreira não tarifária) pelas cadeias de suprimento. Protocolos internacionais e normas de certificação de pegada de carbono já estão disponíveis para certificação dessa pegada, podendo-se citar: a norma PAS 2050 (BSI, 2008), a ISO 14067 (2013) e as normas do *World Resources Institute* (WRI), lançadas em 2008 em parceria com o *World Business Council for Sustainable Development* (WBSCD).

O agronegócio do melão brasileiro produziu 589.939mil toneladas em 2014, gerando um valor de R\$ 491.792,00, com uma área plantada de 22.001 ha. A maior parte da produção nacional (75,92%) esteve concentrada na região Nordeste, principalmente nos estados do Ceará e Rio Grande Norte, com 28,89% e 32,11%, respectivamente (IBGE, 2015).

Visando a intensificar ações de mitigação das emissões nessa cadeia produtiva, assim como apoiar produtores em programas de certificação de carbono, foi realizado um experimento em uma unidade produtora de melão, em Tibau-RN, Brasil, no ano de 2011, com o objetivo de determinar a pegada de carbono do melão amarelo Goldex. Nesse experimento, foram considerados diferentes sistemas de cultivo e avaliadas comparativamente as pegadas de carbono desses sistemas.

Os sistemas de cultivos avaliados foram o convencional, praticado pelos produtores da região, e quatro sistemas conservacionistas, baseados na incorporação ou não dos adubos verdes: milho consorciado com braquiária e feijão guandu anão solteiro. Os resultados desse estudo fornecem aos produtores de melão da região informações sobre os principais processos responsáveis pelas maiores emissões de GEE e pegada de carbono, tanto no sistema convencional de cultivo como em sistemas alternativos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo se baseia na avaliação do ciclo de vida, seguindo as normas ISO 14040 e ISO 14044 (2006a e 2006b), com foco da avaliação de impacto na categoria Mudança Climática.

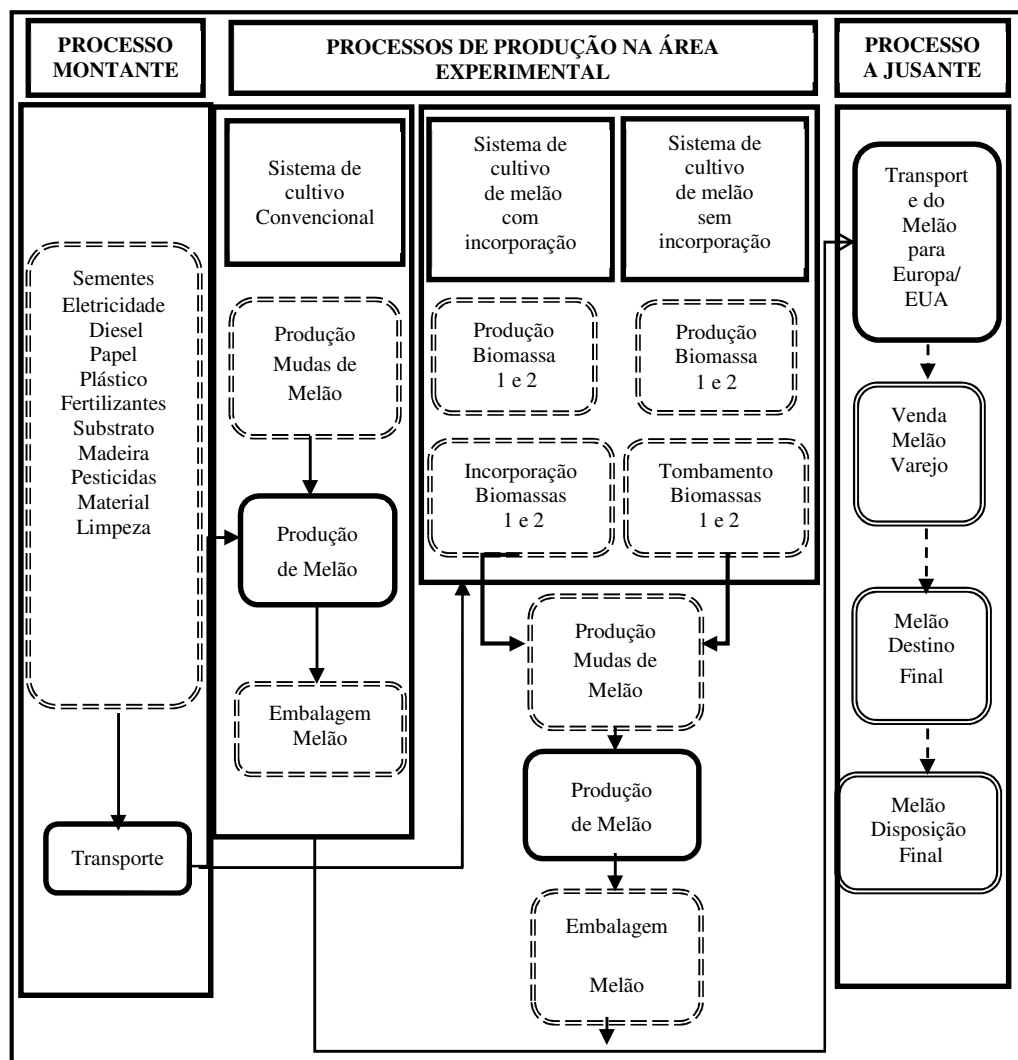
2.1 ESCOPO DO ESTUDO

Esse estudo compara sistemas de cultivo de melão convencional e conservacionista (com e sem incorporação do material vegetal), em escala experimental. No sistema convencional de produção de melão, onde o solo geralmente fica em pousio nos meses de chuva (fevereiro a junho), remove-se a vegetação espontânea que cresce nesse período, aplica-se adubo orgânico e recobre-se o solo com *mulch* plástico antes do plantio das mudas de melão. Já no sistema conservacionista, utilizam-se adubos verdes com gramíneas (milho consorciado com braquiária) ou leguminosa (feijão guandu anão) plantados no período de chuva e com a biomassa vegetal posteriormente incorporadas ou não ao solo, antes do plantio das mudas de melão.

2.2 FRONTEIRAS DO SISTEMA E UNIDADE FUNCIONAL

O sistema de produto em estudo abrange os seguintes processos (Figura 1): (a) processos à montante, referentes à produção e transporte de insumos, como sementes de melão, sementes de Feijão Guandu, Braquiária e Milho fertilizantes, agrotóxicos, plásticos, combustível, energia entre outros; (b) processos que ocorrem na área de estudo, referente à produção de mudas, produção da biomassa vegetal proveniente das culturas de adubação verde, produção de mudas de melão, produção de melão e embalagem dos frutos; e (c) processo à jusante, relacionado ao transporte marítimo do melão para os portos de destinos localizados na Europa.

A avaliação dos sistemas de produção é relativa a um quilo de melão amarelo exportado da área experimental em Tibau/RN para o porto de Rotterdam, na Holanda.



Processos onde foram realizadas as coletas dos dados primários.



Processos com inventários provenientes das bases de dados do Ecoinvent ou da literatura.



Processos não considerados no Estudo

Biomassa 1: Milho mais Braquiária; Biomassa 2: Feijão Guandu Anão

Figura 1 - Fronteira do sistema em estudo.

Fonte: Elaborado pela autora

2.3 ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na área experimental da fazenda Agrícola Famosa, situada no município de Tibau-RN, localizada a 4° 52' 4.13" de latitude sul e 37° 20' 16.94" de longitude oeste, no ano de 2011. O clima da região, de acordo com a classificação de Koeppen, é do tipo BSw^h", quente e seco; com precipitação pluviométrica média anual de 673,9 mm; temperatura e umidade relativa do ar média de 27°C e 68,9%, respectivamente. 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).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas de dois diferentes sistemas de cultivo um sistema de cultivo com incorporação da biomassa existente na parcela, onde foi incorporada a biomassa vegetal proveniente das plantas utilizadas para adubação verde, e o outro sistema de cultivo sem a incorporação da biomassa vegetal proveniente das plantas utilizadas para adubação verde, que foram dessecadas e somente tombadas ao solo. Além disso, em ambos os sistemas, existia um tratamento com a biomassa proveniente da vegetação espontânea no qual foi colocado composto orgânico que seguiu os mesmos procedimentos da biomassa produzida pela adubação verde no sistema de cultivo com incorporação. As sub-parcelas foram constituídas de doze tratamentos, onde as plantas utilizadas para adubação verde foram cultivadas em plantio solteiro ou consorciado e manejadas de acordo com os sistemas de cultivos, além de um tratamento com a vegetação espontânea (Tabela 1). Vale ressaltar que no sistema de cultivo com incorporação, foi utilizado *mulch* como cobertura do solo, após a incorporação da biomassa vegetal. Cada sub-parcela perfazia uma área de 36 m². A área experimental estava em pousio nos últimos três anos, antes da instalação do experimento e o último cultivo realizado foi com a cultura do meloeiro.

Tabela 1: Descrição dos tratamentos distribuídos de acordo com o sistema de Cultivo.

Tratamentos	Sistema de cultivo com Incorporação	Tratamentos	Sistema de Cultivo sem Incorporação
1	Crotalária	1	Crotalária
2	Milheto	2	Milheto
3	Crotalária com milheto	3	Crotalária com milheto
4	Milho consorciado braquiária	4	Milho consorciado braquiária
5	Vegetação espontânea	5	Vegetação espontânea
6	Solo mantido sem vegetação	6	Solo mantido sem vegetação
7	Vegetação espontânea sem much	7	Vegetação espontânea sem much
8	Feijão Guandu anão	8	Feijão Guandu anão
9	Feijão Guandu com milheto	9	Feijão Guandu com milheto
10	Feijão de porco	10	Feijão de porco
11	Feijão de porco com milheto	11	Feijão de porco com milheto
12	Solo sem retirar a cobertura com milho e braquiária	12	Solo sem retirar a cobertura com milho e braquiária

Fonte: Elaborado pela autora.

Foram selecionados três tratamentos dentro de cada sistema de cultivo para avaliação de impacto ambiental, considerando critérios de produtividade, tipo de biomassa vegetal e disponibilidade de sementes no mercado. O critério de produtividade buscou escolher tratamentos que apresentassem diferenças estatísticas significativas de produtividade, pois se assumiu que esses tratamentos trarão maior retorno financeiro e de maior interesse para os produtores de melão. O critério tipo

de biomassa buscou selecionar ao menos um adubo verde baseado em espécies gramíneas e um, em espécies de leguminosas. O último critério pondera sobre a disponibilidade e preço das sementes de gramíneas e leguminosas, privilegiando as sementes com menor preço e facilmente comercializadas na região Nordeste.

Realizou-se análise de solo antes da implantação do experimento em campo (Figura 2). Foram verificadas as seguintes características químicas no solo, na profundidade de 0 – 20 cm: pH = 7,40 (água); P (mg dm⁻³) = 60,00; SB (cmolc dm⁻³) = 3,07; K⁺ (mg dm⁻³) = 28,83; Mg²⁺ (cmolc dm⁻³) = 0,64; Al³⁺ (cmolc dm⁻³) = 0,0; CTC (cmolc dm⁻³) = 4,29; M.O. (%) = 0,65; e V (%) = 71,63. Na análise física, verificou-se a seguinte composição: 0,881kg/kg de areia; 0,053 kg/kg de silte; 0,0661 kg/kg de argila.

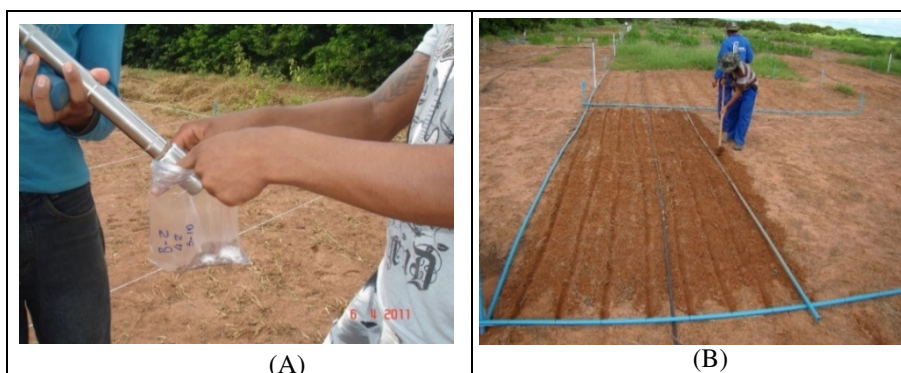


Figura 2 - Etapas de coleta de solo, (A) Coleta de amostra de solo, (B) Marcação das parcelas para plantio de sementes das culturas de adubação verde. Tibau-RN 2011.

Fotos: João Alencar de Sousa- Embrapa Agroindústria Tropical.

2.4 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS COM COLETA DE DADOS PRIMÁRIOS

2.4.1 Adubação Verde

No processo de limpeza do terreno, considerou-se que havia vegetação de Caatinga na área em estudo há menos de 20 anos e que essa vegetação foi removida para produção de melão. Para a instalação do experimento, foi retirada toda a vegetação espontânea existente no intuito de uniformizar as condições das parcelas. Posteriormente, realizou-se o preparo do solo, com aração ou grade de disco. A profundidade de aração foi de 30 cm, ao passo que a da gradagem foi de cerca de 20 cm, posteriormente foi realizada a marcação das parcelas e semeadas as sementes dos adubos verdes para a produção da biomassa vegetal. As parcelas com o tratamento 4 foram plantadas com semente de milho (híbrido BM 3061) e Braquiária brizantha (CV. Marandu) consorciadas e, após a obtenção da biomassa vegetal, aplicou-se o manejo referente a cada sistema de produção, com ou sem incorporação da biomassa (Figura 3).

Nas parcelas com o tratamento 5, houve crescimento natural da vegetação espontânea, incorporada ao solo, independentemente do sistema de cultivo. Nesse tratamento, também foram adicionadas 5t/ha de adubo orgânico, antes do plantio do melão.

As parcelas com o tratamento 8 foram plantadas com sementes de feijão guandu anão (*Cajanus cajan*, CV. IAPAR 43). E também se aplicou o manejo referente a cada sistema de produção, com ou sem incorporação da biomassa.



Figura 3 – (A) Tombamento e (B) disposição da biomassa na parcela de milho consorciado com braquiária.

Fotos: João Alencar de Sousa – Embrapa Agroindústria Tropical.

O plantio do milho em consórcio com braquiária brizantha foi realizado no dia 18/04/2011. As culturas foram manejadas com aplicação de fertilizantes, adubação de fundação NPK – 6-24-12 (350 Kg/há) e cobertura com ureia (200 Kg/ha), controle de pragas e ervas daninhas até 30 dias antes do transplântio das mudas de melão, quando as plantas foram dessecadas com glyphosate na dose de 1,8 l/ha. O feijão Guandu Anão, por apresentar ciclo de produção mais curto, foi semeado no dia 15/05/2011, tendo sido realizado o controle de praga e de plantas daninhas.

2.5 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE MELÃO NA ÁREA EXPERIMENTAL

Nas parcelas com tratamento convencional e conservacionista com incorporação, após a incorporação do material vegetal (vegetação espontânea e biomassa produzida), foram construídos os camalhões com altura entre 15 cm e 20 cm. Para facilitar a drenagem do solo, instalou-se o sistema de irrigação e o *mulch*

sobre camalhões (manta de polietileno). E realizou-se o plantio das mudas do melão (híbrido Goldex).

Nas parcelas com sistema de cultivo sem incorporação, a biomassa vegetal que foi tombada fez a função de cobertura do solo; foi apenas instalado o sistema de irrigação e realizou-se no plantio das mudas de melão no espaçamento recomendado (Figura 4).

As parcelas tinham área de 36 m² e foram divididas em três linhas de seis metros de comprimento e espaçadas a cada 2 metros, onde foram plantadas as mudas de melão em um espaçamento de 0,35 m. A linha central, exceto duas plantas em cada extremidade, foi considerada área útil.

A produção das mudas de melão foi realizada em uma empresa localizada próxima da área experimental. O processo de produção das mudas envolve as etapas: semeadura, onde se utilizam bandejas plásticas de 200 células, preenchidas com substrato à base casca de coco, germinação em temperatura controlada e aclimação em casa de vegetação, onde recebe irrigação e fertirrigação controlada, sendo que todo o processo leva em torno de 8 a 10 dias.

No transplantio, as mudas foram transferidas do viveiro para o campo e cobertas com um tecido de polipropileno (TNT), que protegeu a planta em torno de 25 dias contra a incidência de pragas, sendo retirada no início da polinização.

Utilizou-se irrigação por gotejamento com emissores de vazão de 1,7 litros h⁻¹, espaçados de 0,35 m. As adubações foram realizadas com base na análise química do solo e nas exigências nutricionais da cultura, por fertirrigação, utilizando-se 137,2 kg/ha de fertilizante mineral, 152,8 kg/ha de K₂SO₄, 51,7 kg/ha de Ca(NO₃)₂, 38,6 kg/ha de biofertilizante, 1,98 kg/ha de Ácido fosfórico e 213,1 kg/ha de KNO₃. Apenas no sistema de cultivo convencional foram aplicadas 5 t/ha de composto orgânico. Também foram realizadas práticas culturais para controle de plantas daninhas, como capinas manuais e pulverizações com fungicidas e inseticidas, para controle de pragas e doenças. Na fase de frutificação, os frutos

foram virados manualmente para evitar que se formassem manchas pela exposição ao sol e deformações pelo contato com solo.

Para a colheita, realizou-se a análise em campo do teor de sólidos solúveis nos frutos, avaliando se esse teor estava acima de 9°Brix, para que a colheita pudesse ser realizada. Na região de estudo, esse teor é alcançado entre 60 e 65 dias após o plantio. A colheita foi realizada manualmente e cada fruta foi avaliada segundo sua qualidade e categorizada em frutas padrão exportação, fruta para mercado interno e refugo (frutas que não atendem aos critérios de qualidade dos mercados). Os frutos destinados à exportação foram encaminhados ao packinghouse, onde passaram por processo de pós-colheita (lavagem, secagem, aplicação de fungicida, embalagem, resfriamento).

ATIVIDADES	SISTEMAS CONSERVACIONISTAS		ATIVIDADES	SISTEMA CONVENCIONAL
PREPARO DA ÁREA			PREPARO DA ÁREA	
PRODUÇÃO DA BIOMASSA			CAMALHÕES	
TOMBAMENTO /INCORPORAÇÃO			COLOCAÇÃO DO MULCH	
PLANTIO DO MELÃO			PLANTIO E COLOCAÇÃO MANTA	

Figura 4 - Etapas de produção de melão em dos sistemas conservacionistas, adubação verde com e sem incorporação e convencional.

Fotos: João Alencar de Sousa e Viviane Barros

2.6 COLETA DE DADOS SECUNDÁRIOS

Os dados secundários referentes à produção e transporte dos insumos – como fertilizantes, pesticidas, plásticos e papelão - foram obtidos no banco de dados ecoinvent 3.01 (FRISCHKNECHT; JUNGBLUTH, 2007). Os inventários dos processos de produção de sementes de melão, produção de mudas de melão e embalagem do melão foram retirados do estudo de Figueirêdo et al. (2013) conduzido na mesma região onde se instalou a área experimental. Já os inventários referentes à produção de sementes e biomassa de leguminosas e gramíneas foram obtidos de: i) França (2005), para produção de Braquiária brizantha (CV. Marandu); ii) VALENTINI et al. (2009), para produção de milho; e iii) Souza et al. (2007), para produção de feijão Guandu.

2.7 TIPO DE TRANSPORTE E CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS

No que se refere ao transporte de insumos agrícolas, considera-se que eles são oriundos de outros países, devido à política de *drawback* praticada pela fazenda. As distâncias foram calculadas como a média das distâncias de cada país que exporta esses materiais ao Brasil, ponderada pela participação de cada país no total importado do insumo, de acordo com MDIC (2011). Considerou-se que os melões exportados são transportados por caminhão da fazenda para o Porto de Pecém, no Ceará (260 km), e que de lá seguiram de navio para o Porto de Rotterdam, na Holanda (7465 km). O transporte de melão em navio é realizado em contêineres refrigerados e com capacidade de 20 t. Já os insumos nacionais, como papel reciclado e cloro,

foram transportados por caminhões tipo baú para área experimental na fazenda localizada no polo de Tibau/RN.

2.8 CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GEE NAS PRODUÇÕES DE ADUBO VERDE E MELÃO

As emissões de GEE, referentes ao gás carbônico (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) foram estimadas segundo metodologia proposta pelo IPCC (2006) e inventários nacionais de emissões de GEE (MCT, 2010), conforme equações descritas no anexo A. Foram consideradas as seguintes atividades que emitem gases de efeito estufa no processo de produção do melão: mudança no uso da terra (de caatinga para área produtora de melão, que ocasiona supressão da vegetação nativa e mineralização da matéria orgânica no solo), fertilização (orgânica e inorgânica), queima de combustíveis fósseis por tratores e incorporação de restos culturais (biomassa de adubos verdes e restos culturais do meloeiro).

2.9 MÉTODO PARA CÁLCULO DA PEGADA DE CARBONO

A avaliação do impacto é expressa em kg de CO₂-equivalente, ou kg CO₂-eq, medida que resulta da multiplicação da massa de cada GEE pelo seu potencial de aquecimento global (*global warming potential* – GWP), considerando um período de 100 anos, de acordo com IPCC (2006).

Foi realizada determinação da pegada de carbono no *software* SimaPro versão 8.04.

2.10 ANÁLISE DE INCERTEZA

A norma NBR ISO 14040 (2006) define a análise de incerteza como um procedimento para determinar como as incertezas dos dados e pressupostos se propagam nos cálculos e como afetam a confiabilidade dos resultados da avaliação de impactos. Utilizou-se o método de simulação Monte Carlo para análise de incerteza nos resultados da avaliação da pegada de carbono. A matriz Pedigree foi utilizada para calcular o desvio-padrão geométrico de cada parâmetro dos inventários (GOEDKOOPT et al., 2008).

2.11 ANÁLISE DE CENÁRIOS

Realizou-se uma análise comparativa da pegada de carbono do melão produzido nos seguintes cenários de produção, visando a identificar possibilidades de redução da pegada:

- Cenário de Referência: O cenário de referência considerado foi aquele que obteve o menor impacto na pegada de carbono, para a categoria de mudanças climáticas.
- Cenário 1 (redução do nitrogênio inorgânico): reduz-se 50% no uso de fertilizante nitrogenado inorgânico no cenário de referência. No experimento realizado por Calonego et al. (2012), avaliando a liberação de nutrientes em

palhada de milho e braquiária, os autores concluíram que após 135 dias de deposição dos resíduos vegetais sobre o solo, ocorreu liberação semelhante nas palhas de milho e braquiária, sendo de aproximadamente 41%, onde em torno de 35% foram liberados nos primeiros 70 dias. Avalia-se, portanto, que é teoricamente possível uma redução de até 50% do nitrogênio inorgânico utilizado nas parcelas, que seria repostado durante o ciclo da cultura, pelo potencial de liberação da biomassa utilizada na adubação verde.

- Cenário 2 (transporte do melão para EUA): modifica-se o destino de entrega do melão para o porto de Nova York (EUA). Nesse cenário, o melão é transportado por navio do porto do Pecém, percorrendo a distância de 6.139 km. Essa rota foi estabelecida em função do potencial do mercado consumidor de melão no estado de Massachusetts, que possui curto período de produção no ano (julho a setembro), recebendo, portanto, melão de outros países, como Costa Rica, Honduras e Guatemala, podendo, portanto, definir um novo mercado para o melão produzido no Brasil.

- Cenário 3: sem desmatamento: Considera-se que se realiza o plantio das culturas (adubos verdes e melão) em uma área desmatada a mais de 20 anos, não havendo, portanto, emissões por mudança do uso da terra.

- Cenário 4 (combinação de cenários): realiza-se a avaliação conjunta dos cenários 1, 2 e 3.

3 RESULTADOS

3.1 Escolha dos sistemas de cultivo para realização do estudo ACV

A Tabela 2 mostra os resultados da análise estatística da produtividade alcançada nos doze tratamentos dentro de cada sistema de cultivo avaliado na área experimental. Observa-se que não houve diferença significativa, em nível de 5% de probabilidade para blocos, tratamentos e interação sistema de cultivo com tratamento, mas houve diferença significativa para sistema de cultivo. Dessa forma, a escolha dos tratamentos para análise do impacto ambiental considerou os critérios tipo de biomassa que buscou selecionar ao menos um adubo verde baseado em espécies gramíneas e um, em espécies de leguminosas e o critério de disponibilidade e preço das sementes de gramíneas e leguminosas, privilegiando as sementes com menor preço e facilmente comercializadas na região Nordeste.

Tabela 2 – Análise de Variância da produtividade do melão. Tibau-RN, 2011

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
BLOCO	3	157079840.477120	52359946.825707	1.987	0.1239 ^{ns}
SIST	1	1.399823916E+0009	1.39982392E+0009	53.129	0.0000*
TRAT	11	403830800.614583	36711890.964962	1.393	0.1959 ^{ns}
SIST*TRAT	11	213286530.364583	9389684.578598	0.736	0.7006 ^{ns}
Erro	69	1.817989050E+0009	26347667.395259		
Total corrigido	95	3.992010137E+0009			
CV(%) = 28,16					
Média Geral 18,28 t/há número de observações 96					

FV - Fonte de variação; CV – Coeficiente de variação; GL Grau de liberdade; Significativo (P<0,05)*; Não significativo (P<0,05) ^{ns}.

Considerando os critérios estabelecidos para escolha dos tratamentos para a avaliação da pegada, foram escolhidos os seguintes tratamentos para avaliação do impacto ambiental do melão amarelo, nos sistemas de cultivo com e sem incorporação da biomassa vegetal antes do plantio de melão: 4) milho consorciado com braquiária, 5) vegetação espontânea e 8) feijão guandu anão.

3.2 ANÁLISE DE INVENTÁRIO DOS SISTEMAS DE CULTIVO

Observou-se nas informações inventariadas que a demanda por insumos e as emissões, por kg de melão produzido tipo exportação, são maiores no sistema conservacionista sem incorporação, tanto utilizando feijão guandu anão, quanto utilizando o consórcio de milho e braquiária (Tabela 3). Esse fato se deve principalmente à baixa produtividade apresentada por esse tratamento no sistema de cultivo sem incorporação (em torno de 13t/ha) quando comparados com as produtividades alcançadas no sistema de cultivo com incorporação (entre 22 e 26 t/ha). Já o tratamento convencional obteve média de produtividade de 17t/ha, inferior aos demais tratamentos.

Tabela 3 - Inventários de entradas e saídas nos processos relativos à produção por quilo de melão. Tibau-RN, 2011.

Entradas e Saídas	Und.	Sistema de cultivo com incorporação		Sistema de cultivo sem incorporação		Sistema de cultivo com incorporação	
		Feijão guandu anão	Milho com Braquiária	Feijão guandu anão	Milho com Braquiária	Vegetação espontânea	Vegetação espontânea
Sementes	g	1,12	0,59	1,88	0,58	0,48	0,38
Biomassa	g	164,64	382,69	103,83	680,21	0,00	0,00
Mudas	g	2,05	1,72	3,42	3,49	2,94	2,32
Diesel	g	3,02	2,54	5,06	5,15	3,42	4,34
Água	L	191,32	160,54	319,89	326,05	274,82	216,48
Eletricidade	KWh	0,04	0,04	0,08	0,08	0,06	0,05
Fertilizantes							
Composto orgânico	g	0,00	0,00	0,00	0,00	254,52	323,16
N	g	2,66	2,23	4,44	4,53	3,82	3,01
P2 O5	g	0,83	0,92	1,38	1,41	1,19	0,94
K 2O	g	4,13	4,59	6,91	7,04	5,93	4,67
Outros	g	0,93	1,01	1,42	1,45	1,25	1,02
Pesticidas	g	0,37	0,41	0,62	0,63	0,41	0,42
Plásticos	g	5,13	4,42	2,69	2,72	7,09	5,72
Polipropileno	g	2,17	1,82	3,64	3,71	3,12	2,46
Papel	g	54,59	54,59	54,59	54,59	54,59	54,59
Madeira	g	12,09	12,09	12,09	12,09	12,09	12,09
Saídas							
GEE							
CO ₂	g	157,50	119,22	236,37	231,45	157,29	196,99
N ₂ O	g	0,19	0,20	0,24	0,27	0,25	0,23
CH ₄	g	4,37	7,31	3,67	7,45	4,95	6,28

Fonte: Elaborado pela autora

3.3 PEGADA DE CARBONO DO MELÃO

3.3.1 Análise comparativa dos sistemas convencional e conservacionistas

Na análise da pegada de carbono dos sistemas de cultivo convencional e conservacionistas (Figura 5), observa-se que o sistema conservacionista de adubação verde com incorporação, utilizando-se o consórcio de milho e braquiária, obteve a menor pegada de carbono de 647,83 CO₂-eq/t de melão. Já o sistema de cultivo sem incorporação desses adubos verdes obteve a maior pegada de carbono 944,15CO₂-eq/t de melão.

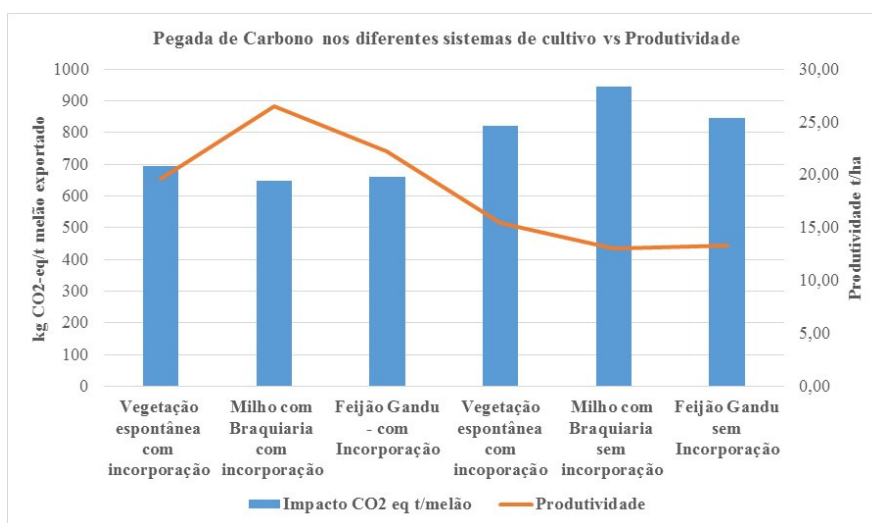


Figura 5 - Pegada de carbono em diferentes sistemas de cultivo e produtividades.

Fonte: elaborado pela autora

Apesar de todos os sistemas da área experimental terem recebido o mesmo manejo de adubação, os tratamentos realizados nos sistemas de cultivo sem incorporação não apresentaram o mesmo desempenho inicial quanto ao crescimento e emissões de ramos, o que afetou a emissão de flores e a produtividade final da cultura. Já os tratamentos no sistema de cultivo com incorporação, onde a cobertura do solo foi realizada com o uso do *mulch* plástico no cultivo do melão, apresentaram melhor produtividade, apesar de essas produtividades não diferirem estatisticamente dos demais tratamentos. A redução de produtividade afetou diretamente o desempenho ambiental da pegada de carbono da cultura.

Na análise comparativa de erro das pegadas oriundas dos tratamentos em cada sistema de cultivo em análise (Figura 6), observa-se que em nível de 5% de probabilidade, o tratamento milho com braquiária dentro do sistema de cultivo com incorporação difere significativamente quando comparado com o tratamento de milho com braquiária, dentro do sistema de cultivo sem incorporação. Constata-se também que o tratamento feijão guandu anão no sistema de cultivo com incorporação difere do tratamento milho com braquiária no sistema de cultivo sem incorporação milho e braquiária. Assim, o melhor resultado obtido para o sistema com incorporação de milho com braquiária não difere significativamente do sistema convencional, onde a vegetação espontânea é incorporada.

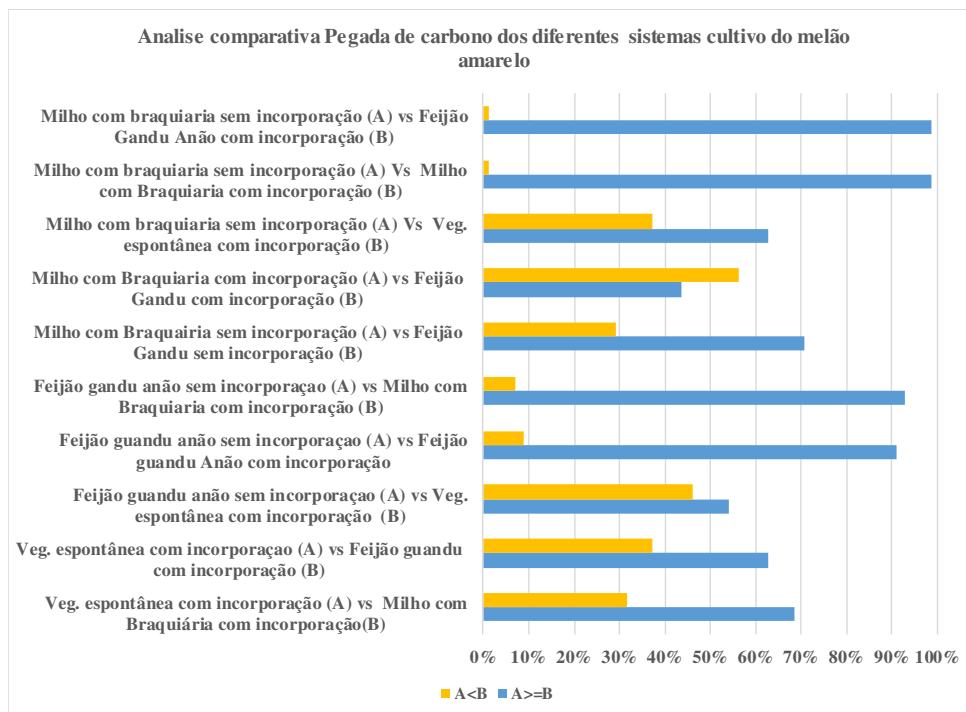


Figura 6 - Análise comparativa da pegada de carbono dos diferentes sistemas de cultivo do melão.

Fonte: Elaborado pela autora.

3.3.2 Contribuições dos processos na Pegada de Carbono

Realizou-se o detalhamento de todos os processos que contribuíram para pegada de carbono do sistema de cultivo adubação verde com incorporação de milho e braquiária, que obteve menor pegada de carbono, e os processos do tratamento convencional (Figura 7). Observou-se que o processo de mudança do uso da terra teve maior contribuição no resultado da pegada de carbono nos dos sistemas de cultivo. As emissões geradas no processo de mudança do uso da terra, principalmente CO₂, são decorrentes da retirada e queima da biomassa, e da

mineralização da matéria orgânica, que acarretam a redução do carbono no solo e biomassa durante a substituição da vegetação nativa pela cultura.

O processo de transporte de melão ao mercado europeu foi o segundo com maior contribuição nos impactos sobre a mudança climática, seguido do processo de embalagem. No sistema convencional, esse processo respondeu por cerca de 20,29% do total das emissões de CO₂-eq e no sistema conservacionista de adubação verde com incorporação (milho consorciado com braquiária), por 21,72% das emissões. As emissões de GEE geradas no processo de transporte (CO₂, N₂O e CH₄) são decorrentes da queima de combustível fóssil por veículos.

O processo de pós-colheita do melão no sistema convencional respondeu por cerca de 13,97% do total das emissões de CO₂-eq, e no sistema conservacionista de adubação verde com incorporação (milho consorciado com braquiária), por 14,95% do total das emissões de CO₂-eq. As emissões com efeito estufa geradas no processo de pós-colheita são provenientes principalmente dos processos de produção das embalagens (plástico, papel, madeira, etc.) e do transporte desse material até o *packinghouse*.

A contribuição do processo de produção de melão propriamente dito, etapa de campo foram similares nos dois sistemas de produção, respondendo por 10,04% CO₂-eq, da pegada de carbono no sistema convencional e por 10,75%, CO₂-eq, no sistema de adubação verde com incorporação de milho e braquiária. Isso se deve principalmente aos dois sistemas de produção receberem a mesma adubação inorgânica (fertilizante mineral) durante o cultivo de melão na área experimental.

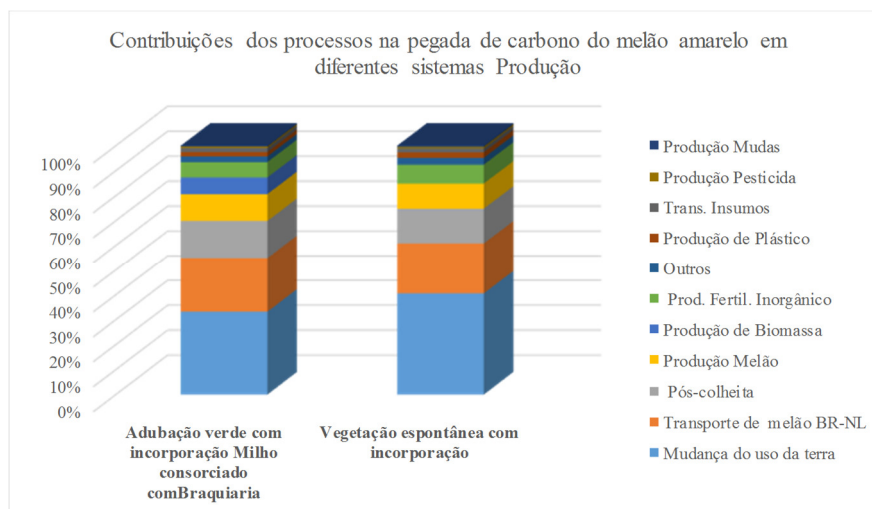


Figura 7 - Contribuições dos processos na pegada de carbono do melão amarelo em diferentes sistemas.

Fonte: Elaborado pela autora.

3.4 ANÁLISE DE CENÁRIOS

No cenário 1, considera-se que a palhada de milho e braquiária apresenta no momento do corte e incorporação 120 kg/ha de N, fundamentado na média das análises de nutrientes na biomassa seca realizadas nas amostras coletadas nas parcelas experimentais (CRUZ, 2015) e aplicando o percentual de liberação de 35% (CALONEGO et al., 2012). Assim, conclui-se que o milho com braquiária libera 42,23 kg de N/ha, que equivale a 72% do nitrogênio aplicado no cultivo de melão no experimento. Nesse cenário, optou-se em reduzir 50% do total do N inorgânico aplicado, observando-se que essa redução de nitrogênio acarreta uma redução de apenas 1,60% na pegada de carbono do melão produzido em sistema de adubação verde com incorporação de milho e braquiária (Figura 8).

No cenário 2, onde se modificou o destino final do melão para o porto de

Nova York, obtém-se uma redução na pegada de carbono de 4,75% (Figura 8). Isso ocorre devido à distância do transporte por navio passar de 7465 (porto do Pecém para Porto de Rotterdam) para 6139 km (porto do Pecém para Porto de Nova York).

No cenário 3, onde se considerou que a área agrícola foi desmatada há mais de 20 anos, observa-se redução de 33,09% na pegada de carbono (Figura 8). Esse resultado demonstra a importância da otimização do uso das terras agrícolas, evitando-se novos desmatamentos, e que o uso da adubação verde nas áreas de produção contribui para a redução das emissões GEE em áreas agrícolas. Isso ocorre devido ao maior rendimento da cultura do melão, bem como a redução da demanda por fertilizante inorgânico, elevada no cultivo convencional do melão.

No cenário 4, onde se fez a análise conjunta dos dois cenários anteriores, observa-se uma redução de 39,71% na pegada de carbono. Assim, esse cenário deve ser perseguido para melhor desempenho do cultivo de melão com relação à pegada de carbono (Figura 8).

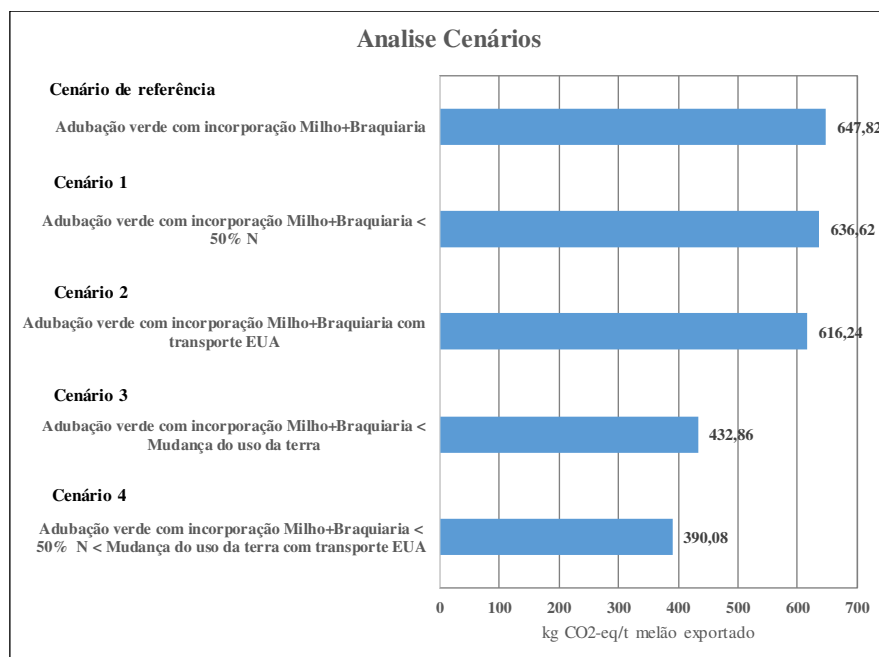


Figura 8 – Análise de cenários em sistema conservacionista com incorporação de milho com braquiária.

Fonte: Elaborado pela autora.

4 DISCUSSÕES

4.1 IMPACTO POSITIVO DOS SISTEMAS CONSERVACIONISTAS COM INCORPORAÇÃO

A prática de adubação verde com incorporação no sistema de cultivo do melão proporcionou aumento da biomassa no solo, gerou benefícios significativos tanto no aumento da produtividade quanto na redução das emissões de GEE, quando comparado ao sistema convencional, demonstrando ser uma opção viável para uma produção mais sustentável de melão na região em estudo.

No sistema conservacionista com incorporação do material vegetal (adubação verde ou vegetação espontânea), alguns aspectos devem ser considerados. Deve-se atentar para o tipo de material vegetal que deve ser utilizado, considerando-se a taxa de decomposição e de liberação de nutrientes e de carbono. O tipo de solo, o manejo de irrigação, o período de produção e a necessidade de nutrientes da cultura principal também são aspectos a ser observados, já que uma das contribuições desse sistema é o incremento de nutrientes disponibilizados pelo material vegetal incorporado, com consequente redução de nutrientes inorgânicos (principalmente nitrogenado) e emissões de GEE, como N₂O (óxido nitroso).

Nesse estudo, observou-se que inicialmente as plantas submetidas ao sistema conservacionista com incorporação, com posterior uso do *mulch* como cobertura de solo, tiveram produtividade melhor do que o sistema com vegetação espontânea com incorporação, devido ao fato de que a incorporação dos adubos verdes milho e braquiária adiciona uma quantidade maior de biomassa ao solo, que, quando incorporado, incrementou a ciclagem de nutrientes, como nitrogênio, proporcionando melhores condições de crescimento para a cultura principal, o que

favoreceu seu desempenho ambiental. Já as plantas submetidas ao sistema de plantio direto sofreram redução do crescimento, o que possivelmente afetou sua taxa fotossintética, reduziu sua capacidade produtiva, assim como o tamanho dos frutos produzidos.

Gondim et al. (2015), no estudo realizado na mesma área experimental em Tibau-RN, na fazenda Agrícola Famosa, com o objetivo de avaliar a variação do estoque de carbono gerado pelos sistemas de cultivo com e sem incorporação, observaram que na média dos dois anos avaliados, houve incremento no estoque de carbono nos sistemas conservacionista com incorporação de milho consorciado com braquiária mais vegetação espontânea, quando comparado ao sistema sem incorporação nas profundidades de 10-20 cm e 20-40 cm. Os autores refletiram que o acúmulo de carbono nesse tratamento se deveu possivelmente à maior quantidade da biomassa incorporada ao solo e à incorporação dos resíduos.

Já a pesquisa realizada por Cruz (2015) na mesma área experimental para avaliar a produção matéria seca da parte aérea e o acúmulo de macronutrientes na biomassa constatou que os maiores acúmulos foram observados na matéria seca de milho mais braquiária, seguido da vegetação espontânea para os dois anos de cultivo. Esses estudos demonstram a capacidade da biomassa de milho atuar tanto no acúmulo de carbono no solo quanto na ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, na redução do N inorgânico para o posterior cultivo do melão (CRUZ, 2015).

4.2 AÇÕES PARA REDUÇÃO DA PEGADA AMBIENTAL DO MELÃO BRASILEIRO

De acordo como esse estudo, a produção de melão em sistema de adubação verde com incorporação da biomassa de milho com braquiária e área desmatada há mais de 20 anos resulta em menor pegada de carbono. Isso mostra a importância da conservação do solo em áreas agrícolas de melão, onde o uso de práticas

conservacionistas promoverá a recuperação das qualidades físicas do solo, aumento da matéria orgânica e maior aumento da produtividade e, conseqüentemente, maior sustentabilidade da produção.

A redução do uso de nitrogênio sintético também reduz a pegada de carbono e, se combinada com o transporte marítimo para EUA, essa redução chega a 6%. Vale salientar que na área experimental, apesar do aporte de N fornecido pela adubação verde, não houve redução do N sintético aplicado no cultivo de melão. Assim, são necessários novos estudos utilizando os sistemas conservacionistas para avaliar as reais taxas de decomposição do material vegetal utilizado, bem como sua atuação na ciclagem de nutrientes. Dessa forma, será possível estabelecer a quantidade real de N inorgânico que pode ser reduzido sem afetar a produtividade do melão.

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA DESSE ESTUDO COM OUTROS JÁ REALIZADOS

Estudos para se determinar a pegada de carbono de variedades de melão produzido no polo Jaguaribe-Açu têm sido realizados nos últimos anos, em virtude da importância dessa cadeia produtiva. Figueirêdo et al. (2013) estimaram um valor médio de 710 Kg CO₂-eq/t de melão produzido no polo Jaguaribe-Açu e exportado para Europa. Esses autores concluíram que as atividades responsáveis pelas maiores emissões no processo produtivo foram a mudança no uso da terra e a utilização de fertilizantes nitrogenados na produção do melão. Já Santos et al. (2013) obtiveram o valor de 709 kg CO₂-eq/t em melão cantaloupe exportado e produzido no sistema convencional, para o polo Jaguaribe-Açu. Esse estudo conclui que o processo de produção agrícola em campo também foi o que emitiu as maiores quantidades de gases do efeito estufa, principalmente pela atividade de mudança no uso do solo.

Tanto Figueirêdo et al. (2013) quanto Santos et al. (2013) levaram em consideração valores médios de insumos utilizados no polo Jaguaribe-açu, sendo a carga de insumos de campo utilizados maior do que a utilizada na área experimental do presente estudo, o que influenciou nas divergências entre processos que mais contribuíram com a pegada de carbono.

4.4 OPORTUNIDADES E DESAFIOS DA CONVERSÃO DO SISTEMA CONVENCIONAL PARA O CONSERVACIONISTA NAS UNIDADES PRODUTIVAS

A conversão dos sistemas convencionais em conservacionistas requer estudos complementares, levando-se em conta não só o aspecto ambiental (conservação de solo e redução de emissões) como também o econômico e de adaptação do melão ao novo sistema de produção em larga escala. Sabe-se que em longo prazo o sistema de produção hoje existente é pouco sustentável em termos agrônômicos, por se tratar de uma monocultura de exploração intensiva, o que acarreta degradação de solo.

O uso contínuo de agroquímicos para o controle de pragas e doenças que podem colocar em risco a saúde humana também contribuem com a contaminação do solo e água. Com relação ao uso da água, Figueirêdo et al. (2013) concluíram que a demanda de água para irrigação é ao menos 39% maior do que a quantidade necessária no período de produção de setembro a novembro, o que pode contribuir para escassez hídrica em áreas produtoras de melão. Outro aspecto ambiental relevante é o resíduo do *mulch* plástico utilizado durante a produção de melão. Parte desse resíduo fica incorporada ao solo de cultivo, afetando suas propriedades físicas e químicas. Esse aspecto reforça a necessidade de se estudar alternativas de coberturas biodegradáveis e que não afetem a produtividade.

5 CONCLUSÕES

O sistema conservacionista onde se realizou a incorporação de milho consorciado com braquiária apresentou a menor pegada de carbono.

A mudança do uso da terra é um processo determinante para o incremento da pegada de carbono da produção de melão. A adubação verde com incorporação da biomassa de milho com braquiária contribui positivamente para a redução dessa pegada.

O estudo de cenários mostra que a pegada do melão produzido com incorporação de adubo verde pode ser ainda menor, principalmente se realizado o cultivo em áreas já agrícolas, ou seja, desmatadas há mais de vinte anos e se reduzir em ao menos 50% o uso de nitrogênio inorgânico.

6 REFERÊNCIAS

APEX BRASIL. **Perfil Exportador dos Melões Brasileiros 2014**. Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos. Brasília-DF, 2014.

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. 41pag. Monografia (Dissertação em Perícia, Auditoria e Gestão Ambiental) – Universidade Paulista, Fortaleza, 2012.

CARMO FILHO, F.; OLIVEIRA, O. F. **Mossoró: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico**. Mossoró: ESAM, 1995. 62f. (Coleção Mossoroense, série B).

CALONEGO, J. C.; GIL, F. C.; ROCCO, V. F.; DOS SANTOS, E. A. Persistence and nutrient release from maize, brachiaria and lablab straw. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 5, p. 770-771, 2012.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; ROSA, M. F.; GONDIM, R. S.; DE FREITAS, J. A. D. Questões ambientais no cultivo do melão. In: SOBRINHO, R. B.; GUIMARÃES, J. A.; FREITAS, J. A. D.; TERAPO, D. (org.). **Produção Integrada de Melão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008.

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.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; DE BOER, I. J. M.; KROEZE, C.; BARROS, V. S.; DE SOUSA, J. A.; DE ARAGÃO, F. A. S.; GONDIM, R. S.; POTTING, J. Reducing the impact of irrigated crops on freshwater availability: the case of Brazilian yellow melons. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, p. 437-448, 2014.

FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N. **Ecoinvent e Overview and Methodology**. Swiss Center for Life Cycle Inventories, Dübendorf. 2007.

GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F. EMBRAPA. Embrapa Semiárido. **Sistema de cultivo de melão**, 2010. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melao/SistemaProducaoMelao/manejo_do_solo.html>. Acesso em: 15 set. 2015.

GOEDKOOP, M.; SCHRYVER, A.; OELE, M. **Simapro 7: introduction to LCA**. Netherlands: Pré-Consultants, 2008.

GOEDKOOP, M.; OELE, M.; VIEIRA, M.; LEIJTING, J.; PONSIOEN, T.; MEIJER, E. **SimaPro Tutorial**. Netherlands: Pré-Consultants, 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14001:2004-Sistemas da gestão ambiental, Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro: ISO, 2004.

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

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

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Geneva: IPCC, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2007. **Climate Change (2007): Synthesis report: Contributions of working group I, II and III to the fourth Assessment Report**. IPCC, Geneva. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2014.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**. Brasília: MCT, 2010.

MORETTI, C. L.; ARAUJO, J. L. P. **Melão:** produção aspectos técnicos. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológica; Embrapa Hortaliças, 2003. Cap. 16, p. 121 (Frutas Brasil, 33).

SANTOS, T. L.; BARROS, V. S.; FIGUEIREDO, M. C. B.; NUNES, A. B. A.; GONDIM, R. S.; OLIVEIRA, E. S.; ARAGÃO, F. A. S.; SOUSA, J. A. **Pegada de Carbono de Produtos Agrícolas:** Estudo de Caso do Melão. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, 2013.

SOUZA, F. H. D.; FRIGERI, T.; MOREIRA, A.; GODOY, R. **Produção de sementes de Guandu.** São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007.

VALENTINI, L.; OLIVEIRA, L. A. A.; FERREIRA, J. M. **Produção de sementes de milho variedade para uso próprio em propriedades de microbacias hidrográficas.** Programa Rio Rural-Manual Técnico, 15. Niterói- RJ, 2009. ISSN 1983-5671.

CAPÍTULO III

PEGADA DE CARBONO DO MELÃO PRODUZIDO EM SISTEMA CONVENCIONAL EM MASSACHUSETTS-EUA.

RESUMO

Os Estados Unidos são o maior importador de melões do mundo, tendo como principais fornecedores a Guatemala, México e Honduras. O mercado americano é o sexto destino das exportações do melão brasileiro, com participação média de apenas 1%. Nesse mercado, porém, há uma expectativa de crescimento de 7% no consumo de frutas até 2017, o que amplia as oportunidades para o melão brasileiro. Atualmente, tanto o mercado europeu como o norte americano valorizam a importação de melões de regiões que apresentem certificações da pegada de carbono desse produto, bem como buscam determinar a pegada de carbono dos produtos por eles produzidos e exportados. A avaliação da Pegada de Carbono do de melão produzido nos Estados Unidos, estado de Massachusetts, tem como objetivo determinar a eficiência ambiental no processo produtivo e determinar uma oportunidade de mercado para o melão Brasileiro visando à ampliação e diversificação do mercado de exportação. O estudo se baseia na avaliação do ciclo de vida, com foco na categoria de impacto mudança climática. O sistema de produto em estudo abrange a produção de sementes e mudas de melão, produção em campo do melão, embalagem e transporte do melão para Boston, produção e transporte dos insumos utilizados nestes processos. Constatou-se que a pegada de carbono do melão americano é de 356 kg CO₂-eq t de melão, sendo o processo de embalagem o que mais contribuiu com essa pegada. É importante salientar que o impacto da mudança do uso da terra não é considerado nos EUA, já que a mudança ocorreu há mais de 20 anos. O melão americano, quando comparado ao melão produzido no Brasil em sistema conservacionista com incorporação de milho consorciado com braquiária, redução de 50% do nitrogênio inorgânico e transporte do melão para os EUA, possui pegada de carbono semelhante, sendo de 390 kg CO₂ eq/ t de melão para o melão brasileiro.

Palavras-chave: Gases de efeito estufa, mudança do uso da terra.

ABSTRACT

CARBON FOOTPRINT OF MELON PRODUCED IN CONVENTIONAL SYSTEM IN MASSACHUSETTS-US.

The United States are the largest melon importer in the world, being the main suppliers Guatemala, Mexico and Honduras. The American market is the sixth destination of exports of Brazilian melons, with an average share of only 1%. In this market, however, there is an expected growth of 7% in the consumption of fruit until 2017, what increases the opportunities for Brazilian melons. Currently, both the European market and the North American value the import regions of melons showing carbon footprint certification of this product and seek to determine the carbon footprint of the products they produced and exported. The assessment of the carbon footprint of melon produced in the United States, Massachusetts, aims to determine the environmental efficiency in the production process and determine a market opportunity for the Brazilian melon aimed at expansion and diversification of the export market. The study is based on the assessment of the life cycle, focusing on climate change impact category. The product system under study covers the production of seeds and melon seedlings, production melon field, packaging and transport of melon to Boston, production and transport of inputs used in these processes. It was found that the American melon carbon footprint is 356 kg CO₂-eq / t melon, and the packaging process contributed the most to this footprint. It is important to note that the land use change impact is not considered in the US, since the change took place over 20 years. The American melon, compared to melon produced in Brazil in conservation system with incorporation of maize intercropped with Brachiaria, 50% of the inorganic nitrogen and transport of melons to the US, has similar carbon footprint, being 390 kg CO₂ eq / t melon for Brazilian melons.

Keywords: Greenhouse gases, Land Change.

1 INTRODUÇÃO

Os Estados Unidos são o maior importador de melões do mundo, tendo um crescimento anual de importações de 5,4% entre os anos de 2006 a 2011. O maior fornecedor de melões para os EUA é a Guatemala, seguida por México, Honduras e Costa Rica. A produção de melão nos Estados Unidos ocorre entre os meses de abril a dezembro, e os principais estados produtores são Califórnia, Arizona, Texas, Geórgia e Florida.

O mercado americano é classificado pelos exportadores Brasileiros como um mercado a desenvolver. A participação das exportações brasileiras para os EUA foi de apenas 1% em 2012, sendo esse o sexto mercado de destino das exportações de melão brasileiro. Porém, há uma expectativa de crescimento do consumo de frutas de 7% nos Estados Unidos, no período de 2012 a 2017, dando oportunidade de ampliação de exportações brasileiras para esses país (APEX, 2014).

O Estado de Massachusetts possui uma das maiores populações de imigrantes dos EUA, principalmente de latinos (brasileiros) e asiáticos. Esse crescimento de imigrantes aumenta a procura por alimentos que normalmente não são cultivados na região. Com essa perspectiva, a Universidade de Massachusetts (UMass) possui um grupo de pesquisa que investiga a adaptação na região de culturas como a do melão, no intuito de fornecer à grande população de imigrantes, principalmente latinos, alimentos de seus países de origem.

Nesse contexto, esse estudo tem por objetivo determinar a pegada de carbono do melão produzido na UMass, Estado de Massachusetts-EUA, levando em consideração o ciclo de vida do produto. Busca-se também comparar essa pegada do melão americano com a do melão brasileiro, visando a avaliar se esse novo mercado representa uma oportunidade para o melão Brasileiro.

2 MATERIAL E METODOS

O estudo se baseia na avaliação do ciclo de vida, seguindo as normas ISO 14040 e ISO 14044 (2006a e 2006b), com foco na categoria de impacto mudança climática.

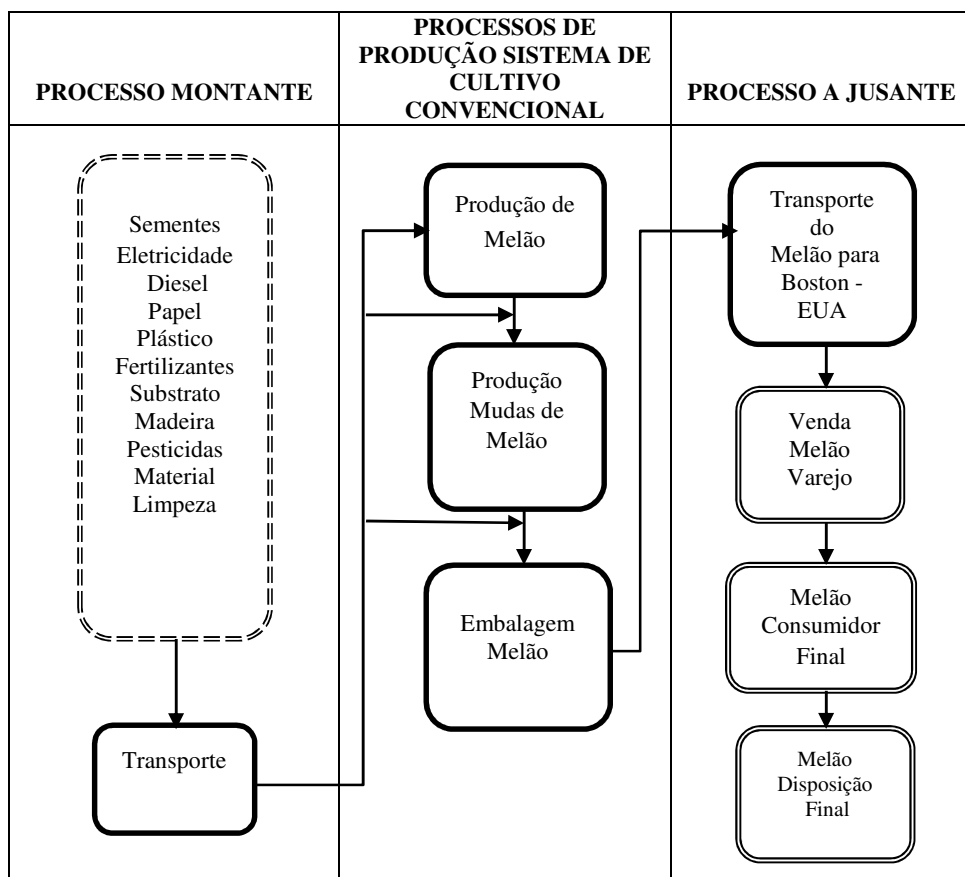
2.1 ESCOPO DO ESTUDO

Esse estudo faz avaliação do sistema de produção de melão produzido na fazenda da UMass, estado de Massachusetts (MA), nos Estados Unidos. Esse sistema de produção é muito semelhante ao sistema convencional praticado no Brasil com realização de preparo de solo, utilização de *mulch* plástico antes do plantio das mudas de melão, fertirrigação, controle de pragas e doenças. Porém, observa-se nas atividades de produção agrícola uma utilização intensiva de máquinas agrícolas em muitas etapas de produção, principalmente as relacionadas ao preparo do solo, colocação de mangueiras de irrigação, *mulch* e plantio das mudas, além da adubação de fundação. Isso se deve ao alto custo de mão de obra na região, que é em torno de \$10.00 a hora trabalhada, diferentemente da região Nordeste do Brasil, onde se tem disponibilidade de mão de obra a baixo custo (\$). A hora trabalhada no Brasil é em torno de 20% do valor da hora trabalhada nos EUA.

A região da fazenda também não apresenta grande incidência de pragas e doenças. O controle com pesticidas é feito somente quando necessário, não sendo realizadas aplicações preventivas como ocorre nas áreas produtoras de melão do Nordeste Brasileiro.

O sistema de produto em estudo envolve os seguintes processos (Figura 1): (a) processos a montante, referentes à produção e transporte de insumos, como fertilizantes, agrotóxicos, plásticos e combustível; (b) processos que ocorrem na área de estudo, referente à produção de mudas, produção de melão e embalagem dos frutos; e (c) processo a jusante, relacionado ao transporte terrestre do melão para o mercado Chelsea, em Boston, Massachusetts.

A avaliação dos sistemas de produção é relativa a um quilo de melão amarelo produzido no estado de Massachusetts (MA), nos Estados Unidos.



Processo onde foram realizadas as coletas dos dados primários



Processos com inventários provenientes das bases de dados do Ecoinvent ou literatura



Processos não considerados no Estudo

Figura 1 - Fronteira do sistema em estudo.

Fonte: elaborado pela autora

2.2 COLETA DE DADOS PRIMÁRIOS EM ÁREA EXPERIMENTAL

Os dados de inventário referentes ao processo de produção de mudas de melão foram coletados na empresa *Harvest Farm* (localizada em Deerfield – MA), os de produção de melão em campo, na Fazenda da Universidade de Massachusetts-UMASS (localizada em Deerfield – MA), e os de embalagem do melão, na empresa PVGA (Pioneer Valley Growers Association) (localizada em Deerfield –MA). O levantamento foi realizado em 2014.

2.3 COLETA DE DADOS SECUNDÁRIOS

Os dados secundários nesse estudo são referentes à produção e transporte dos seguintes insumos: sementes, fertilizantes, pesticidas, plásticos e papelão para esses processos. Os dados referentes ao processo de produção de sementes são do estudo de Figueirêdo et al. (2013). Os inventários dos demais processos são provenientes doecoinvent 3.01 (FRISCHKNECHT, JUNGBLUTH, 2007).

2.3.1 Tipo de transporte e cálculo das distâncias

No que se refere ao transporte de insumos agrícolas, considera-se que eles são oriundos dos EUA e de outros países (Tabela1). As distâncias são calculadas com o valor real das distâncias de cada local de origem desses materiais até a cidade de Deerfield-MA, onde os processos de produção ocorrem: fazenda da UMass,

empresa produtora de mudas (*Harvest Farm*), a empresa que comercializa produtos agrícolas (*Crop Production Services Inc.*), e a empresa responsável pela embalagem e comercialização do produto final PVGA (*Pioneer Valley Growers Association*). Assume-se que os melões são transportados por caminhão da associação de produtores PVGA (*Pioneer Valley Growers Association*) em Deerfield para Boston-MA. Os insumos nacionais e os provenientes do Canadá são transportados por caminhões, ao passo que os internacionais (Japão), por navio e caminhão.

Tabela 1: Origem e destino dos insumos inventariados nos processos de produção.

Insumos	Origem	Destino	Distancia (Km)
NPK	Pensilvania – EUA	Deerfield -MA	603
Cloreto Potássio	Saskatchewan – CA	Deerfield -MA	3693
Calcário dolomítico	New York – EUA	Deerfield -MA	232
Nitrato de Cálcio	Florida – EUA	Deerfield -MA	2075,2
Mulch	Quebec – CA	Deerfield -MA	544
Tubos de irrigação	Califórnia – EUA	Deerfield -MA	5090
Mudas	Deerfield –MA	Deerfield -MA	14
Pesticidas	Mississauga- CA	Deerfield -MA	790
Nutricote	Toquio – Japão	Deerfield -MA	25583
Sunshine Mx	Alberta-CA	Deerfield -MA	4113
Bandeja mudas	Tewksbury, MA	Deerfield -MA	139
Caixa	Virginia EUA	Deerfield -MA	864
Plástico	New Jersy –EUA	Deerfield -MA	282
Madeira	MA – EUA	Deerfield -MA	55
Cloro	Oakland – CA	Deerfield -MA	4848
Transporte de melão	Deerfield –MA	Boston -MA	174

Fonte: Elaborado pela autora.

2.4 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO CONVENCIONAL DE MELÃO EM MASSACHUSETTS

No estado de Massachusetts, a produção de melões é realizada no período do verão, entre os meses de maio a junho, iniciando o plantio das mudas em estufas de temperatura controlada. Dependendo das condições edafoclimáticas, o período de plantio em campo só é iniciado quando o solo se encontra em temperatura e umidade adequada para que se realize o preparo do solo sem causar danos, como compactação. Desta forma, o plantio do melão pode ocorrer entre os meses de junho ou julho e se realizar apenas um ciclo de produção de aproximadamente 30 dias, com as mudas em estufa e 75 dias com a cultura em campo.

Limpeza do terreno: assume-se que o desmatamento ocorreu na área em estudo há mais de 20 anos e que essa vegetação foi removida para produção de melão e de outras culturas;

Preparo do solo: realiza-se roçagem, a aração ou grade de discos. A profundidade de aração é de 30 cm, ao passo que a da gradagem é de cerca de 20 cm. Nessas operações, ocorre incorporação do calcário quando necessário. Na área de plantio, são construídos os camalhões com altura entre 15 cm e 20 cm para facilitar a drenagem do solo, é instalado o sistema de irrigação e o *mulch* sobre camalhões (Figura 2).

Transplântio de mudas: as mudas são transferidas para o campo com três a quatro semanas após o plantio da semente. O plantio é realizado no espaçamento de 0,30 m x 1,8m, conforme Figura 3.



Figura 2 - Atividade de preparo de solo colocação de *mulch* plástico e fita de irrigação.

Foto: Zoraia Barros



Figura 3 – (A) Produção de mudas em casa de vegetação e (B) Transplântio de mudas.

Foto: Zoraia Barros

Tratos culturais: utiliza-se irrigação por gotejamento, com gotejadores espaçados de 0,35 m. Com base em resultados de testes de solo e recomendações para melões no NEVMG (*New England Vegetable Management Guide*, 2014), utilizou-se na área experimental da fazenda da UMass 120-140 kg ha⁻¹ e 135 kg ha⁻¹K. Considerando que a matéria orgânica do solo é de 2% na fazenda, prevê-se a disponibilização de 44 kg ha⁻¹ de

nitrogênio, sendo o restante do nitrogênio disponibilizado via fertirrigação por gotejamento, com a aplicação de cloreto de potássio ($36,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de N), Nitrato de cálcio ($22,6 \text{ kg ha}^{-1}$) e NPK 10-10-10. Realiza-se o controle de plantas daninhas com capinas manuais, e pulverizações com inseticida, para controle de pragas e doenças. O Striped (*Acalymma vittatum*), conhecido como besouro listrado do pepino, é uma praga-chave de todos os cultivos de cucurbitáceas na região, requerendo controles químicos para evitar danos na produção e transmissão da murcha bacteriana.

Colheita: O melão está em ponto de colheita quando uma leve torção faz a haste se separar da planta e quando o teor de sólidos solúveis nos frutos está entre 9° e 10° Brix, aproximadamente a 70 dias após o transplântio da muda para o campo. A colheita é realizada manualmente. No *packinghouse*, cada fruta é avaliada segundo sua qualidade externa, lavada, embalada e resfriada. Se as frutas ficarem apenas por 1 - 2 dias são refrigerados a 21° C para amadurecimento final, por longos períodos de armazenamento, a temperatura é de 10° C a 12° C.

2.5 CÁLCULO DAS EMISSÕES DE GEE NAS PRODUÇÕES DE ADUBO VERDE E MELÃO

As emissões de GEE, referentes ao gás carbônico (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) foram estimadas segundo metodologia proposta pelo IPCC (2006), utilizando fatores de emissão propostos pelo IPCC e inventários nacionais de emissões de GEE (MCT, 2010), conforme descrito no anexo A. Foram consideradas as seguintes atividades que emitem gases de efeito estufa: fertilização, queima de combustíveis fósseis e incorporação de restos culturais.

2.6 MÉTODO PARA CÁLCULO DA PEGADA DE CARBONO

A avaliação do impacto é expressa em kg de CO₂-equivalente ou kg CO₂-eq. Essa medida resulta da multiplicação da massa de cada GEE pelo seu potencial de aquecimento global (*global warming potential* – GWP), considerando um período de 100 anos, de acordo com IPCC (1996).

2.7 ANÁLISE DE INCERTEZA

A norma NBR ISO 14040 (2006) define a análise de incerteza como um procedimento para determinar como as incertezas dos dados e pressupostos se propagam nos cálculos e como afetam a confiabilidade dos resultados da avaliação de impactos. Utilizou-se o método de simulação Monte Carlo para análise de incerteza nos resultados da avaliação da pegada de carbono, a matriz Pedigree foi utilizada para calcular o desvio padrão de cada parâmetro (GOEDKOOOP et al., 2008).

3 RESULTADOS

3.1 ANÁLISE DE INVENTÁRIO

A Tabela 2 refere-se aos dados primários (insumos por kg de melão), inventariados nas unidades de produção de sementes, produção de mudas, produção agrícola do melão e embalagem de melão.

Observa-se que a produção agrícola demanda a maior quantidade de insumos (68% dos insumos). Cerca de 60% da demanda por água e 13% por diesel ocorrem na produção agrícola. A embalagem é o segundo processo que demanda mais insumos, com 20%, sendo que o papel para confecção das caixas e a madeira utilizada no pallet são os que mais contribuem. O processo de produção de mudas contribui com 11% no total requerido dos insumos, principalmente devido ao consumo de plástico e o substrato.

No que se refere às emissões de GEE, o processo que mais emite gases é a produção agrícola, com 99% das emissões. O principal gás emitido é o CO₂, liberado devido à queima de diesel no processo.

Tabela 2 – Inventários de entradas e saídas nos processos relativos à produção de um quilo de melão.

Entradas e saídas	Unidade	Produção de sementes	Produção de mudas	Produção agrícola	Embalagem
Terra	m ²	0,0003	0,001	0,56	0,00
Sementes	g	0,0001	0,028	0,03	0,00
Mudas	g	0,0090	0,000	15,89	0,00
Substrato	g	1,0111	17,438	0,00	0,00
Água	L	0,0001	0,460	146,90	0,74
Elettricidade	kWh	0,0115	0,003	0,00	0,00
Diesel	g	0,0000	0,000	32,38	0,00
Produtos de limpeza	g	0,0000	0,000	0,00	0,00
Plásticos	g	0,0733	19,753	14,22	0,17
Papel	g	0,0000	0	0,00	38,53
Madeira (pallets)	g	0,0000	0	0,00	27,78
Fertilizantes					
Composto	g	0,0000	0,00	0,00	0,00
N	g	0,0041	0,165	4,99	0,00
P ₂ O ₅	g	0,0006	0,092	6,24	0,00
K ₂ O	g	0,0075	0,163	7,49	0,00
Outros	g	0,0040	0	15,16	5,06
Agroquímicos					
Inseticidas	g	0,0013	0	0,20	0,00
Fungicida	g	0,0006	0	0,00	0,00
Herbicida	g	0,0005	0	0,00	0,00
Saídas					
GHG					
CO ₂	g	0,1069	0	101,46	0,00
CH ₄	g	0,0001	0	0,01	0,00
N ₂ O	g	0,0001	0,024	0,18	0,00

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2 PEGADA DE CARBONO DO MELÃO

3.2.1 Análise de dominância em sistema conservacionista

No sistema em estudo, a média de emissão é de 356 kg CO₂-eq/t. de melão, variando entre 313 a 413 kg CO₂ eq. t de melão (Figura 4). No detalhamento dos processos que contribuem para pegada de carbono desse sistema (Figura 5), observa-se que o processo pós-colheita referente à embalagem dos frutos no *pakinghouse* é responsável por maior impacto sobre a categoria mudanças climáticas, contribuindo com 34,14% da pegada de carbono do melão. Isso ocorre devido principalmente à produção das caixas de papelão, utilizadas para embalar os frutos e do cloro, para sua lavagem. O processo de produção de fertilizantes inorgânicos é o segundo que mais contribui com a pegada de carbono, respondendo por 28,12% do total da pegada.

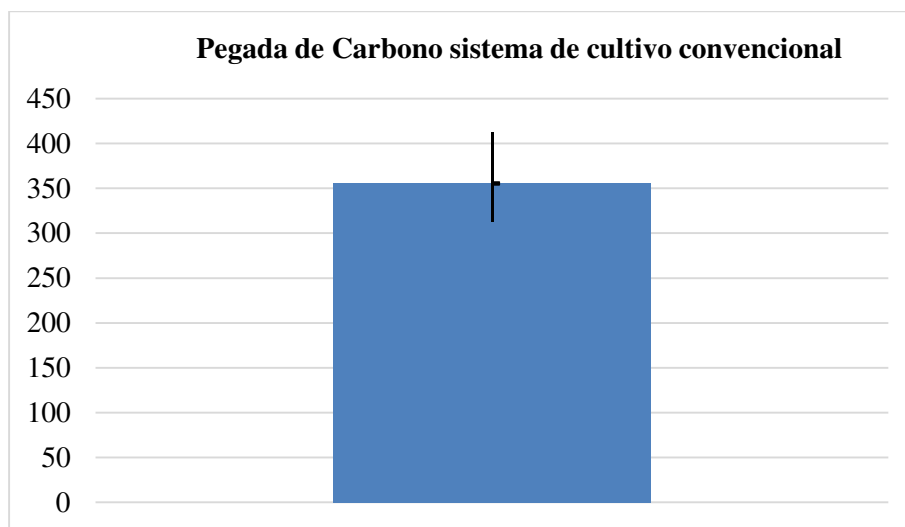


Figura 4 – Pegada de carbono sistema cultivo convencional Massachusetts.

Fonte: Elaborado pela autora.

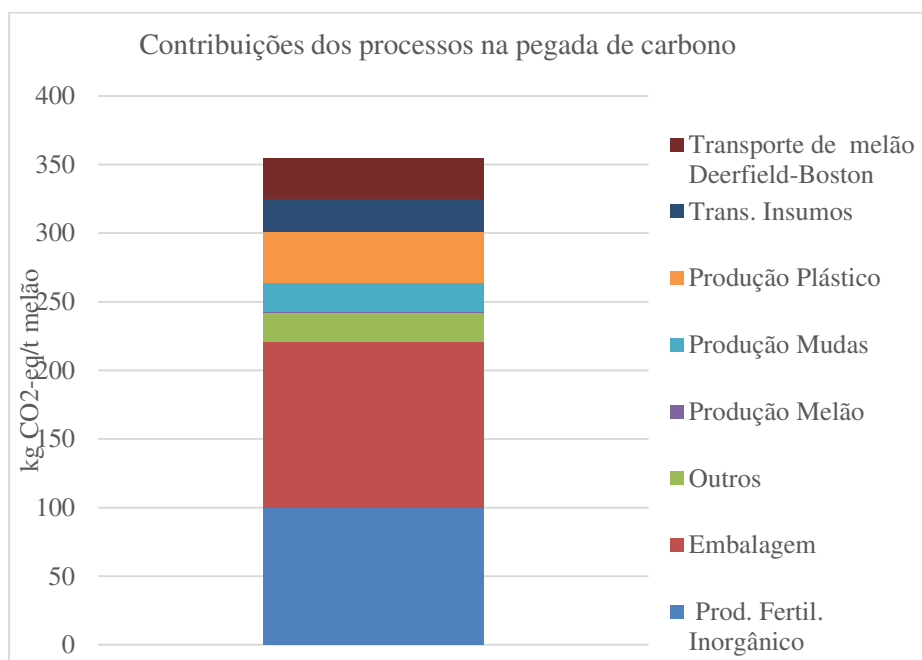


Figura 5– Contribuições dos processos na pegada de carbono do melão amarelo sistema Convencional de Produção, Massachusetts

Fonte: Elaborado pela autora.

4 DISCUSSÕES

Comparando-se a pegada de carbono do melão americano obtido nesse estudo com os obtidos por Figueirêdo et al. (2013) (710 kgCO₂-eq/t de melão exportado) e por Santos et al. (2013) (709 kg CO₂-eq/t melão cantaloupe exportado), ambos referentes ao melão produzido na região do Baixo Jaguaribe e Açu (Nordeste Brasileiro), observa-se que a pegada de carbono do melão americano é inferior. O melhor desempenho do melão americano se deve principalmente à mudança do uso da terra ter ocorrido na região de Massachusetts há mais de 20 anos, não implicando em emissões associadas ao cultivo do melão.

Entretanto, comparando-se a pegada do melão americano com a do sistema de plantio com incorporação da palhada de milho com braquiária, adubos verdes plantados antes do melão (ver capítulo 2 dessa tese), observa-se que otimizando o uso de nitrogênio e desconsiderando as emissões por mudança do uso da terra e transportando o melão brasileiro para o EUA, a pegada de carbono do melão brasileiro é semelhante à pegada de carbono do melão americano.

5 CONCLUSÕES

O impacto ambiental de sistemas de produção de melão convencional sobre as mudanças climáticas, produzido na área experimental da University of Massachusetts, foi de 356 kg CO₂-eq/t. de melão.

Existe uma oportunidade de mercado para o melão Brasileiro, considerado o curto período de produção nessa região e as alternativas para mitigação da pegada de carbono do melão brasileiro. Porém, para que isso aconteça é necessário que a produção de melão ocorra em áreas já desmatadas há mais de 20 anos e que o sistema de cultivo baseado no cultivo de adubos verdes antes do plantio do melão seja praticado.

6 REFERÊNCIAS

APEX BRASIL. **Perfil Exportador dos Melões Brasileiros 2014**. Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos. Brasília-DF, 2014.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; ROSA, M. F.; GONDIM, R. S.; FREITAS, J. A. D. Questões ambientais no cultivo do melão. In: SOBRINHO, R. B.; GUIMARÃES, J. A.; FREITAS, J. A. D.; TERAPO, D. (org.). **Produção Integrada de Melão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008.

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.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; DE BOER, I. J. M.; KROEZE, C.; BARROS, V. S.; DE SOUSA, J. A.; ARAGÃO, F. A. S.; GONDIM, R. S.; POTTING, J. Reducing the impact of irrigated crops on freshwater availability: the case of Brazilian yellow melons. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, p. 437-448, 2014.

FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N. **Ecoinvent e Overview and Methodology**. Swiss Center for Life Cycle Inventories, Dübendorf: 2007.

GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F. EMBRAPA. Embrapa Semiárido. **Sistema de cultivo de melão**, 2010. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melao/SistemaProducaoMelao/manejo_do_solo.html>. Acesso em: 15 set. 2015.

GOEDKOO, P. M.; SCHRUYVER, A.; O. E. L. E. M. **Simapro 7**: introduction to LCA. Netherlands: Pré-Consultants, 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Agricultural production, primary crops**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14001:2004-Sistemas da gestão ambiental, Requisitos com orientações para uso.** Rio de Janeiro: ISO, 2004.

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

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

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** Geneva: IPCC, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/>>. Acesso em: 20 fev. 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2007. **Climate Change (2007): Synthesis report: Contributions of working group I, II and III to the fourth Assessment Report.** IPCC, Geneva. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf> Acesso em: 20 fev. 2014.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal.** Brasília: MCT, 2010, 154 p.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA e INOVAÇÃO (MCTI). **Estimativas anuais de Gases de Efeito Estufa no Brasil.** Brasília: MCTI, 2014, 168 p.

MORETTI, C. L.; ARAUJO, J. L. P. **Melão: produção aspectos técnicos.** Brasília: Embrapa Informações Tecnológica; Embrapa Hortaliças, 2003. Cap. 16, p. 121 (Frutas Brasil, 33)

New England Vegetable Management Guide 2014-2015. John Howell, editor. Disponível em: <<https://nevegetable.org>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

SANTOS, T. L.; BARROS, V. S.; FIGUEIREDO, M. C. B.; NUNES, A. B. A.; GONDIM, R. S.; OLIVEIRA, E. S.; ARAGÃO, F. A. S.; SOUSA, J. A. **Pegada de Carbono de Produtos Agrícolas:** Estudo de Caso do Melão. Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza, CE: 2013.

USDA National Agricultural Statistics Service 2002. Disponível em: <http://www.nass.usda.gov/Census_of_Agriculture>. Acesso em: 10 nov. 2014.

ANEXO

ANEXO A - Fórmulas usadas para estimar as emissões de GEE

1. Emissões de CO₂ pela mudança de uso do solo (de floresta para agricultura)

1.1 Mudança de Biomas (MCT, 2010b)

$$E = \frac{(A * (C - avAgri))}{20} * \frac{44}{12}$$

Onde:

- **E**= emissão de carbono (t CO₂. ano⁻¹. Kg melão, ou semente, ou muda⁻¹), considerando um período de 20 anos desde a conversão de uso da terra;
- **A**= área convertida em área agrícola (ha.ano⁻¹.kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **C**= estoque de carbono na biomassa e na matéria orgânica morta (t C. ha⁻¹);
- **avAgri**= estoque de carbono na área de produção (t C.ha⁻¹)

De acordo com o Inventário Nacional de Gases do Efeito Estufa (MCT, 2010), os valores de C para as fisionomias do bioma Caatinga que ocorrem na região estudada são 14,9 tC.ha-1 (Estepe e Savana- Ta e Tp) e 24,1 tC/ha (parque Savana e Sp). O valor estimado para **avAgri** é 1,28 tC.ha-1 para cultura do melão. Esta estimativa foi feita baseando-se na medida da matéria seca e carbono total de cinco plantas de melão na colheita.

As emissões de CO₂, pela mudança de carbono na biomassa, foram calculadas para cada fisionomia do Bioma Caatinga, a média dos resultados encontrados foi utilizada. As emissões foram contabilizadas anualmente após a transformação da terra, num tempo de distribuição de 20 anos (IPCC, 2007; WRI e WBSCD, 2011).

1.2 Mudança de Carbono no solo (MCT, 2010)

$$Es = (A * C_{solo} * \frac{[fc(t_0) - fc(t_f)]}{20} * \frac{44}{12})$$

$$fc(t) = f_{UT} * f_{RG} * f_l$$

Onde:

- **Es**= emissões líquidas de carbono pelo solo (t CO₂.ano⁻¹.kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **A**= área (ha. ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **C solo**= estoque de Carbono no solo da área, na associação solo-vegetação (t C.ha⁻¹);
- **fc (t)**= fator de alteração de carbono num tempo *t* (adimensional):
 - **f_{UT}**= fator de alteração de carbono relacionado à mudança de uso da terra (adimensional);
 - **f_{RG}**= fator de alteração de carbono relacionado ao regime de gestão (adimensional).
 - **f**= fator de alteração de carbono relacionado às entradas de matéria orgânica (adimensional).

De acordo com o Inventário Nacional Brasileiro de emissões de GEE (MCT, 2010), o valor de **C_{solo}** varia na região estudada, podendo ser: 2,42 kgC/m² em solos com alta atividade de argila, 2,58 kgC/m² em solos com baixa atividade de argila (latossolos), 2,62 kg C/m² em solos com baixa atividade de argila (não latossolos) e 1,51 kgC/m² em arenossolos. As emissões de CO₂ pela mudança no solo foram calculadas para cada tipo de solo, e a média dos resultados foi utilizada.

Os fatores *f_{UT}*, *f_{MG}*, *f* e *f_c* para áreas agrícolas são, respectivamente, 0,58; 1,16; 0,91 e 0,612. Em áreas florestais, *f_c* é 1,0.

1.3 Emissões de CO₂ pela mudança de uso do solo (agricultura para agricultura)

Segundo o MCT (2010), quando terras agrícolas de uma safra são utilizadas para plantar outra cultura, não ocorrem mudanças na biomassa nem no carbono do solo.

2. Emissões de CO₂ pelo uso de ureia como fertilizante (IPCC, 2006)

$$Emissões\ C - CO_2 = (M * EF) * \frac{44}{12}$$

Onde:

- **Emissões C- CO₂**= emissões de CO₂ pela aplicação de ureia (t CO₂.ano⁻¹.kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **M**= massa de ureia (t.ano⁻¹.kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **EF**= fator de emissão, que corresponde a 0,20.

3. Emissões de CO₂, CH₄ e N₂O pela queima de combustíveis (para transporte rodoviário) (IPCC, 2006).

$$Emiss\tilde{a}o_i = Volume * densidade * VCL * EF_i$$

Onde:

- **Emiss\tilde{a}o_i**= emissão de CO₂ (t CO₂.ano⁻¹.kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **i** = GEE (CO₂, CH₄ e N₂O);

- **Volume** = volume de combustível (L.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **Densidade**= densidade do combustível (kg.L⁻¹);
- **VCL** = Valor Calórico líquido (TJ.Kg⁻¹);
- **EF_i**= Fator de emissão para o GEE i.

Segundo o balanço energético brasileiro (MME, 2012):

- A densidade do diesel do Brasil é: 0,88 Kg.L⁻¹;
- O **VCL** é 10,100 Kcal.kg⁻¹ (Kcal=0000000041868 TJ). **VCL** é 0,00004228668 TJ.Kg⁻¹).

De acordo com o IPCC (2006), o Fator de Emissão para o diesel usado na agricultura é:

- 74,100 kg.TJ⁻¹ para CO₂;
- 4,15 kg.TJ⁻¹ para CH₄;
- 28,6 kg.TJ⁻¹ para N₂O.

4. Emissões de CH₄ e N₂O pela queima da biomassa (IPCC, 2006)

$$CH_4 - Emissões = A * M_b * C_f * G_{ef}$$

Onde:

- **Emissões-CH₄**= emissões de metano no ano (kg CH₄.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **A**= área queimada (ha.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **M_b**= massa de combustível disponível para combustão (kg.ha⁻¹);
- **C_f**= fator de combustão (adimensional);
- **G_{ef}**= fator de emissão (g.kg matéria orgânica queimada⁻¹).

Segundo o IPCC (2006), M_b e C_f para Caatinga (Savana) é 0,21. O valor de G_{ef} para metano é 2,3, e para o N_2O , 0,21.

5. Emissões de N_2O pelo uso de fertilizantes e resíduos vegetais (IPCC, 2006)

5.1 Emissões Diretas

$$Entradas\ N - N_2O = ((F_{SN} + F_{ON} + F_{RV} + F_{SOM}) * EF1) * \frac{44}{28}$$

Onde:

- **Entradas N- N_2O** = emissões de N_2O pelo solo ($kg\ N_2O \cdot ano^{-1} \cdot kg\ melão$, ou $semente$, ou $muda^{-1}$);
- F_{SN} = quantidade de N em fertilizantes sintéticos aplicados ($kg\ N \cdot ano^{-1} \cdot kg\ melão$, ou $semente$, ou $muda^{-1}$);
- F_{ON} = quantidade de N em fertilizantes orgânicos aplicados ($kg\ N \cdot ano^{-1} \cdot kg\ melão$, ou $semente$, ou $muda^{-1}$);
- F_{RV} = quantidade de n nos resíduos vegetais ($kg\ N \cdot ano^{-1} \cdot kg\ melão$, ou $semente$, ou $muda^{-1}$);
- F_{SOM} = quantidade de N mineralizado pela mudança de uso da terra ($kg\ N \cdot ano^{-1} \cdot kg\ melão$, ou $semente$, ou $muda^{-1}$);
- **EF1**= fator de emissão ($kg\ N^{-1}$).

Segundo o IPCC (2006), EF1 é 0,01.

$$F_{RV} = (\text{área agrícola} * C_f * Frac_{renov}) \\ * [(R_{AcS} * N_{AS} * (1 - Frac_{remov})) + (R_{Abs} * N_{Abs})]$$

Onde:

- **Área agrícola**= matéria orgânica da área agrícola (kg mat.org.ano⁻¹.ha⁻¹)
- **Área**= área plantada (ha. ano⁻¹.kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **Área queimada**= área queimada (ha. ano⁻¹.kg melão, semente, ou muda⁻¹). No caso do melão, é zero;
- **C_f**= fator de combustão. Não usado no caso do melão;
- **Frac_{renov}**= fração do total de área que é anualmente renovada. Para o melão, é igual a 1;
- **R_{AcS}**= razão entre a matéria orgânica dos resíduos acima do solo (kg mat. org) e o rendimento vegetal (kg mat. org) ;
- **N_{AcS}**= N contido nos resíduos acima do solo (kg N/ kg mat. org);
- **Frac_{remov}**= fração de resíduos acima do solo que foi removida da área. No caso do melão, é igual a zero;
- **R_{Abs}**= razão entre a matéria orgânica dos resíduos abaixo do solo (kg mat. org) e o rendimento vegetal (kg mat. org) ;
- **N_{Abs}**= N contido nos resíduos abaixo do solo (kg N/ kg mat. org).

$$F_{SOM} = [(\Delta C_{solo} * \frac{1}{R}) * 1000]$$

$$\Delta C_{solo} = (A * C_{solo} * \frac{[fc(to) - fc(tf)]}{20})$$

$$fc(t) = f_{UT} * f_{RG} * fl$$

Onde:

- F_{SOM} = quantidade de N mineralizado no solo devido à mudança no uso do solo ($\text{kg N.ano}^{-1} \cdot \text{kg melão, ou semente, ou muda}^{-1}$);
- ΔC_{solo} = quantidade de C perdida pela mudança no uso do solo (t C);
- A = área submetida à mudança de uso do solo (de Floresta pra agricultura, ver item 1.2) ($\text{ha. ano}^{-1} \cdot \text{kg melão, semente, ou muda}^{-1}$);
- C_{solo} = carbono no solo antes da mudança de uso do solo (ver item 1.2) (t C/ha);
- $F_c = f_c(t)$ = fator de alteração de carbono num tempo t (adimensional);
- f_{UT} = fator de alteração de carbono relacionado à mudança de uso da terra (adimensional);
- f_{RG} = fator de alteração de carbono relacionado ao regime de gestão (adimensional);
- f_l = fator de alteração de carbono relacionado às entradas de matéria orgânica (adimensional);
- $R = C:N$ = razão da matéria orgânica do solo. Segundo o IPCC (2006), esta é igual a 15, na mudança de uso do solo de floresta para área agrícola.

5.2 Emissões pela volatilização de NH_3 e NO_x

$$N_2O_{DAT} - N = \left\{ \left[(F_{SN} * FRAC_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) * FRAC_{GASM}) \right] * EF_4 \right\} * \frac{44}{28}$$

Onde:

- N_2O_{DAT-N} = quantidade de N_2O produzida pela deposição atmosférica do N volatilizado pelo manejo do solo ($\text{kg N}_2\text{O. ano}^{-1} \cdot \text{kg melão, semente, ou muda}^{-1}$);
- F_{SN} = quantidade de N em fertilizantes sintéticos aplicados ($\text{kg N. ano}^{-1} \cdot \text{kg melão, ou semente, ou muda}^{-1}$);

- **FRAC_{GASF}**= fração de N em fertilizantes sintéticos que volatilizam NH₃ e NO_x. Esta é igual a um;
- **F_{ON}**= quantidade de N em fertilizantes orgânicos aplicados (kg N.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **F_{PRP}**= quantidade de N da urina, fezes depositadas por animais nos pastos. (kg N. ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹). Quantidade não aplicada à cultura do melão;
- **FRAC_{GASM}**= fração de N nos fertilizantes orgânicos que volatilizam NH₃ e NO_x. Esta é igual a 0,20;
- **EF₄**= Fator de emissão. Igual a 0,01.

5.3 Emissões por fuga e lixiviação

Apesar de a fazenda produtora de melão utilizar irrigação por gotejamento, durante a estação chuvosa, a diferença entre a quantidade de chuva e o potencial de evaporação na área é maior do que a capacidade de retenção de água pelo solo (pouco arenoso). Dessa forma, realizou-se o cálculo das emissões indiretas pela fuga e lixiviação.

$$N - N_2O = \left((F_{SN} + F_{ON} + F_{RV} + F_{SOM}) * Frac_{leach-(H)} * EF_5 \right) * \frac{44}{28}$$

Onde:

- **N-N₂O**= quantidade de N₂O produzida pela fuga se lixiviação das adições de N no solo (kg N. ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **F_{SN}**= quantidade de N em fertilizantes sintéticos aplicados (kg N. ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **F_{ON}**= quantidade de N em fertilizantes orgânicos aplicados (kg N.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **F_{RV}**= quantidade de n nos resíduos vegetais (kg N.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);

- **F_{SOM}**= quantidade de N mineralizado pela mudança de uso da terra (kg N.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **Frac_{leach-(H)}**=
- **EF₅**= Fator de emissão (kg N)⁻¹. De acordo com o IPCC (2006), EF= 0,0075.