



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE – PRODEMA

ANA PAULA COELHO SAMPAIO

PEGADA DE CARBONO E HIDRÍCA DO CULTIVO DE COCO EM SISTEMAS DE
PRODUÇÃO CONVENCIONAL NO NORDESTE BRASILEIRO

FORTALEZA

2019

ANA PAULA COELHO SAMPAIO

PEGADA DE CARBONO E HIDRÍCA DO CULTIVO DE COCO EM SISTEMAS DE
PRODUÇÃO CONVENCIONAL NO NORDESTE BRASILEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Proteção Ambiental e Gestão de Recursos Naturais.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marta Celina Linhares Sales.

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Cléa Brito de Figueirêdo.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S181p Sampaio, Ana Paula Coelho.
Pegada de carbono e hídrica do cultivo de coco em sistemas de produção convencional no Nordeste brasileiro / Ana Paula Coelho Sampaio. – 2019.
122 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2019.
Orientação: Profa. Dra. Marta Celina Linhares Sales.
Coorientação: Profa. Dra. Maria Cléa Brito de Figueirêdo.
1. Produção de coco. 2. Mudanças climáticas. 3. Escassez hídrica. 4. Eutrofização. 5. Toxicidade. I. Título.
CDD 333.7
-

ANA PAULA COELHO SAMPAIO

PEGADA DE CARBONO E HIDRÍCA DO CULTIVO DE COCO EM SISTEMAS DE
PRODUÇÃO CONVENCIONAL NO NORDESTE BRASILEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Proteção Ambiental e Gestão de Recursos Naturais.

Aprovada em: 26 / 02 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Marta Celina Linhares Sales (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Maria Cléa Brito de Figueirêdo (Coorientadora)
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Prof. Dr. Francisco Casimiro Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Viviane da Silva Barros
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Dedico este trabalho a Santíssima Trindade e a Santa Virgem Maria, pelo acolhimento e força em cada passo de minha caminhada; aos meus amados pais, Auxiliadora e Assis, pelo amor e apoio sempre, e ao meu namorado Fabrício, por sua compreensão e companheirismo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pela determinação, sabedoria e paciência pra chegar até aqui, por ter guiado todos os meus passos e pensamentos;

Aos meus pais, Auxiliadora e Assis, por todo o amor, amizade e dedicação. Por todo o esforço em me garantir uma boa educação e pelos bons exemplos de disciplina e integridade;

Ao meu namorado, Fabrício. Agradeço o apoio, o companheirismo, o cuidado e as inúmeras vezes em que você me disse: “Vai dar certo!”;

À minha orientadora Dr^a Marta Celina Linhares Sales, pela paciência, confiança e sua disposição em sempre me ajudar. À Coorientadora Dr^a Maria Cléa Brito de Figueirêdo, pelo apoio, por acreditar em mim, pela paciência e carinho em ensinar;

À Dr^a Viviane Barros, pela ajuda na coleta e tratamento dos dados, pelo incentivo e por todas as conversas que me ajudaram a refletir melhor o que eu estava fazendo;

Ao Dr. Antônio Santiago e ao M.Sc. Júlio Amorim, pesquisadores da Embrapa Tabuleiros Costeiros, que auxiliaram na coleta de dados em Alagoas, Bahia e Sergipe. Obrigada pela disponibilidade, pela atenção e por responderem aos inúmeros e-mails. Agradeço também a todos os gerentes e trabalhadores das fazendas visitadas por nos receberem sempre com entusiasmo e boa vontade;

À Anne, Renatinha, Edilene, Kílvia, Tayane e Amandinha, pela amizade que foi capaz de tornar essa caminhada mais leve;

À Andressa, que conheci no primeiro dia do mestrado, e se tornou uma amiga fiel;

Ao meu amigo Pe. Sidney Mendonça, pelas palavras de incentivo, pela amizade, direcionamento e inúmeros pedidos de socorro atendidos;

À Embrapa Agroindústria Tropical pela oportunidade de aprendizado, pelo ambiente que me proporcionou realizar minhas pesquisas e assim desenvolver meu lado profissional;

À UFC pelo ensino e principalmente ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, onde me senti acolhida por todos;

Ao CNPq, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio;

E a todos que contribuíram diretamente ou não para a minha formação, meu muito obrigada.

“O heroísmo do trabalho está em ‘acabar cada tarefa’.”

São Josemaría Escrivá (1902 – 1975)

RESUMO

A produção de coco na região Nordeste foi o equivalente a 74% da produção nacional em 2017, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portanto, considerando a importância econômica da cultura para a região e as alterações ambientais promovidas pelas atividades agrícolas, objetivou-se neste trabalho avaliar e comparar as pegadas de carbono e hídrica do coco verde produzido nos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará e Sergipe. As pegadas foram calculadas com base nas normas ISO 14067 (pegada de carbono), ISO 14046 (pegada hídrica) e seguindo as etapas de um estudo de avaliação do ciclo de vida, conforme as normas ISO 14040 e 14044. Os dados coletados se referem a um pomar de coqueiros-anões cultivado por 17 anos e adotou-se como unidade funcional 1m^3 de água de coco *in natura* produzida em um ano médio. As categorias de impactos consideradas nos estudos das pegadas e seus métodos de avaliação foram: i) para a pegada de carbono avaliou-se os impactos nas mudanças climáticas (IPCC); ii) para pegada hídrica, avaliaram-se a escassez hídrica (AWARE), toxicidade humana, câncer, não-câncer e ecotoxicidade em águas doces (USEtox), eutrofização marinha e de águas doces (ReCiPe *midpoint*). Observou-se que a fazenda de Alagoas obteve a menor pegada de carbono e hídrica. Já a fazenda do Ceará apresentou a pior pegada de carbono e hídrica em relação às outras fazendas avaliadas, devido a menor quantidade de água utilizada na irrigação e menor produção de água de coco *in natura* por hectare. Por fim, esse trabalho apontou a necessidade de se buscar melhorias para o sistema de produção do coco no Nordeste. Considerando os resultados da identificação dos processos críticos e a análise de cenários, tanto para a pegada de carbono como hídrica, sugere-se que a fertilização seja realizada de modo eficiente, de acordo com o recomendado e a necessidade da cultura; além da possível ampliação do período de cultivo para 30 anos, com o objetivo de se reduzir os impactos das pegadas ambientais e garantir a produtividade e sustentabilidade da cultura do coco.

Palavras – chave: Produção de coco. Mudanças climáticas. Escassez hídrica. Eutrofização. Toxicidade.

ABSTRACT

Coconut production in the Northeast region was 74% of the national production in 2017, according to the Brazilian Institute of Geography and Statistics. Therefore, this is an evaluated and comparative work such as carbon footprints and green coconut water in the states of Alagoas, Bahia, Ceará and Sergipe. Footprints were calculated based on ISO 14067 (carbon footprint), ISO 14046 (water footprint) and following the steps of a life cycle assessment study, according to ISO 14040 and 14044 standards. The data collected refer to an orchard of dwarf coconut trees cultivated for 17 years and was adopted as functional unit 1m³ of coconut water *in natura* produced in a medium year. The categories of impacts considered in the footprint studies and their assessment methods were: i) for the carbon footprint the impacts on climate change (IPCC) were evaluated; ii) for water footprint, water scarcity (AWARE), human toxicity, cancer, non-cancer and ecotoxicity in freshwater (USEtox), marine and fresh water eutrophication (ReCiPe midpoint) were evaluated. It was observed that the farm of Alagoas obtained the smallest carbon and water footprint. The Ceará farm presented the worst carbon and water footprint in relation to the other farms evaluated, due to the lower amount of water used in irrigation and lower production of coconut water per hectare. Finally, this work pointed out the need to seek improvements for the coconut production system in the Northeast. Considering the results of the identification of the critical processes and the analysis of scenarios, both for the carbon footprint and hydric, it is suggested that the fertilization be carried out efficiently, according to the recommended and the need of the crop; in addition to the possible extension of the cultivation period to 30 years, with the objective of reducing the impacts of environmental footprints and guaranteeing the productivity and sustainability of the coconut crop.

Keywords: Coconut production. Climate changes. Water scarcity. Eutrophication. Toxicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estágios do ciclo de vida de um produto	22
Figura 2 – Etapas de uma ACV de acordo com a norma ISO 14040.....	24
Figura 3 – Etapas de um estudo de pegada hídrica de acordo com a norma ISO 14046...	34
Figura 4 – Fronteiras dos sistemas de produção avaliados.....	50
Figura 5 – Fases do sistema de produção do coco.....	53

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – UHES e os principais municípios produtores Alagoas.....	46
Mapa 2 – UHES e os principais municípios produtores da Bahia.....	47
Mapa 3 – UHES e os principais municípios produtores do Ceará.....	48
Mapa 4 – UHES e os principais municípios produtores de Sergipe.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação entre o consumo real em cada fazenda no Estado do Ceará e a demanda hídrica estimada.....	63
Gráfico 2 – Comparação entre o consumo real nas fazendas de AL, BA e SE.....	69
Gráfico 3 – Impacto nas mudanças climáticas em cada região com diferentes unidades funcionais.....	70
Gráfico 4 – Contribuição dos processos nas mudanças climáticas.....	72
Gráfico 5 – Perfil de pegada hídrica do coco verde em cada fazenda, por número de coco produzido, kg de coco e por m ³ de água de coco <i>in natura</i>	73
Gráfico 6 – Impactos na escassez hídrica, por m ³ de água de coco <i>in natura</i> , t de coco e 1000 frutos.....	74
Gráfico 7 – Impacto na escassez hídrica, utilizando-se FC mensais e anuais.....	75
Gráfico 8 – Contribuição dos processos na escassez hídrica.....	76
Gráfico 9 – Impactos de escassez hídrica para as UHEs de Alagoas.....	76
Gráfico 10 – Impactos de escassez hídrica para as UHEs da Bahia.....	77
Gráfico 11 – Impactos de escassez hídrica para as UHEs do Ceará.....	77
Gráfico 12 – Impactos de escassez hídrica para as UHEs de Sergipe.....	78
Gráfico 13 – Impactos da eutrofização, por m ³ de água de coco <i>in natura</i> , t de coco e 1000 frutos.....	79
Gráfico 14 – Contribuição dos processos na eutrofização em águas doces e marinha.....	80
Gráfico 15 – Impactos na toxicidade, por m ³ de água de coco <i>in natura</i> , t de coco e 1000 frutos.....	81
Gráfico 16 – Contribuição dos processos na toxicidade humana, câncer, não-câncer e ecotoxicidade em águas doces.....	83
Gráfico 17 – Comparação entre os cenários de mudança climática.....	86
Gráfico 18 – Comparação entre os cenários de escassez hídrica.....	87

Gráfico 19 – Comparação entre os cenários para as demais categorias na fazenda de Alagoas.....	88
Gráfico 20 – Comparação entre os cenários para as demais categorias na fazenda da Bahia.....	89
Gráfico 21 – Comparação entre os cenários para as demais categorias na fazenda do Ceará.....	89
Gráfico 22 – Comparação entre os cenários para as demais categorias na fazenda de Sergipe.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– PAG para horizontes de tempo diferentes: 20, 100 e 500 anos.....	30
Tabela 2	– Fatores de caracterização Agri, Não-Agri e Pad para as principais regiões do mundo.....	36
Tabela 3	– Área colhida e produção dos principais países produtores em 2016.....	39
Tabela 4	– Área colida, produção e produtividade dos principais Estados brasileiros produtores em 2017.....	40
Tabela 5	– Principais característica dos coqueiro gigante, anão e híbrido.....	42
Tabela 6	– Doses recomendadas de N, P ₂ O ₅ e K ₂ O para o coqueiro anão.....	43
Tabela 7	– Estimativa da quantidade de água necessária na irrigação do coqueiro anão.....	43
Tabela 8	– Caracterização das fazendas analisadas nesse estudo.....	52
Tabela 9	– Valores de ETo médios mensais para cada Estado.....	55
Tabela 10	– Resumo dos cenários alternativos.....	59
Tabela 11	– Inventários das fazendas do Ceará e sua média, considerando um ano médio de produção.....	60
Tabela 12	– Cálculo da demanda hídrica do coqueiro nas fazendas do CE.....	63
Tabela 13	– Relação entre quantidade de água utilizada na irrigação e a produção de água de coco <i>in natura</i> nas fazendas do Ceará.....	64
Tabela 14	– Inventários das fazendas por Estado, em um ano médio de produção.....	65
Tabela 15	– Cálculo da demanda hídrica do coqueiro nas fazendas de AL, BA e SE.....	68
Tabela 16	– Relação entre a quantidade de água utilizada na irrigação e a produção de água de coco <i>in natura</i>	69
Tabela 17	– Comparação da pegada de carbono do coco nos Estados do Nordeste, com valores de outras frutas na literatura.....	71
Tabela 18	– Resultado da análise de incerteza entre as fazendas.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abrafrutas	Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ANA	Agência Nacional de Águas
AWARE	Available Water Remaining
BSI	British Standards Institution
CFC	Clorofluorocarboneto
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO ₂ -eq	Dióxido de Carbono equivalente
CS	Cobertura do Solo
CTUe	Unidade Tóxica Comparativa para ecossistemas
CTUh	Unidade Tóxica Comparativa para humanos
ETc	Evapotranspiração da cultura
ETo	Evapotranspiração de referência
FAO	Food and Agriculture Organization
FC	Fator de Caracterização
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GEE	Gases de Efeito Estufa
HFC	Hidrofluorocarboneto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
ILCD	Sistema Internacional de Dados do Ciclo de Vida
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
ISO	Organização Internacional para Padronização
K ₂ O	Óxido de Potássio
Kc	Coeficiente de cultivo
Kr	Coeficiente de redução da evapotranspiração
LSPA	Levantamento Sistemático da Produção Agrícola
MAP	Mono – Amônio - Fosfato

MCTI	Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MRI	Midwest Research Institute
MUT	Mudança no Uso da Terra
N-eq	Nitrogênio equivalente
N ₂ O	Óxido nitroso
NBR	Norma Brasileira
OEC	Observatório da Complexidade Econômica
P-eq	Fósforo equivalente
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fósforo
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PAM	Produção Agrícola Municipal
PC	Pegada de Carbono
PH	Pegada Hídrica
REPA	Resource and Environmental Profile Analysis
SETAC	Sociedade de Toxicologia Ambiental e Química
SQBC	Sustainability Quick Check for Biofuels
UHE	Unidade Hidrográfica Estadual
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WRI	World Resource Institute

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	19
2	OBJETIVOS.....	21
2.1	Geral.....	21
2.2	Específicos.....	21
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
3.1	Avaliação do ciclo de vida (ACV).....	22
3.1.1	<i>Breve histórico sobre ACV.....</i>	<i>22</i>
3.1.2	<i>Etapas de um estudo de ACV.....</i>	<i>23</i>
3.1.2.1	<i>Definição de objetivos e escopo.....</i>	<i>24</i>
3.1.2.2	<i>Análise de inventário.....</i>	<i>25</i>
3.1.2.3	<i>Avaliação de impactos.....</i>	<i>25</i>
3.1.2.4	<i>Interpretação dos resultados.....</i>	<i>26</i>
3.2	Agricultura: os problemas ambientais e suas causas.....	27
3.3	Pegada de carbono.....	28
3.3.1	<i>Mudanças climáticas.....</i>	<i>29</i>
3.3.2	<i>Estudos de pegada de carbono de produtos agrícolas.....</i>	<i>30</i>
3.4	Pegada hídrica.....	32
3.4.1	<i>Escassez hídrica.....</i>	<i>34</i>
3.4.2	<i>Eutrofização.....</i>	<i>36</i>
3.4.3	<i>Ecotoxicidade e toxicidade humana.....</i>	<i>37</i>
3.4.4	<i>Estudos de pegada hídrica de produtos agrícolas.....</i>	<i>37</i>
3.5	A cultura do coco no Brasil e no Mundo.....	39
3.5.1	<i>Importância da cultura do coco no Nordeste do Brasil.....</i>	<i>40</i>
3.5.2	<i>Caracterização das variedades de coqueiro.....</i>	<i>40</i>
3.5.3	<i>Implantação e manejo da produção de coco verde anão.....</i>	<i>42</i>
3.5.4	<i>Doenças e pragas que afetam os coqueirais no Nordeste.....</i>	<i>44</i>
4	METODOLOGIA.....	45
4.1	Delimitação e caracterização da área de estudo.....	45
4.2	Definição do escopo.....	50
4.3	Análise do inventário.....	51
4.3.1	<i>Coleta de dados.....</i>	<i>51</i>

4.3.2	<i>Estimativa das emissões.....</i>	53
4.3.3	<i>Demanda hídrica do coqueiro.....</i>	54
4.3.4	<i>Cálculo do transporte.....</i>	55
4.4	<i>Avaliação dos impactos ambientais.....</i>	56
4.5	<i>Análise de incerteza.....</i>	56
4.5	<i>Análise de cenário.....</i>	57
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
5.1	Inventários da produção de coco verde no Ceará.....	60
5.1.1	<i>Análise da demanda hídrica do coqueiro no Ceará.....</i>	62
5.2	Inventários da produção de coco verde por Estado.....	65
5.2.1	<i>Análise da demanda hídrica do coqueiro em AL, BA e SE.....</i>	65
5.3	Pegada de carbono.....	70
5.4	Pegada hídrica.....	73
5.4.1	<i>Escassez hídrica.....</i>	74
5.4.2	<i>Eutrofização em águas doces e marinha.....</i>	79
5.4.3	<i>Ecotoxicidade em águas doces, toxicidade humana, câncer e não-câncer.....</i>	81
5.5	Análises de incerteza.....	84
5.6	Análises de cenário.....	86
5.6.1	<i>Cenários da pegada de carbono.....</i>	86
5.6.2	<i>Cenários da pegada hídrica – escassez hídrica.....</i>	87
5.6.3	<i>Cenários da pegada hídrica – demais categorias de impacto.....</i>	88
6	CONCLUSÃO.....	91
	REFERÊNCIAS.....	92
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO.....	100
	APÊNDICE B – INVENTÁRIOS DAS FAZENDAS (30 ANOS).....	102
	APÊNDICE C – PERFIL DA PEGADA HÍDRICA.....	104
	ANEXO A – DOENÇAS QUE AFETAM OS COQUEIROS.....	105
	ANEXO B – PRAGAS QUE AFETAM OS COQUEIROS.....	106
	ANEXO C – EQUAÇÕES PARA ESTIMAR AS EMISSÕES.....	107
	ANEXO D – FATORES DE CARACTERIZAÇÃO DO AWARE.....	118
	ANEXO E – ESTOQUES DE CARBONO EM BIOMASSA.....	121
	ANEXO F – FATORES DE CARACTERIZAÇÃO REGIONAIS.....	122

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, devido as suas condições climáticas diversificadas, extensão territorial e posição geográfica, possui um alto potencial para a fruticultura. Em 2017, a produção total de frutas foi estimada em 43,5 milhões de toneladas de acordo com a Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados (Abrafrutas). Esse total equivale às vinte e duas frutíferas comercializadas no Brasil, e dessas apenas seis produziram mais no último ano, entre elas o coco, com um aumento de 1,5% (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA, 2018).

O coco (*Cocos nucifera*, L) é cultivado em diversos países, se fazendo presente nos cinco continentes, totalizando 12.168.803 hectares colhidos e 59.010.635 toneladas de coco produzidos mundialmente em 2016, com destaque para a Ásia responsável por 83% do total produzido (FAO, 2017).

A produção brasileira de coco em 2017 foi de 1.561.961 toneladas, sendo a região Nordeste responsável por 74% do total, ou seja, a produção de 1.155.783 toneladas de coco. O Estado da Bahia contribuiu com 30,4% da produção nordestina, seguido pelos Estados de Sergipe, Ceará e Alagoas que contribuíram com 20,3%, 16,2% e 8,8% da produção, respectivamente (PAM, 2017).

Nos últimos anos a produção desse fruto tem sido vista como uma atividade econômica com grande potencial de crescimento, fato comprovado com o aumento das áreas cultivadas pelo País e o modelo produtivo do agronegócio implantado (CAVALCANTE, 2015). Isso está relacionado com a diversidade no uso do fruto, que pode ser comercializado *in natura*, ou processado, com a venda de água de coco *in natura*, coco ralado e óleo de coco (MARTINS; JESUS JÚNIOR, 2013).

Em 2016, a exportação de cocos movimentou cerca de \$153 milhões para o Brasil (OEC, 2018). Já no período de janeiro a setembro de 2018 a região Nordeste exportou 25.265.975 litros de água de coco *in natura*, tendo o Ceará contribuído com 91,7% desse valor, ou seja, 23.161.752 litros de água de coco *in natura* (MDIC, 2018).

Sabe-se, que a agricultura é responsável por inúmeros impactos ao meio ambiente, em decorrência do uso de grandes quantidades de fertilizantes e defensivos agrícolas, práticas de irrigação inadequadas, mecanização de atividades agrícolas que agredem o solo, consumo de energia e geração de resíduos. A atividade agrícola pode acarretar problemas de erosão, salinização, compactação e perda da fertilidade do solo, contaminação e eutrofização dos corpos

hídricos, redução da biodiversidade e da disponibilidade hídrica, toxicidade, desertificação e alterações climáticas, entre outros (MILLER; SPOOLMAN, 2012).

Com o crescimento da preocupação com as questões ambientais nos últimos anos e sendo o coqueiro uma planta tropical, de grande importância econômica para o Nordeste do Brasil, faz-se importante avaliar os possíveis impactos ambientais dos produtos oriundos dessa cultura, como primeiro passo para identificação de oportunidades de melhoria do seu desempenho.

Essa avaliação pode ser realizada por meio do estudo das pegada de carbono e hídrica, que abrangem categorias de impacto de interesse local e mundial, como escassez hídrica e mudanças climáticas. Além disso, quando o estudo de pegada segue as normas estabelecidas pela Organização Internacional de Normatização (International Standard Organization – ISO), podem ser utilizados como base em programa de certificação ambiental. A norma ISO 14067, de 2013, detalha o procedimento para realização de estudo da pegada de carbono, enquanto a norma ISO 14046, de 2014, informa o passo-a-passo para condução de estudo de pegada hídrica. Essas normas tem como base a avaliação do ciclo de vida e possibilitam identificar os principais impactos de um processo produtivo e definir alternativas para a redução dessas pegadas ambientais.

Nesse contexto, esse trabalho tem o objetivo de avaliar e comparar as pegadas de carbono e hídrica do coco verde produzido nos principais Estados produtores do Nordeste: Alagoas, Bahia, Ceará e Sergipe. A finalidade dessa avaliação é identificar pontos críticos e investigar alternativas de produção no cultivo do coqueiro que resultem na diminuição de suas pegadas ambientais.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

- Avaliar comparativamente as pegadas de carbono e hídrica do coco verde produzido nos principais Estados produtores do Nordeste.

2.2 Específicos

- Inventariar os insumos e as emissões relacionadas à produção de coco, considerando o sistema convencional de produção praticado em Alagoas, Bahia, Ceará e Sergipe;
- Identificar as etapas de produção que mais contribuem para os impactos ambientais nas fazendas estudadas;
- Investigar alternativas para o cultivo do coqueiro com a finalidade de diminuir as pegadas ambientais.

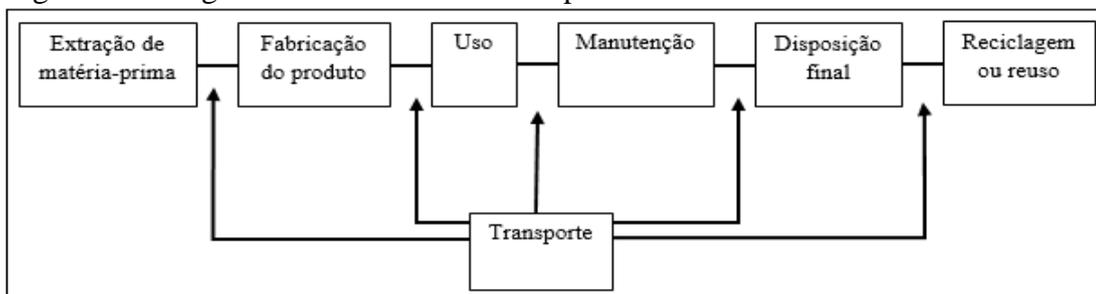
3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Avaliação do ciclo de vida (ACV)

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é um método que identifica e avalia os impactos ambientais de um produto a partir da extração de matéria-prima até a sua disposição final (SETAC, 1993). Onde o termo “produto” pode se referir também a um processo, bem ou serviço. Inúmeras empresas vêm incorporando esse método no decorrer dos seus processos produtivos, com a intenção de diminuir os custos operacionais e melhorar a qualidade do produto final.

Estudos de ACV usualmente buscam identificar pontos críticos e apontar oportunidades de melhorias, fornecer informação para o público e alavancar a sustentabilidade das empresas e instituições que a utilizam, contribuindo na identificação das melhores soluções que combinam aspectos econômicos, sociais e ambientais. As aplicações com a metodologia ACV são numerosas, incluindo o desenvolvimento e melhoria de produtos, planejamento estratégico, marketing e elaboração de políticas ambientais (CHEHEBE, 1997). Os principais estágios do ciclo de vida de um produto são apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Estágios do ciclo de vida de um produto



Fonte: elaborada pela autora.

Em um estudo ACV todas as extrações de recursos e emissões para o ambiente são determinadas de forma quantitativa. Com base nestes dados, os potenciais impactos nos recursos naturais, no ambiente e na saúde humana são avaliados (ANDRADE *et al.*, 2005).

3.1.1 Breve histórico sobre ACV

O primeiro estudo envolvendo ACV ocorreu no final dos anos 60. Foi realizado pela *Midwest Research Institute* (MRI), contratada pela Coca Cola para comparar os diferentes tipos de embalagens de refrigerante e verificar qual delas era mais adequada do ponto de vista ambiental e de melhor desempenho com relação à preservação dos recursos naturais. A partir

desse processo de quantificação da utilização dos recursos naturais e de emissões utilizado pela Coca Cola, foi desenvolvido um modelo que passou a ser conhecido como análise do perfil ambiental e de recursos (*Resource and Environmental Profile Analysis - REPA*), que foi aprimorado e marca o surgimento da ACV (CHEHEBE, 1997).

Em seguida, diferentes países, de forma independente, deram início ao desenvolvimento de metodologias ACV, entre eles Estados Unidos, Inglaterra e Suécia, que hoje possuem os bancos de dados mais completos. Essas metodologias foram organizadas em diretrizes e manuais, no entanto observou-se que elas possuíam diferenças entre si, com relação ao que devia ser considerado ou não em cada estudo, o que dificultou a comparação de estudos entre si. Por esse motivo, constatou-se a necessidade de padronizar os termos e as diretrizes da ACV. O primeiro órgão a manifestar sua preocupação com essa padronização foi a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) (BAUMANN; TILLMAN, 2004).

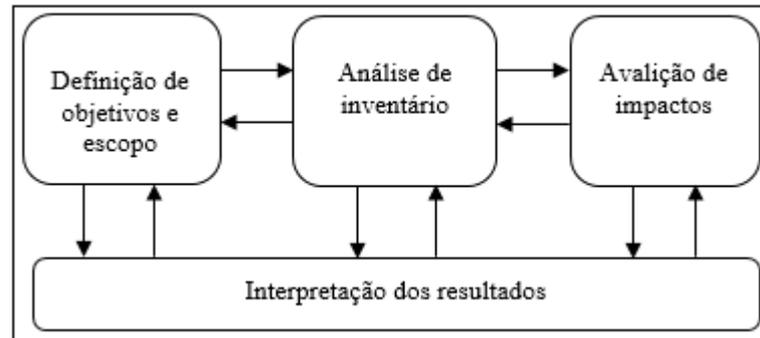
Assim, a *International Organization for Standardization* (ISO) deu início ao processo de elaboração das normas sobre ACV, e em setembro de 1997 publicou a primeira norma de princípios gerais e procedimentos em ACV, a ISO 14040 – ACV: princípios e enquadramento (CHEHEBE, 1997). Em seguida, foram publicadas mais três normas que especificavam aspectos da ACV: i) ISO 14041 – ACV: definição do objetivo, escopo e análise de inventário (2001); ii) ISO 14042 – ACV: avaliação de impacto do ciclo de vida (2004) e, iii) ISO 14043 - ACV: interpretação do ciclo de vida (2005).

Em 2006, essas normas foram reorganizadas em apenas duas normas, que no Brasil foram publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo a ISO 14040 – Gestão Ambiental - ACV: princípios e estrutura e ISO 14044 – Gestão Ambiental - ACV: requisitos e orientações. Em 2009, a ISO 14040 e 14044 tiveram a sua segunda edição publicada.

3.1.2 Etapas de um estudo de ACV

O processo ACV é sistêmico, uma vez que considera os processos relacionados à extração dos recursos naturais, processamento, uso e descarte final de um produto. Estudos ACV são realizados seguindo quatro etapas estabelecidas na norma ISO 14040 (Figura 2): i) definição de objetivos e escopo; ii) construção do inventário; iii) avaliação de impactos; e iv) a interpretação dos resultados (ISO 14040, 2006a).

Figura 2 – Etapas de uma ACV de acordo com a norma ISO 14040



Fonte: adaptado da ISO 14040 (2006a).

Quando o objetivo de um estudo ACV é obtido mediante a construção do inventário e a sua interpretação, excluindo-se a etapa de avaliação de impactos, esse processo é denominado como estudo de inventário do ciclo de vida ou ICV (ISO 14040, 2006a).

3.1.2.1 Definição de objetivos e escopo

Nessa primeira etapa, os objetivos e escopo do produto, processo ou atividade são descritos. A definição do objetivo do estudo estabelece a aplicação pretendida, o motivo da sua execução, a parte interessada e o destino dos resultados. Já o escopo visa identificar os limites, a profundidade e o detalhamento do estudo (ISO 14040, 2006a).

A elaboração do escopo inclui a definição da função do produto, a unidade funcional e os fluxos de referência. A função de um produto diz respeito ao motivo pelo qual se adquire e usa um determinado produto. A unidade funcional quantifica a função de um produto ou serviço. Já o fluxo de referência é a quantidade necessária de um produto para atender a unidade funcional estabelecida. Todos os consumos e emissões são mensurados em relação ao fluxo de referência estabelecido (BAUMANN; TILLMAN, 2004).

A construção de um escopo bem definido também inclui a delimitação da fronteira do sistema, quando se identifica quais processos são fundamentais para o sistema de produto; a escolha das categorias de impacto a serem analisadas, que permitem associar os resultados da avaliação do inventário aos possíveis impactos ambientais; além da metodologia a ser utilizada para a avaliação dos impactos finais, quais dados são relevantes para o estudo e a qualidade dos mesmos (ISO 14040, 2006a).

3.1.2.2 *Análise de inventário*

O inventário de um sistema de produto apresenta um conjunto de entradas ou insumos utilizados, as saídas na forma de produto/coproduto e as emissões destinadas ao meio ambiente, considerando todos os processos unitários que integram a fronteira do sistema em estudo. Exemplos de entradas da natureza são água, energia solar, carbono absorvido pelas plantas e minérios. Exemplos de emissões são os gases de efeito estufa e nutrientes presentes em efluentes e que possuem capacidade de alterar a qualidade dos ecossistemas ou afetar a saúde humana (UGAYA, 2013).

A quantificação dessas entradas e saídas requer a coleta de dados primários e secundários, o uso de modelos para estimação de emissões e a análise laboratorial de efluentes. Após a coleta de dados, iniciam-se os cálculos, validando-se os dados coletados; em seguida correlacionando os valores a cada processo unitário do sistema de produto e por fim, os relacionando ao fluxo de referência e a unidade funcional estabelecidos na etapa anterior para que seja gerado um inventário final do sistema definido (ISO 14040, 2006a).

Algumas vezes, vários produtos diferentes resultam de um mesmo processo. Quando isso ocorre é feita uma distribuição da carga ambiental desse processo entre os produtos. Essa distribuição é chamada alocação de fluxos (GNANSOUNAU, 2009).

A alocação pode ser feita adotando-se os seguintes critérios (CHEHEBE, 1997): (1) percentual mássico, a relação do quanto foi gerado de cada produto relacionado à quantidade total de produtos gerados; (2) valor econômico, considerando o percentual da receita relativa a um produto; e (3) poder calorífico, pela capacidade de combustão de cada produto. A escolha de um critério afeta os resultados da avaliação, tornando-se importante considerar sempre que possível mais de um critério de alocação e analisar o comportamento dos resultados.

3.1.2.3 *Avaliação de impactos*

Essa etapa representa um processo quantitativo de entendimento e avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais. A avaliação de impactos é dividida em fases e conta em sua estrutura com elementos obrigatórios e opcionais. As fases obrigatórias são as de identificação das categorias de impacto, classificação e caracterização. As fases de normalização, ponderação e análise da qualidade de dados são opcionais (ISO 14040, 2006a).

A primeira fase da avaliação de impacto é a seleção e definição das categorias de impacto relacionadas com o objetivo e o escopo do estudo. Em seguida realiza-se a classificação em que as substâncias inventariadas são relacionadas às categorias que podem causar efeito ou impacto ambiental (ISO 14044, 2006e).

Na etapa de caracterização, substâncias classificadas para cada categoria de impacto são ponderadas por fatores que expressam a relevância da substância em relação ao impacto e a uma substância de referência. Os fatores de caracterização são obtidos com a aplicação de modelos que analisam a cadeia de causa e efeito ambiental relacionada a cada categoria de impacto. Esses modelos utilizam um indicador de impacto que avalia o potencial de cada substância em gerar um potencial impacto (UGAYA, 2013).

Diversos métodos de caracterização estão disponíveis, cada um utilizando um modelo de causa e efeito ambiental. Esses modelos podem representar apenas o transporte das substâncias e a acumulação no meio ambiente, sendo denominados métodos intermediários (*midpoint*). Podem ainda considerar também os efeitos ou danos causados pela acumulação de substâncias na saúde humana, qualidade dos ecossistemas e depleção dos recursos naturais, sendo então denominados métodos finais (*endpoint*) (UGAYA, 2013).

Ao final da etapa de caracterização obtêm-se o perfil ambiental, de um produto, que pode ser normalizado de acordo com um valor limite de poluição para uma região ou pessoa humana. Com a normalização, todos os resultados são expressos em uma unidade única de medida possibilitando a agregação dos resultados em um valor único (GIANNETTI; ALMEIDA, 2006).

Para a agregação dos resultados de cada categoria de impacto realiza-se a ponderação, que é a atribuição de pesos a cada categoria. Esses pesos denotam a relevância de cada categoria, de acordo com o julgamento de valor realizado por quem conduz o estudo (ISO 14044, 2006e).

3.1.2.4 Interpretação dos resultados

Consiste na identificação e análise dos resultados obtidos nas etapas de construção do inventário e avaliação de impacto de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos para o estudo. Esses resultados permitem selecionar o produto, processo ou serviço de menor impacto, considerando as incertezas e suposições utilizadas no estudo. Ao final dessa etapa, tem-se um conjunto de conclusões e recomendações para os tomadores de decisão (UGAYA, 2013).

A etapa de interpretação dos dados é dividida em três fases: i) identificar as questões ambientais relevantes com base nos resultados obtidos na análise do inventário, ii) avaliar a integridade, sensibilidade e a consistência do estudo, e iii) fornecer conclusões, as limitações do estudo e possíveis recomendações (ISO 14044, 2006e).

Na fase de identificação das questões ambientais significativas busca-se estruturar os resultados das etapas de inventário e avaliação de impactos, a fim de determinar os problemas significativos e incluir as implicações dos métodos utilizados. Alguns exemplos de problemas significativos são: os dados coletados para formação do inventário, as categorias de impacto selecionadas na definição do objetivo e escopo, como mudanças climáticas e escassez de recursos naturais; e a contribuição de processos unitários no sistema (ISO 14044, 2006e).

Na fase de avaliação se pretende estabelecer e aumentar a confiabilidade nos resultados do estudo, que devem ser apresentados de forma clara e compreensível para a parte interessada. A verificação da integridade garante que todos os dados e informações coletadas sobre o sistema de produto são necessárias e estão completas, possibilitando assim a obtenção de uma interpretação correta dos resultados da ACV. A verificação de sensibilidade analisa a confiabilidade dos resultados finais e conclusões do estudo, com base na análise de incerteza dos dados coletados, dos métodos de alocação, cálculos das categorias de impactos, etc. Por fim, a verificação de consistência, que determina se as suposições, métodos aplicados e dados coletados são consistentes com o descrito nos objetivo e escopo da ACV (ISO 14044, 2006e).

Ao final desta etapa apresentam-se as limitações e conclusões finais do estudo ACV, no qual as recomendações devem se basear e se relacionar com as aplicações pretendidas inicialmente (ISO 14044, 2006e).

3.2 Agricultura: os problemas ambientais e suas causas

A agricultura é uma atividade que objetiva a produção de alimentos, prioritariamente para o ser humano e possui uma grande importância social e econômica. No entanto, dependendo do manejo praticado em um processo de cultivo e a forma como a terra é explorada, essa atividade pode ocasionar inúmeros problemas ambientais.

De acordo com o relatório do IPCC de 2007, as atividades agrícolas e a mudança no uso do solo são os principais responsáveis pelas emissões de gases do efeito estufa, representando 14% e 17% do total das emissões. O aumento da concentração desses gases na atmosfera influencia diretamente no aquecimento da superfície terrestre, e com a intensificação nos últimos anos, a longo prazo pode alterar o clima padrão em diversas regiões do globo (IPCC, 2007).

Um novo cultivo se inicia com a mudança no uso do solo, quando um determinado local é transformado em uma nova área de produção, através do desmatamento do terreno. Um exemplo é a transformação de uma floresta para um cultivo agrícola, sendo esse considerado o pior cenário. Devido a essa mudança ocorre a diminuição e a queima de biomassa, além da

emissão de gases do efeito estufa por causa da alteração nos teores de carbono e nitrogênio presentes no solo (IPCC, 2007).

As atividades agrícolas também contribuem para a diminuição da biodiversidade, através do desmatamento da área, da aplicação de defensivos agrícolas que podem atingir áreas vizinhas além de onde se encontra o cultivo, e com a predominância da monocultura, que empobrece o solo, diminuindo assim sua produtividade com o tempo (MILLER; SPOOLMAN, 2012).

O manejo inadequado e a mecanização podem provocar a erosão e compactação solo, diminuindo sua permeabilidade, e também o assoreamento de rios. O maquinário agrícola, por sua vez, utiliza combustíveis fósseis, e a sua queima contribui para a emissão de gases de efeito estufa (GEE) (MILLER; SPOOLMAN, 2012).

Os fertilizantes utilizados no plantio também podem impactar o meio ambiente de diversas formas, quando em excesso. Por exemplo, os excessos de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, carreados por lixiviação ou escoamento superficial, podem causar a eutrofização de corpos hídricos, afetando a qualidade da água. Fertilizantes nitrogenados são também responsáveis pela emissão de GEE. A produção de fertilizantes e defensivos agrícolas podem provocar a emissão de metais pesados, e assim contribuir com o aumento da toxicidade do solo e da água (BAUMANN; TILLMAN, 2004).

A agricultura é também uma das atividades que mais consomem água doce no mundo, por meio da irrigação. O uso desse recurso em excesso pode acarretar em escassez hídrica, principalmente em regiões onde já existe uma baixa oferta de água (FAO, 2018).

Por fim, todos esses problemas causados pela agricultura, podem contribuir diretamente com as alterações climáticas, e alguns deles influenciam diretamente outros, como por exemplo, a mudança no clima pode modificar o ciclo hidrológico e assim alterar os padrões de precipitação, que por sua vez afetará a quantidade de água disponível.

3.3 Pegada de carbono

De acordo com Pandey *et al.* (2011), a pegada de carbono se refere ao volume de gases de efeito estufa (GEE) emitidos em razão da fabricação, uso e disposição final de um produto. Em 2013, sua metodologia foi padronizada devido à publicação da ISO 14067 – Pegada de carbono de produtos: Requisitos e diretrizes para quantificação e comunicação, que foi criada baseada nas normas ISO 14040 e 14044 relacionadas a avaliação do ciclo de vida.

O objetivo da ISO 14067 é detalhar princípios, requisitos e diretrizes para a quantificação e comunicação da pegada de carbono de produtos, bens e serviços, baseado nas

emissões e remoções de gases de efeito estufa durante o ciclo de vida do processo estudado (ISO 14067, 2013).

Segundo a ISO 14067, o termo “pegada de carbono” pode ser definido como a soma das emissões dos gases de efeito estufa e suas absorções em um sistema de produção, baseado no ciclo de vida, considerando a categoria de impacto mudanças climáticas e com seu resultado expresso em CO₂-equivalente (ISO 14067, 2013).

Existem vários protocolos que buscam estimar as emissões de GEE, como o PAS 2050 (BSI, 2012) e *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard* (WRI; WBCSD 2011). Esses protocolos recomendam a utilização da metodologia elaborada pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) para a quantificação da pegada de carbono, considerando as emissões em todo o ciclo de vida do produto, bem ou serviço avaliado.

O relatório do estudo da pegada de carbono deve conter os resultados quantificados e orientar a forma como os mesmos devem ser interpretados e comunicados. O formato padrão, proposto pela ISO 14067, inclui a unidade funcional, o limite do sistema, os procedimentos de avaliação, os pressupostos do estudo, os resultados da avaliação do ciclo de vida, além das emissões de GEE e remoções específicas associadas à mudança do uso da terra, e também a contribuição relativa e absoluta de cada processo do sistema e uma análise de sensibilidade das emissões de GEE e remoções específicas (ISO 14067, 2013).

3.3.1 Mudanças climáticas

A categoria mudanças climáticas se refere à ocorrência de aquecimento global decorrente das emissões de gases de efeito estufa. O aquecimento do planeta afeta diretamente a saúde humana e ambiental podendo causar problemas como o aumento da temperatura, secas ou condições meteorológicas extremas. Essas alterações ambientais podem por sua vez, acarretar mudanças nos biomas, incêndios florestais ou mesmo reduzir a biodiversidade. Podem também afetar os seres humanos causando estresse pelo calor, a proliferação de doenças infecciosas ou subnutrição (BAUMANN; TILLMAN, 2004).

As principais substâncias causadoras desses problemas são os gases de efeito estufa, que absorvem e emitem radiação em comprimentos de onda específicos dentro do espectro da radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra (ISO 14067, 2013). Os principais GEE são: o dióxido de carbono (CO₂); metano (CH₄); óxido nitroso (N₂O); os clorofluorcarbonetos (CFCs) que também são prejudiciais a camada de ozônio; e os hidrofluorcarbonetos (HFCs). Esses gases são responsáveis pelo aquecimento da atmosfera, contribuindo assim para a

determinação das temperaturas médias e dos diversos climas existentes (MILLER; SPOOLMAN, 2012).

O indicador ambiental comumente utilizado na avaliação dessa categoria de impacto é o potencial de aquecimento global (PAG), ou seja, o forçamento radioativo que expressa, a capacidade de uma substância absorver radiação infravermelha, considerando a concentração e o tempo de residência da substância na atmosfera. O PAG de cada GEE (Tabela 1) foi estabelecido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC) (IPCC, 2007), considerando os tempos de presença desses gases na atmosfera de 20, 100 e 500 anos. O resultado da avaliação é expresso em termos de kg de CO₂-equivalente, que é a unidade de comparação do forçamento radioativo de um GEE com o dióxido de carbono (ISO 14067, 2013).

Tabela 1 – PAG para horizontes de tempo diferentes: 20, 100 e 500 anos

Nome do composto	Fórmula	PAG 20 anos	PAG 100 anos	PAG 500 anos
		kg/kg CO ₂ - eq		
Dióxido de carbono	CO ₂	1	1	1
Metano	CH ₄	56	21	6,5
Óxido nitroso	N ₂ O	280	310	170
Trifluoreto de nitrogênio	NF ₃	12.300	17.200	20.700
Tetracloro de carbono	CCl ₄	2.000	1.400	500
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	16.300	23.900	34.900
Brometo de metilo	CH ₃ Br	17	5	1
Clorofórmio metílico	CH ₃ CCl ₃	506	146	45
Cloreto de metileno	CH ₂ Cl ₂	31	8,7	2,7
Cloreto de metila	CH ₃ Cl	45	13	4

Fonte: adaptado de IPCC (2007).

3.3.2 Estudos de pegada de carbono de produtos agrícolas

O estudo da pegada de carbono na agricultura, objetiva quantificar as emissões de gases do efeito estufa nas atividades agrícolas de uma determinada cultura, a fim de identificar as principais opções que possam mitigar essas emissões e diminuir o impacto causado pelo processo produtivo.

Mordini *et al.* (2009) publicaram um estudo comparando a pegada de carbono da laranja produzida no Brasil, Espanha e Itália e a pegada de carbono do morango produzido no Japão, Espanha e Reino Unido. Considerando a produção de 1 kg de laranja, os resultados obtidos foram: a emissão de 0,09 kg CO₂-eq/kg laranja no Brasil, 0,25 kg CO₂-eq/kg laranja na Espanha e 0,10 kg CO₂-eq/kg laranja na Itália. As emissões na Espanha se mostraram maiores do que no Brasil e na Itália, e os processos identificados como mais impactantes foram a

produção e aplicação de fertilizantes, o maquinário e o sistema de irrigação, que fazem uso do diesel como fonte de energia, um dos principais promotores da emissão de GEE.

Considerando a produção de 1 kg de morango, os resultados obtidos foram: a emissão de 0,47 kg CO_{2-eq}/kg morango na Espanha, 0,54 kg CO_{2-eq}/kg morango no Reino Unido e 3,99 kg CO_{2-eq}/kg morango no Japão. As emissões do Japão se mostraram muito maiores do que as da Espanha e Reino Unido, e os processos identificados como os mais impactantes foram a produção, transporte e eliminação dos resíduos gerados, os defensivos utilizados e o sistema de produção no geral, por exemplo, no Japão se utiliza muitas estufas de alta tecnologia devido as condições climáticas locais (MORDINI *et al.*, 2009).

Page *et al.* (2012) avaliaram a pegada de carbono do tomate fresco comercializado no mercado de Sidney, na Austrália. Considerando a produção de 1 kg de tomate fresco, foi observado que as emissões variavam de acordo com as estações do ano e o sistema de produção empregado, assim o resultado obtido varia de 0,39 a 1,97 kg CO_{2-eq}/kg tomate fresco. Os processos identificados como de maior impacto na produção foram o transporte do tomate até o mercado e as estufas de aquecimento artificial de média e alta tecnologia utilizadas para a conservação dos frutos.

Foi realizado também um estudo da pegada de carbono do melão amarelo produzido na região do Baixo Jaguaribe e Açu, nos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte respectivamente. Figueirêdo *et al.* (2013) calcularam a pegada de carbono do melão em 710 kg CO_{2-eq}/t melão exportado. No entanto, devido a variações no tipo de solo e vegetação de caatinga que existem nas regiões do estudo, esse valor pode variar de 539 a 669 kg CO_{2-eq}/t melão exportado. É afirmado no trabalho a possibilidade de reduzir em até 44% o valor total das emissões, ao se reduzir a adubação nitrogenada, a partir do uso de campos já utilizados pela agricultura, assim eliminando o fator mudança no uso da terra e com a diminuição do uso de plásticos na produção em campo.

Na China, Xu *et al.* (2013) avaliaram a produção de arroz em cinco províncias diferentes. Os resultados obtidos foram a emissão de 2.404,2 kg CO_{2-eq}/t de arroz na província de Guangdong, 2.326,47 kg CO_{2-eq}/t de arroz na província de Hunan, 1.889,97 kg CO_{2-eq}/t de arroz na província de Heilongjiang, 1.538,90 kg CO_{2-eq}/t de arroz na província de Sichuan e 1.344,92 kg CO_{2-eq}/t de arroz na província de Jiangsu. Para os autores, a redução das emissões de GEE pode ser obtida a partir da diminuição no uso de uréia e a utilização de um sistema de irrigação intermitente e mais eficaz.

Em um estudo similar, Yan *et al.* (2015) calcularam a pegada de carbono de três culturas de grãos produzidos no Leste da China: arroz, milho e trigo. A quantificação foi feita

em função da área agrícola cultivada e do rendimento dos grãos. O resultado obtido em razão da área agrícola foi: $6,0 \pm 0,1$, $2,3 \pm 0,1$ e $3,0 \pm 0,2$ t CO_{2-eq}/ha produzido de arroz, milho e trigo, respectivamente. Já o resultado obtido em razão do rendimento dos grãos foi: $0,80 \pm 0,02$, $0,33 \pm 0,02$ e $0,66 \pm 0,03$ t CO_{2-eq}/t de grãos de arroz, milho e trigo, respectivamente. Nos dois cenários, o arroz apresentou a maior pegada de carbono, devido à quantidade de metano emitida pelo seu processo produtivo. Para os autores a pegada de carbono dessas culturas pode ser reduzida a partir da diminuição no uso de fertilizantes nitrogenados.

Roibás *et al.* (2016) quantificaram a pegada de carbono da banana produzida no Equador. O resultado obtido foi o de 1,25 t CO_{2-eq}/t de banana em média e os processos mais impactantes foram à plantação (22,1%), o consumo (19,2%) e o transporte marítimo (18,7%). Ao classificar as fazendas inventariadas de acordo com o sistema de produção praticado, foi observada uma diferença significativa entre elas, pois o sistema convencional apresentou a emissão de 0,31 t CO_{2-eq}/t de banana, enquanto o orgânico apresentou 0,25 t CO_{2-eq}/t de banana. Essa diferença foi observada devido a maior quantidade de fertilizantes inorgânicos usados nas fazendas convencionais.

Dias *et al.* (2016) calcularam a pegada de carbono da manga, variedade Tommy Atkins, cultivada na região do Baixo Acaraú, no Ceará. Os resultados indicaram que uma mangueira emite em média 800,94 kg CO_{2-eq}/planta, num período de 20 anos. A fase de produção em campo é responsável por 86% (688,91 kg CO_{2-eq}/planta) do impacto total causado, devido ao uso e a produção de fertilizantes, seguido pelas fases de plantio (25,93 kg CO_{2-eq}/planta) e crescimento da planta (86,09 kg CO_{2-eq} / planta).

Por fim, analisando-se a conclusão de todos esses estudos, observa-se que a produção e o uso de fertilizantes, em particular os nitrogenados, é um dos fatores que mais contribuem para as emissões quantificadas nos cálculos da pegada de carbono em sistemas de cultivo agrícola. Outro fator observado é que dependendo do clima da região, uma determinada cultura não pode ser cultivada em campo aberto, ficando assim dependente do uso de estufas, acarretando maior gasto energético para a sua produção, é o caso do morango no Japão e do tomate fresco na Austrália.

3.4 Pegada hídrica

A água é um recurso natural valioso e essencial para a humanidade, por isso a sua gestão se tornou um dos temas principais quando se debate o desenvolvimento sustentável. As diversas atividades humanas são responsáveis pelo grande consumo e poluição desse recurso,

em maior parte devido à produção agrícola, responsável pela retirada de até 70% do volume de água doce no mundo, seguida pelos setores doméstico e industrial (FAO, 2018).

De acordo com a *Food and Agriculture Organization* (FAO), em 2050, 2/3 da população mundial conviverá com a escassez de água. Do ponto de vista global, a escassez hídrica já afeta 40% da população, que continua se expandindo e assim, aumenta a demanda por alimentos, acarretando no aumento do consumo de água para produção agrícola e alimentar.

Dessa forma, com a crescente demanda por água nos diversos setores e oferta limitada desse recurso, se fez necessário o desenvolvimento de ferramentas e tecnologias que proporcionem o uso mais eficiente e racional, além de uma melhor alocação na sua distribuição. Assim, surgiu em 2002, o conceito de pegada hídrica (PH), como o estudo da relação entre os padrões de consumo e os impactos na água. Assim, conhecendo o volume de água necessário para a produção de vários produtos, bens ou serviços seria possível saber qual processo impactaria mais no ciclo da água e desse modo poderia se buscar soluções com vista a reduzir tal impacto (HOEKSTRA; HUNG, 2002).

Segundo Hoekstra *et al.* (2011) a pegada hídrica é um indicador do uso da água que considera o uso direto e indireto de um consumidor ou produto, apresentando os volumes de consumo de água, poluição por fonte e suas componentes especificadas temporal e geograficamente; podendo ser dividida em três partes:

- Água azul – é o consumo de água superficial e subterrânea no decorrer da cadeia produtiva de um produto;
- Água verde – é o consumo de água da chuva, sem que essa escoe;
- Água cinza – é o volume de água necessário para absorver uma determinada carga de poluentes, baseado em um padrão de qualidade já existente.

Como o objetivo da quantificação da pegada hídrica pode ter diversos propósitos e aplicações, surgiram diferentes metodologias com o passar dos anos, com a mesma finalidade de melhorar o gerenciamento da água, no entanto com abordagens distintas, o que levou a resultados também distintos (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004). Desse modo, foi desenvolvido por especialistas do mundo todo a ISO 14046, uma metodologia baseada na avaliação do ciclo de vida, onde foram incluídos não somente os impactos relativos as emissões para a água, mas também as emissões para o ar e o solo, além de considerar não somente o consumo da água, mas toda a sua participação no ciclo de vida de determinado produto, bem ou serviço (ISO 14046, 2014).

De acordo com a ISO 14046 (ISO 14046, 2014) o termo “pegada hídrica” define a quantificação dos impactos ambientais potenciais relacionados à água e o termo “avaliação da

pegada hídrica” define a compilação e análise das entradas, saídas e impactos ambientais no sistema estudado, no qual além de contabilizar o volume de água, também se escolhem categorias de impactos pertinentes ao uso e a degradação desse recurso, como por exemplo: depleção hídrica, eutrofização e toxicidade. Obtendo-se assim um perfil da pegada hídrica relacionada à cadeia de causa e efeito do uso da água, que devido às mudanças constantes pode resultar em danos à saúde humana e a biodiversidade (KOUNINA *et al.*, 2013). O estudo da pegada hídrica pode considerar somente uma categoria de impacto, nesse caso, tem-se a pegada de escassez hídrica ou pegada de eutrofização, que é quantificada de acordo com a unidade de medida específica da categoria escolhida.

O estudo de pegada hídrica está dividido em quatro etapas, similares a um estudo de ACV (ISO 14046, 2014): i) definição de objetivos e escopo, ii) análise do inventário de pegada hídrica, iii) análise dos impactos de pegada hídrica, e a iv) interpretação dos resultados. Quando o estudo não apresenta a análise de impactos, o mesmo é chamado de estudo do inventário de pegada hídrica. A relação existente entre as etapas é mostrada na Figura 3 abaixo:

Figura 3 – Etapas de um estudo de pegada hídrica de acordo com a norma ISO 14046



Fonte: adaptado da ISO 14046 (2014).

3.4.1 Escassez hídrica

A água é um recurso distribuído de forma não igualitária sobre a superfície terrestre, por esse motivo algumas regiões do globo já sofrem com problemas de escassez (GOEDKOOOP *et al.*, 2009).

A ISO 14046 define o termo “escassez hídrica” como a comparação entre a demanda por água e a reposição da mesma em uma determinada área ou bacia hidrográfica (ISO 14046, 2014).

Os primeiros indicadores de escassez hídrica consideravam somente a contabilização do volume de água retirado da natureza, no entanto foi observada a necessidade de se considerar também a disponibilidade deste recurso na área de estudo (BOULAY *et al.*, 2015). O termo “disponibilidade de água” é definido, segundo a ISO 14046, como a quantidade de água necessária para suprir as necessidades dos seres humanos e dos ecossistemas (ISO 14046, 2014).

O método indicado para avaliar os impactos relacionados à categoria de escassez hídrica na ACV é o AWARE (*Available WAter REmaining*). Esse método avalia a potencial privação de água para seres humanos e ecossistemas aquáticos, supondo que quanto menor a disponibilidade de água numa região, maior a probabilidade de escassez desse recurso (BOULAY *et al.*, 2018).

Os fatores de caracterização (FC) do AWARE representam a água disponível relativa por área em uma bacia hidrográfica após a demanda para seres humanos e ecossistemas aquáticos ter sido atendida. Inicialmente, calcula-se a diferença entre a disponibilidade de água e a demanda para seres humanos e ecossistemas aquáticos, relacionado à área e o tempo ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{mês}$). Em seguida, o resultado é normalizado com base no valor mundial médio, que é $0,0136 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{mês}$, e invertido. O resultado da normalização representa o valor relativo comparado à média consumida no mundo. Por fim, esse fator calculado é limitado a um intervalo de 0,1 a 100, onde, por exemplo, o 1 corresponderia a média mundial e o valor 20, corresponderia a um local com 20 vezes menos água disponível comparado a média mundial (BOULAY *et al.*, 2017).

Os FC desenvolvidos para o método AWARE possuem diferentes resoluções temporais e espaciais, podendo ser aplicados de várias formas, como por exemplo, consumo de água na agricultura (Agri), consumo de água em atividades diversas (Não-Agri) e o consumo em atividades desconhecidas (Pad). A unidade de medida desta categoria é o m^3 de água – equivalente (BOULAY *et al.*, 2017). Exemplos de fatores de caracterização são apresentados na Tabela 2, a seguir:

Tabela 2 – Fatores de caracterização Agri, Não-Agri e Pad para as principais regiões do mundo

Regiões	Agri	Não-Agri	Pad
	(m ³ mundo eq/m ³)		
Europa	40	21	36,5
África	74,4	51,3	73,9
Ásia	44,6	26	43,5
Oceania	69,6	19,8	67,7
Oriente Médio	60,5	40,9	60
América do Norte	35,7	8,7	32,8
América Latina e Caribe	31,4	7,5	26,5
Resto do mundo	46	22,3	44

Fonte: adaptado de Boulay *et al.* (2017).

3.4.2 Eutrofização

A eutrofização se refere aos impactos causados pelo excesso de nutrientes nitrogenados e fosfatados, em sua forma biodisponível sobre os ecossistemas terrestres e aquáticos. Nos sistemas terrestres, a adição de nutrientes pode alterar a composição de espécies vegetais, favorecendo o seu crescimento de forma desordenada, o que gera impactos secundários em outras espécies do ecossistema. Nos sistemas aquáticos, a adição de nutrientes no meio possui um impacto semelhante, pois serve como fertilizante para algas e macrófitas, provocando a sua proliferação, que pode acarretar com a depleção do oxigênio no corpo hídrico, causando a sua degradação, alterando a composição de espécies e a função do ecossistema aquático (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

No sistema terrestre o nitrogênio é o nutriente limitante e quando em grande quantidade estimula o crescimento das plantas. No sistema aquático o fósforo costuma ser o nutriente limitante em águas doces, enquanto o nitrogênio é o nutriente limitante em ecossistemas marinhos (BAUMANN; TILLMAN, 2004). A eutrofização é apresentada separadamente em duas categorias: i) eutrofização em águas doces, associada principalmente a deposição de compostos fosfatados (PO_4 , H_3PO_4 , P_2O_5), capaz de provocar mudanças nas vegetações e posteriormente no ecossistema e ii) eutrofização marinha, promovida pelo acúmulo de compostos nitrogenados (NO_2 , NO_3 , NH_4 , NH_5) que podem originar problemas como danos aos ecossistemas de águas interiores (GOEDKOP *et al.*, 2009).

O método utilizado para avaliar os impactos causados pela eutrofização é o ReCiPe *midpoint*. Esse método é o mais recente, pois inclui as estimativas de emissões para os compartimentos aquáticos, terrestres e atmosféricos de acordo com o nutriente limitante. Os indicadores ambientais utilizados para avaliação da eutrofização em águas doces e marinha são as concentrações de fósforo (P) e nitrogênio (N), respectivamente. Os resultados das avaliações são expressos em relação ao P e N, em termos de Kg de N – equivalente, para a eutrofização de águas doces e Kg de P – equivalente, para eutrofização marinha (GOEDKOP *et al.*, 2009).

3.4.3 Ecotoxicidade e toxicidade humana

O método de avaliação das categorias ecotoxicidade e toxicidade baseia-se no risco e nas consequências do uso de substâncias químicas quando liberadas no meio ambiente, de forma regular ou não. Essas categorias avaliam a persistência (destino), acumulação (exposição) no corpo humano via ingestão e inalação, e o efeito das substâncias químicas na saúde humana e ecossistemas (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

O estudo dessas categorias é considerado complexo, pois envolve diferentes tipos de impactos e substâncias, como solventes orgânicos, defensivos agrícolas e metais pesados. Algumas substâncias são capazes de causar danos respiratórios e neurológicos, outras são cancerígenas, defensivos agrícolas usados na agricultura podem vir a contaminar lençóis freáticos e águas superficiais, e posteriormente podem até ser ingeridos e causar danos aos seres vivos (BAUMANN; TILLMAN, 2004).

A categoria toxicidade foi subdividida em ecotoxicidade e toxicidade humana. Ecotoxicidade foi dividida em aquática e terrestre; a aquática por sua vez foi dividida em águas doces e marinha (BAUMANN; TILLMAN, 2004). Toxicidade humana foi dividida em cancerígena e não cancerígena, pelo método USEtox, que é o recomendado para se avaliar os impactos destas categorias (ROSENBAUM *et al.*, 2008), pois ele oferece uma longa e atualizada lista de substâncias contaminantes e cancerígenas e seus efeitos; enfoca o destino final e a forma como os contaminantes se dispersam; além de ser capaz de diferenciar a modelagem a nível global, continental e urbano (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

O método USEtox especifica três categorias de impacto: i) a ecotoxicidade em águas doces que adota o indicador de unidade tóxica comparativa para os ecossistemas (CTU_e); apresentando a parcela de espécies afetadas de forma potencial, relacionada ao tempo e o volume por massa de produto químico emitido; e ii) as categorias toxicidade humana, câncer e não-câncer que adotam a unidade tóxica comparativa para os seres humanos (CTU_h); apresentando a estimativa do aumento da mortalidade da população humana total por massa de produto químico emitido (ROSENBAUM *et al.*, 2008).

3.4.4 Estudos de pegada hídrica de produtos agrícolas

A agricultura é uma das principais atividades responsáveis pelo estresse hídrico já observado em determinados locais no mundo. O estudo da pegada hídrica vem sendo aplicado nos sistemas de produção agrícola, com o objetivo de identificar os impactos relacionados ao uso da água (quantitativamente e qualitativamente) e promover medidas que possam mitigar esses impactos.

Mordini *et al.* (2009) publicaram um estudo comparando a pegada hídrica da laranja produzida em duas fazendas no Brasil, quatro na Espanha e uma na Itália e a pegada hídrica do morango produzido em uma fazenda na Polônia, duas na Espanha e sete no Reino Unido. Considerando a produção de 1 kg de laranja, a pegada hídrica variou de 0,148 a 0,173 m³ de água/kg laranja no Brasil, de 0,167 a 0,229 m³ de água/kg laranja na Espanha e 0,168 na Itália. Com relação à produção de 1 kg de morango, a pegada hídrica foi de 0,299 m³ de água/kg morango na Polônia, variou de 0,110 a 0,130 m³ de água/kg morango na Espanha e de 0,080 a 0,208 m³ de água/kg morango no Reino Unido. Observou-se que os valores variaram muito e os principais fatores apontados como responsáveis por essas variações foram as diferenças climáticas entre as regiões e o uso da irrigação por gotejamento (que utiliza menos água) em algumas fazendas, enquanto outras usam a irrigação por superfície. Foi observado também pelos autores que um alto rendimento da produção tende a diminuir a pegada hídrica e que a agricultura orgânica apresentou uma menor pegada quando se considera a quantidade de água utilizada por hectare, e uma pegada maior quando se considera o uso da água por quilo de produto, isso comparada à agricultura convencional.

Page *et al.* (2012) avaliaram a pegada hídrica do tomate fresco comercializado no mercado de Sidney, na Austrália. A pegada hídrica variou entre 5 e 53 L de água/kg de tomate fresco produzido e o principal fator responsável pela grande diferença observada entre os valores foram os sistemas de produção abordados no estudo, que variam regional e localmente, sendo um dos sistemas cultivado no campo aberto, enquanto os outros três cultivaram tomates em diferentes tipos de estufa, que variavam em nível tecnológico e em rendimento.

Um estudo de pegada hídrica com foco na escassez foi realizado para o melão produzido região do Baixo Jaguaribe, localizado entre os Estados do Ceará e Rio Grande do Norte. O resultado foi 135L de água/kg de melão produzido. O volume total de água consumido para produzir e exportar um quilo de melão foi 198L, com 98% desse volume sendo consumido pela irrigação, 1,5% pela produção de sementes e mudas, e o restante (0,5%) consumido pelos demais processos (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2014).

Rodriguez *et al.* (2015) realizou um estudo da pegada hídrica da batata produzida no Sudeste de Buenos Aires. O resultado foi 323,99 m³ de água/t de batata produzida, com os impactos causados pelo sistema de irrigação e a produção e uso de fertilizantes nitrogenados. Os autores sugeriram a troca do método de irrigação por um mais eficiente e que seja avaliado se as altas quantidades utilizadas de fertilizantes são realmente necessárias.

Semelhante ao estudo anterior foi realizado no Peru um estudo do perfil de pegada hídrica da uva cultivada para a produção de bebidas alcoólicas. O resultado da quantificação

foi de 3,93 m³/m³ de suco de uva produzido. Os impactos foram atribuídos às mudanças nas condições climáticas na região estudada durante o ano, no período do verão, devido às altas temperaturas observadas é necessário um maior volume de água para a irrigação (VÁZQUEZ-ROWE *et al.*, 2017).

Analisando-se as conclusões dos estudos apresentados, observa-se que a irrigação é o processo que mais impacta na pegada de escassez hídrica, devido aos diferentes métodos de irrigação empregados, que variam em eficiência, vindo assim a consumir mais ou menos água do que o necessário para uma determinada cultura. Outro fator que influencia na pegada de escassez hídrica são as mudanças que ocorrem no clima durante o ano, pois num período mais seco, aumenta a necessidade de água nas culturas.

3.5 A cultura do coco no Brasil e no Mundo

O coqueiro é uma planta tropical, cultivada de forma extensiva ou semi-extensiva, que requer irrigação diária, cuidados constantes, além de produzir o ano todo (cultura perene) (AMORIM *et al.*, 2016). Essa cultura foi inserida no Brasil, pelos portugueses, em 1553. Originada no Sudeste Asiático, disseminou-se para a Índia, em seguida para o leste e oeste africano, depois para as Américas e demais regiões tropicais (PURSEGLOVE, 1975). A Ásia, hoje é responsável por 83% da produção mundial, com os 17% restantes distribuídos entre América, Oceania, África e Europa (FAO, 2017).

O Brasil ocupava o décimo lugar no ranking mundial em 1990, com uma produção média anual em torno de 447 toneladas do coco produzido. De acordo com Tabela 3, esse valor se tornou seis vezes maior, alcançando em 2016 a produção de 2.649.246 toneladas de coco, e o Brasil ocupando o quarto lugar no ranking mundial de acordo com a FAO (2017).

Tabela 3 – Área colhida e produção dos principais países produtores em 2016

País	Área colhida (ha)	Produção (t)
Indonésia	3.105.259	17.722.429
Filipinas	3.565.059	13.825.080
Índia	2.155.749	11.127.898
Brasil	234.012	2.649.246
Sri Lanka	408.918	2.520.095
Vietnã	146.835	1.469.960
Papua Nova Guiné	207.679	1.191.438
México	183.637	1.157.481
Tailândia	177.063	815.406
Tanzânia	732.189	555.836
Outros	1.252.399	5.925.767
Total mundial	12.168.799	59.010.636

Fonte: adaptado de FAO (2017).

3.5.1 Importância da cultura do coco no Nordeste do Brasil

A região Nordeste se destaca no Brasil, contribuindo anualmente com mais de 70% do total de coco produzido no país. Nos últimos dez anos, a produção nessa região vem se concentrando nos Estados: de Alagoas, Bahia, Ceará e Sergipe (IBGE, 2017). No entanto, de forma não rotineira, outros Estados nordestinos também se destacam na produção de coco, como é o caso de Pernambuco, Rio Grande do Norte e Paraíba no ano de 2017 (Tabela 4).

A Bahia é o Estado brasileiro que mais produz coco, representando 30,4% da produção no Nordeste e 22,5% da produção nacional no ano de 2017, seguido pelos Estados de Sergipe e Ceará, que representaram 15% e 12% da produção nacional em 2017, respectivamente.

O coco se caracteriza de forma positiva economicamente devido a sua versatilidade, podendo ser comercializado *in natura* para consumo direto ou para indústrias alimentícias que produzem derivados como o leite de coco, óleo de coco, coco ralado e a água de coco envasada (CUENCA, 2016).

Tabela 4 – Área colhida, produção e produtividade dos principais Estados brasileiros produtores em 2017

Estado	Área colhida (ha)	Produção (toneladas)	Produtividade (toneladas/ha)
Bahia	47.638	350.868	7,4
Sergipe	36.821	234.332	6,4
Ceará	38.965	186.732	4,8
Pará	18.595	173.788	9,3
Pernambuco	7.685	158.879	20,7
Espírito Santo	9.346	118.476	12,7
Alagoas	23.338	102.159	4,4
Rio Grande do Norte	15.140	69.076	4,6
Rio de Janeiro	2.802	45.731	16,3
Paraíba	6.381	36.547	5,7

Fonte: adaptado do PAM (2017).

3.5.2 Caracterização das variedades de coqueiro

O coqueiro é uma palmácea adaptada ao clima tropical, principalmente entre as latitudes de 20° N e 20° S. Necessita de um clima quente, com médias em torno de 27° C, sem grandes variações na temperatura ao longo do ano e alta luminosidade. Temperaturas muito baixas causam desordens fisiológicas, como por exemplo, a estagnação do desenvolvimento da planta. A umidade relativa do ar deve ser maior que 60%, para que o crescimento da planta seja favorecido, no entanto caso haja uma redução da transpiração, haverá uma queda prematura dos frutos devido à diminuição na absorção de nutrientes (PASSOS, 2016).

O fator que mais influência no desenvolvimento do coqueiro é a pluviosidade, não somente a quantidade, mas também a sua distribuição ao longo do ano. Um período mínimo ou superior a três meses com precipitações menores que 50 mm por mês, prejudicam consideravelmente o crescimento e a produção dos coqueiros. Entretanto, se a quantidade de chuva for excessiva, pode ocasionar na lixiviação dos nutrientes presentes no solo necessários a planta, afetando assim o seu desenvolvimento (PASSOS, 2016).

O *Cocos nucifera*, L é a única espécie do Gênero Cocos, sendo formado principalmente pelas variedades Typica (coqueiro gigante) e Nana (coqueiro anão). Há também o coqueiro híbrido, resultado do cruzamento entre os coqueiros gigante e anão (ARAGÃO *et al.*, 2016).

A variedade Typica, conhecida como coqueiro gigante, possui crescimento rápido, no entanto o seu florescimento é tardio, iniciando entre 5 e 8 anos após o seu plantio. Pode atingir entre 20 m e 30 m de altura, chegando a produzir uma média de 80 frutos/planta/ano e o seu período econômico de produção varia de 60 a 80 anos. É empregado, principalmente *in natura* para uso gastronômico e na agroindústria para a produção de leite de coco, coco ralado e farinha de coco (SIQUEIRA *et al.*, 2002).

Já a variedade Nana, conhecida como coqueiro anão, possui um desenvolvimento vegetativo lento, mas o seu florescimento é precoce, iniciando entre 2 e 3 anos após o seu plantio. Atinge em média entre 8m e 10m de altura e seu período econômico de produção varia de 30 a 40 anos. Produz uma maior quantidade de frutos do que o coqueiro gigante, entre 150 a 200 frutos/planta/ano. A variedade anã é composta por três subvariedades: o cultivar amarelo, verde e vermelho. Comercialmente, o coqueiro anão verde é o mais utilizado no Brasil, pois é a mais tolerante as condições adversas, seja para a produção de água de coco (*in natura* ou envasada), no qual os frutos devem ser colhidos entre o sexto e sétimo mês após início da florescência, pois nessa idade o fruto possui o seu maior peso, volume de água de coco, teor de frutose e glicose e grau brix; ou seja, para a agroindústria com objetivo de produzir leite de coco, coco ralado e óleo de coco, onde os frutos devem ser colhidos entre o décimo primeiro e o décimo segundo mês após o início da florescência, pois nessa idade o fruto se caracteriza como coco seco (SIQUEIRA *et al.*, 2002).

Obtido a partir do cruzamento entre os coqueiros gigante e anão, o coqueiro híbrido possui características importantes presentes nas duas variedades das quais se origina. Floresce precocemente, iniciando sua produção a partir do terceiro ou quarto ano após o plantio. Atinge até 20m de altura, seu período econômico de produção dura em média 50 anos e produz entre 130 e 150 frutos/planta/ano. Pode ser comercializado *in natura* ou para fins agroindustriais

(SIQUEIRA *et al.*, 2002). As principais características dos coqueiros gigante, anão e híbrido são apresentadas na Tabela 5 abaixo:

Tabela 5 – Principais características dos coqueiros gigante, anão e híbrido

Características	Gigante	Anão	Híbrido
Germinação (dias)	Entre 100 e 150	Entre 40 e 60	Entre 70 e 90
Início da floração (ano)	5 a 7	2 a 3	3 a 4
Vida útil (anos)	60 a 80	30 a 40	50 a 60
Altura média (m)	35	8 a 10	20
Produção de frutos/planta.ano	60 a 80	150 a 200	130 a 150
Produção média de água (mL/fruto)	Maior que 500	200 a 300	400 a 550
Quantidade de polpa (g/fruto)	400 a 500	200	350 a 400

Fonte: adaptado de Aragão *et al.* (2016).

3.5.3 Implantação e manejo da produção de coco verde anão

A produção de coco verde anão inicia a partir da seleção das sementes das quais serão produzidas as mudas. As sementes devem ter entre os 11 e 12 meses de idade, estar secas, embora devam apresentar vestígios da presença de água no seu interior; serem arredondadas, com um tamanho médio, estar livre de doenças e pragas, e serem estocadas por até 10 dias depois de colhidas (FONTES, 2016).

As mudas são preparadas nos germinadouros, locais com aproximadamente 1m de largura, 20cm de profundidade e com o comprimento determinado em razão da quantidade de mudas que serão produzidas. A limpeza da área deve ser realizada de forma regular, com o objetivo de se manter o viveiro livre da ação de ervas daninhas e possíveis insetos vetores de doenças (FONTES, 2016).

A adubação das mudas melhora o Estado nutricional e o aspecto geral das plantas, um exemplo é a aplicação de uma adubação foliar a base de ureia (2%), como fonte de nitrogênio, que objetiva melhorar a coloração das folhas. A irrigação é fator determinante na germinação das sementes. É necessário de 60.000 a 70.000 litros de água/ha/dia. As mudas são transplantadas para o seu local definitivo aos 5 meses, quando possuem de 3 a 4 folhas vivas (FONTES, 2016).

O sistema de plantio mais utilizado é o triângulo equilátero, que aumenta em 15% o número de plantas por hectare e o espaçamento mais comum para o coqueiro anão é o 7,5m x 7,5m x 7,5m, que permite até 205 plantas por hectare. No entanto, devido alguns problemas de sombreamento observado, em função do grande desenvolvimento das plantas, alguns produtores têm optado por sistemas de plantio quadrado ou retangular, onde o espaçamento passou a ser 8,5m ou 9,0m (FONTES, 2016).

A adubação do plantio deve ser planejada após ser feita uma análise de solo e foliar, para se obter o conhecimento de quais nutrientes e suas quantidades estão presentes, e assim avaliar as reais necessidades do solo e da planta. O coqueiro anão possui uma maior produtividade do que o coqueiro gigante, dessa forma, necessita de uma maior quantidade de nutrientes para o seu desenvolvimento (FONTES, 2016). Na Tabela 6 são apresentadas as doses recomendadas de nitrogênio (N), fósforo (P₂O₅) e potássio (K₂O) para a cultura do coqueiro anão em suas diferentes fases:

Tabela 6 – Doses recomendadas de N, P₂O₅ e K₂O para o coqueiro anão

Ano (idade)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	g/planta/ano		
1	960	250	960
2	1.440	320	1.600
3	1.920	320	2.240
4	1.920	320	2.240
5 em diante	1.920	320	2.240

Fonte: adaptado de Fontes (2016).

A cultura do coqueiro em si, necessita de uma grande quantidade de água para o desenvolvimento pleno da planta. No caso do coqueiro anão, o consumo de água é ainda maior, pois o mesmo possui uma alta taxa de transpiração. A quantidade total de água a ser utilizada depende de alguns fatores, como: o tipo de solo, teor de umidade, temperatura, radiação solar, idade da planta, clima, condições nutricionais da planta e o método de irrigação (NOGUEIRA *et al.*, 1998).

Na região Nordeste, onde o coco é cultivado geralmente em solos arenosos e a água é escassa, os métodos de irrigação recomendados são: microaspersão, por promover um umedecimento da área do solo mais amplo; e gotejamento superficial ou subterrâneo, que permite a um determinado volume de solo se manter umedecido de forma contínua, temporal e espacialmente (FONTES, 2016). A quantidade de água aproximada que deve ser aplicada num coqueiro anão está apresentada na Tabela 7 abaixo:

Tabela 7 – Estimativa da quantidade de água necessária na irrigação do coqueiro anão

Ano (idade)	Quantidade de água (L/planta/dia)	
	Lâmina líquida	Lâmina bruta (90% de eficiência)
1	19	21
2	60	67
3	144	160
4	215	239
5 em adiante	229	255

Fonte: adaptado de Fontes (2016).

3.5.4 Doenças e pragas que afetam os coqueirais no Nordeste

O coqueiro, como qualquer outra cultura, é passível de ser atacado por diversas doenças e pragas, dependendo da localização do plantio. Ao ser atacado, o plantio é afetado negativamente, podendo ocasionar uma baixa produtividade, aumento na taxa de replante e até atraso no seu desenvolvimento (WARNICK, 2016).

As doenças mais importantes e que costumam ocorrer como maiores frequências no Nordeste são: queima – das – folhas, anel – vermelho, lixa – pequena, murcha-de-phytomonas e podridão seca. O principal sintoma causado por essas doenças é o descoloramento das folhas, em tons de marrom, amarelo e preto; e em longo prazo podem causar a necrose da planta. As medidas de controle mais utilizadas são: remoção e queima das folhas infectadas, eliminação de ervas daninha, uso de químicos para controlar a doença e em alguns casos a erradicação da planta (WARNICK, 2016). Maiores informações sobre as principais doenças que afetam os coqueirais podem ser encontradas no ANEXO A (Quadro A1).

Já as pragas atacam o coqueiro, por este ser uma fonte rica de alimento para diversos ácaros e insetos. Esses seres são hospedeiros da planta, seja na folhagem, nos frutos ou raízes e podem ocasionar vários danos à planta, como atraso no seu desenvolvimento, diminuição da produtividade e até a morte da planta. As principais pragas que ocorrem nos coqueiros são: a broca-do-olho-do-coqueiro, a lagarta-das-folhas e a barata-do-coqueiro. Os métodos de controle consistem na eliminação de todas as plantas mortas pela ação das pragas, coleta e destruição de larvas e adultos e pulverização da copa dos coqueiros (FERREIRA; FILHO, 2016). Maiores informações sobre as principais pragas que afetam os coqueirais podem ser encontradas no ANEXO B (Quadro B1).

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo para a avaliação das pegadas de carbono e hídrica adota as etapas de um estudo de avaliação do ciclo de vida (ACV), de acordo com o estabelecido nas normas ISO 14040 (ISO, 2006a) e ISO 14044 (ISO, 2006e). Considera também as especificidades de estudos de pegada hídrica, presentes na ISO 14046 (ISO, 2014), e de pegada de carbono, apresentadas na ISO 14067 (ISO, 2013).

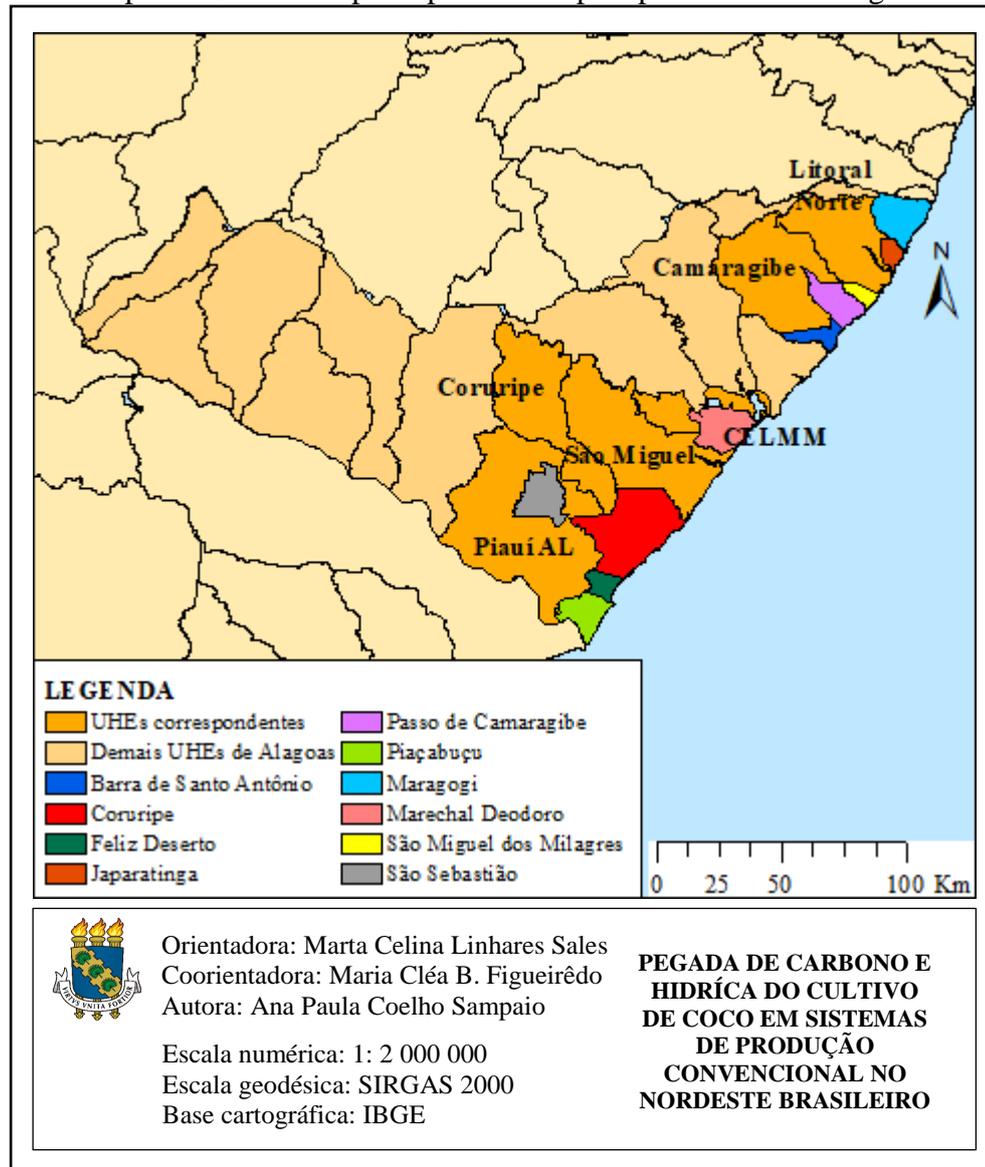
4.1 Delimitação e caracterização da área de estudo

A região Nordeste foi escolhida para a realização deste estudo, pois é a região com a maior produção de coco no Brasil, representando 74% da produção nacional em 2017. Dessa região foram escolhidos quatro Estados entre os maiores produtores para a realização das visitas técnicas às fazendas produtoras de coco anão nos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará e Sergipe.

O Estado de Alagoas possui uma área de 27.848 km² e limita-se ao Norte/ Nordeste com o Estado de Pernambuco, ao Sul com Sergipe, ao Sudoeste com a Bahia e a Leste com o Oceano Atlântico. No Estado são identificados dois climas: i) o tropical chuvoso, com um período seco no verão e temperaturas que variam de 23°C a 28°C; e ii) tropical com poucas chuvas, verão seco e temperaturas que variam de 20°C a 25°C. As chuvas ocorrem com mais frequência nos meses de abril a junho, e a precipitação média é em torno de 1800 mm. A vegetação do Estado é predominantemente Caatinga, seguida pelo Agreste (área com vegetação em transição) e alguns resquícios de Floresta Tropical. (ARAUJÓ *et al.*, 2006).

Os municípios com maior produção de coco em Alagoas, nos últimos dez anos foram (IBGE, 2018): Coruripe (27,4%), Piaçabuçu (12,7%), Marechal Deodoro (8,4%), Maragogi (5,6%), Japaratinga (4,3%), Feliz Deserto (4,2%), São Sebastião (4,2%), São Miguel dos Milagres (4,1%), Barra de Santo Antônio (3,9%) e Passo de Camaragibe (3,5%). Nesses municípios predominam os solos neossolo e latossolo vermelho-amarelo, e os mesmos pertencem as unidades hidrográficas estaduais (UHES) de Coruripe, Piauí AL, Litoral Norte, CELMM e Camaragibe (Mapa 1).

Mapa 1 - UHEs e os principais municípios produtores de Alagoas

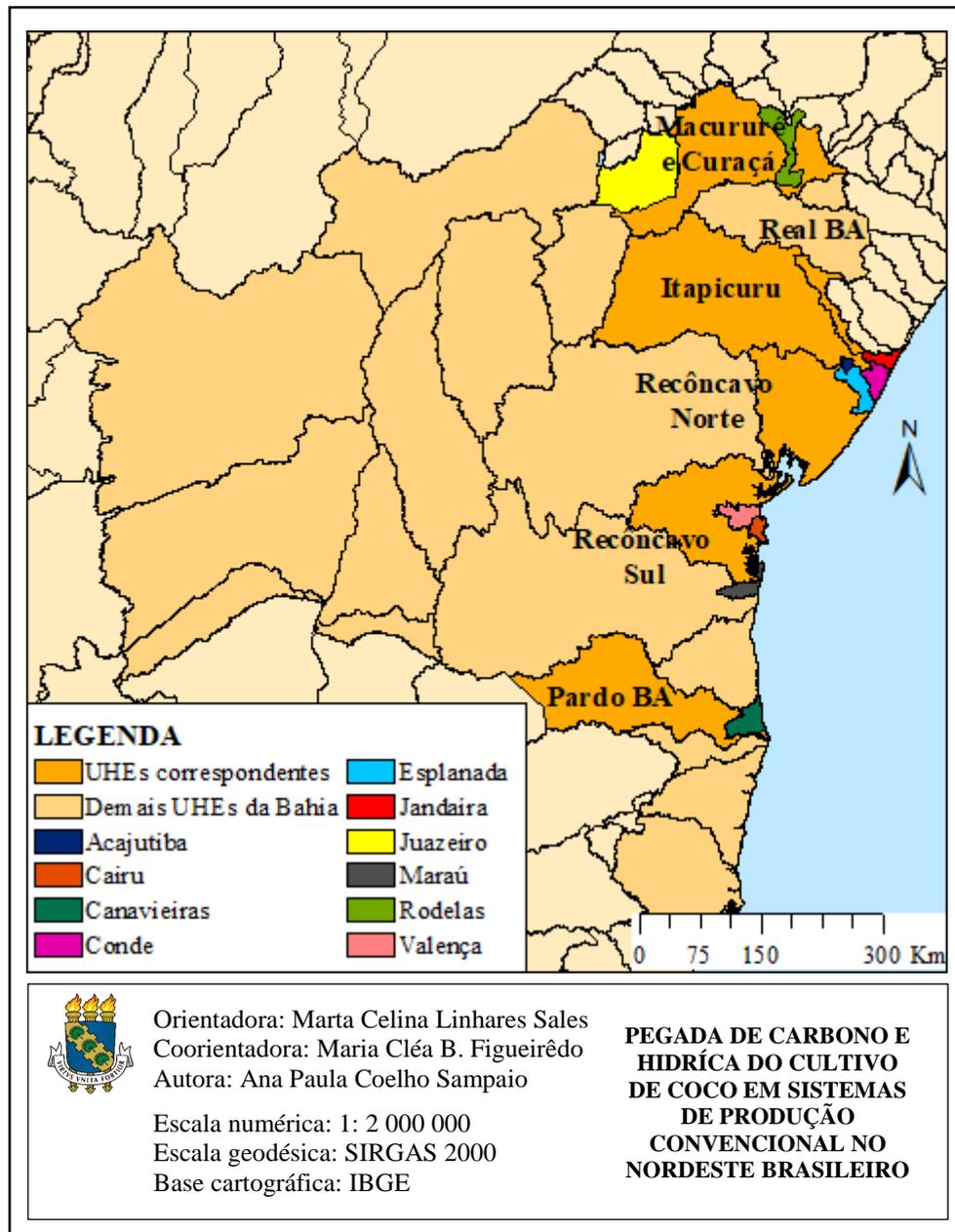


Fonte: elaborado pela autora.

A Bahia possui uma área de 567.295 km² e limita-se a Nordeste pelos Estados de Alagoas e Sergipe, ao Norte pelo Piauí e Pernambuco, a Oeste por Tocantins e Goiás, ao Sul pelo Espírito Santo e Minas Gerais e a Leste pelo Oceano Atlântico. São observados três tipos de clima no Estado: i) quente e úmido, sem estação seca, com a temperatura média em torno de 23°C e precipitações superiores a 1500 mm; ii) quente e úmido, com estação seca, temperaturas entre 18°C e 22°C e precipitação média de 1000 mm; e iii) semiárido quente, com temperaturas superiores a 26°C e precipitação inferior a 700 mm. A vegetação do Estado é prioritariamente Caatinga, cerca de 64% do território, seguido por cerrados, florestas e campos (DOMINGUEZ *et al.*, 2006).

Nos últimos dez anos, os municípios com maior produção de coco na Bahia foram (IBGE, 2018): Acajutiba (11,2%), Esplanada (10,3%), Jandaíra (8,1%), Conde (7,4%), Rodelas (6,3%), Juazeiro (5,7%), Canavieiras (3,7%), Cairu (3,4%), Valença (3,2%) e Marau (2,8%). Os solos predominantes são os neossolo e latossolo vermelho-amarelo. As UHEs onde esses municípios estão inseridos são: Itapicuru, Recôncavo Norte, Real BA, Macururé e Curaçá, Pardo BA e Recôncavo Sul (Mapa 2).

Mapa 2 - UHEs e os principais municípios produtores da Bahia



Fonte: elaborado pela autora.

O Estado do Ceará possui área de 148.886 km² e está limitado ao Norte pelo Oceano Atlântico, ao Sul pelo Estado de Pernambuco, ao Oeste pelo Piauí e a Leste pelo Rio Grande

do Norte e a Paraíba (IPECE, 2018). O clima no Estado é o tropical quente semiárido, com temperaturas que variam ao longo do ano entre 23°C a 30°C, e precipitação média em torno de 800 mm (FUNCEME, 2018). A cobertura vegetal é majoritariamente Caatinga, cerca de 46% do território, seguido por Florestas Perenifólias e Caducifólias e Cerrado (IPECE, 2018).

Os principais municípios produtores de coco no Ceará, nos últimos dez anos foram (IBGE, 2018): Paraipaba (14,1%), Trairi (11,1%), Itarema (7,1%), Acaraú (6,8%), Beberibe (6,2%), Itapipoca (4,8%) Amontada (4,4%), Cascavel (4,3%), Camocim (3,8%) e Aquiraz (3,4%). O tipo de solo predominante é o neossolo. Esses municípios estão inseridos nas UHEs de Acaraú, Coreaú, Curu, Litoral e Metropolitana (Mapa 3).

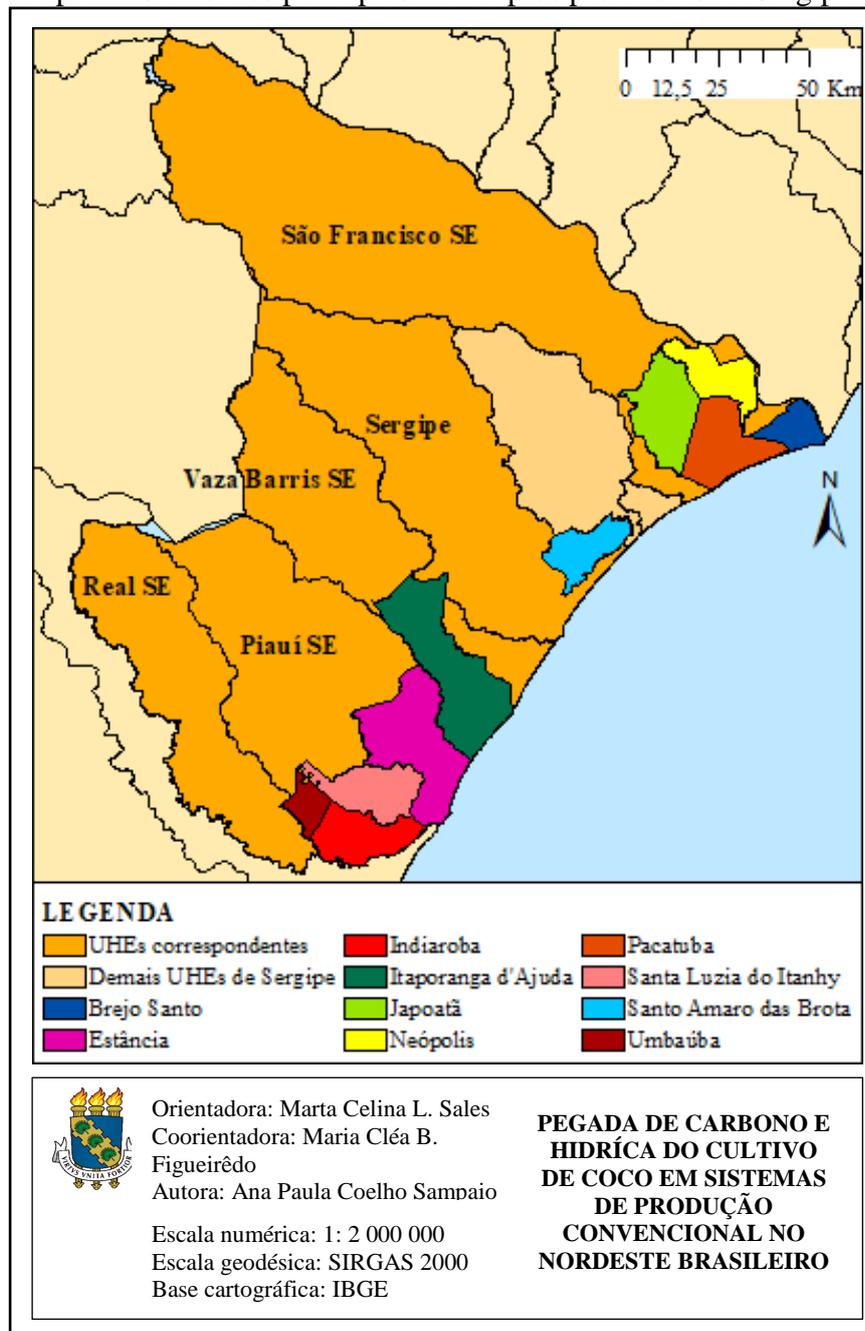
Mapa 3 - UHEs e os principais municípios produtores do Ceará



Fonte: elaborado pela autora.

Por fim, Sergipe (Mapa 4) possui uma área de 21.910 km² e encontra-se limitado ao Norte pelo Estado de Alagoas, ao Sul/Oeste pela Bahia e a Leste pelo Oceano Atlântico. Identificam-se dois climas no Estado: i) tropical semiárido, predominante, com temperaturas entre 27°C e 31°C, precipitação média inferior a 700 mm, entre os meses de abril e maio; e ii) tropical, com temperaturas entre 18°C e 26°C, precipitação média entre 700 e 1400 mm. A cobertura vegetal é composta pela Caatinga, que é dominante na região; pela Mata Atlântica, já bastante degradada e pelo Cerrado (BITTENCOURT *et al.*, 2006).

Mapa 4 - UHEs e os principais municípios produtores de Sergipe



Fonte: elaborado pela autora.

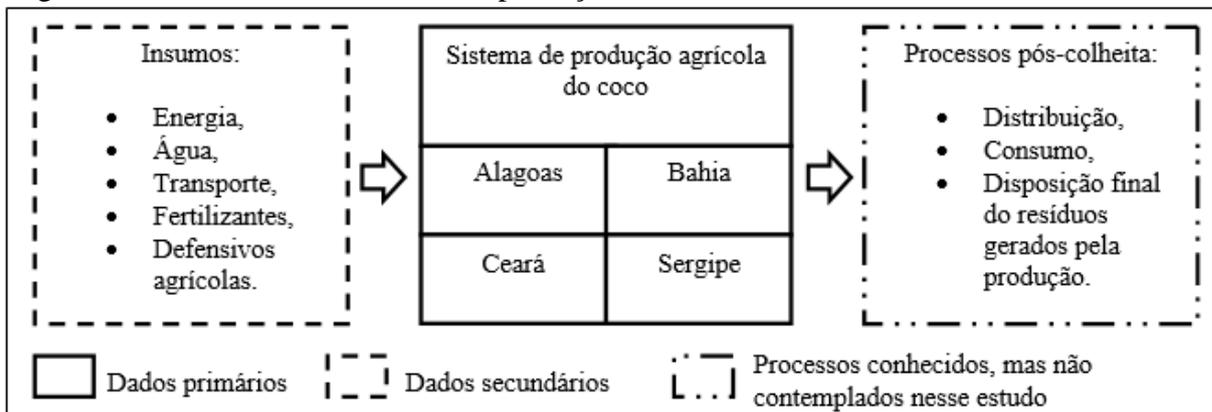
Os municípios em Sergipe com a maior produção de coco, nos últimos dez anos, foram (IBGE, 2018): Estância (30,5%), Santa Luzia do Itanhy (17,4%), Pacatuba (7,6%), Indiaroba (6,7%), Neópolis (6,3%), Itaporanga d’Ajuda (4,8%), Santo Amaro das Brotas (4,3%), Japoatã (4,3%), Umbaúba (2,8%) e Brejo Grande (2,4%). Os solos predominantes são os neossolo e latossolo vermelho-amarelo. Esses municípios encontram-se inseridos nas UHEs de Piauí SE, Real SE, Vaza Barris, Sergipe e São Francisco.

4.2 Definição do escopo

Depois de delimitada a área de estudo, foi definida a fronteira do sistema, que envolve os processos de produção de insumos e a produção agrícola do coco anão (Figura 4). São consideradas na produção agrícola as atividades de preparo do solo, plantio, irrigação, adubação orgânica (produção e uso de esterco), fertilização inorgânica, uso de defensivos agrícolas, operações mecanizadas e colheita. As etapas de distribuição, consumo e disposição final dos resíduos gerados pela produção não foram considerados.

Foram inventariados dados de consumo de insumo, emissões e produção em 17 anos de cultivo (vida útil do pomar). Realizou-se a média desses dezessete anos para se obter o inventário médio da produção agrícola.

Figura 4 – Fronteiras dos sistemas de produção avaliados



Fonte: elaborada pela autora.

Foram utilizadas três unidades funcionais nesse estudo: um m³ de água de coco *in natura*, uma t de coco, e 1000 frutos produzidos. Considerou-se que, tratando-se da avaliação de um sistema agrícola, o resultado pode ser apresentado de diferentes formas, dependendo do público de interesse. Sendo assim, optou-se por apresentar o resultado da pegada de carbono das fazendas analisadas fazendo o uso dessas diferentes unidades funcionais.

O número de cocos produzidos por planta em cada ano de produção e o peso/massa médio de um coco foi fornecido pelos gerentes das fazendas, assim como a quantidade média de água de coco *in natura* presente em um fruto em cada uma das fazendas. Em Alagoas e Sergipe o valor médio de água de coco em um fruto é de 400 mL, na Bahia é 450 mL e no Ceará é 406 mL. Nas fazendas visitadas o peso médio de um coco é em torno de 2kg/fruto.

Embora a vida útil de um coqueiro anão seja de 30 a 40 anos em média, foi relatado pelos produtores que após os 17 anos, o manejo da planta se torna mais difícil e oneroso, assim ao atingir esta idade muitos produtores optam pelo replantio do coqueiro. Dessa forma, os inventários foram elaborados considerando a vida do pomar de 17 anos na situação de referência.

A pegada de carbono é calculada considerando a categoria de impacto mudanças climáticas, conforme estabelecido na ISO 14067. Para o cálculo do perfil de pegada hídrica são consideradas as categorias de escassez hídrica, toxicidade humana, câncer e não-câncer, ecotoxicidade em águas doces, eutrofização em águas doces e marinha. Essas categorias relacionadas à água foram selecionadas devido existir modelos de caracterização de consenso científico para aplicação na avaliação de impacto. Ressalta-se, entretanto, que somente a categoria de escassez hídrica dispõe de modelo de caracterização que gera fatores regionais e permite avaliações regionalizadas de impacto. As demais categorias dispõem de modelos com fatores de caracterização globais apenas.

4.3 Análise do inventário

Nessa etapa foram levantadas todas as informações relacionadas ao processo produtivo para a elaboração dos inventários de cada fazenda, considerando todos os insumos (entrada) e as emissões (saída) do sistema, com o propósito de cumprir o primeiro objetivo específico desse estudo de “inventariar os insumos e as emissões relacionadas à produção de coco, considerando o sistema convencional de produção praticado nas fazendas”.

4.3.1 Coleta de dados

Os dados primários referentes às quantidades de insumos como adubos orgânicos, fertilizantes inorgânicos, defensivos agrícolas e água utilizados no campo foram obtidos por meio da aplicação de questionário (APÊNDICE A, Tabela A1) junto aos gerentes das fazendas, em visitas técnicas realizadas no período entre julho de 2016 e junho de 2018.

Os dados secundários referentes à produção dos insumos e as operações agrícolas mecanizadas, por exemplo, foram obtidos da base de dados do *Ecoinvent 3.3* (FRISCHKNECHT; JUNGBLUTH, 2007).

Os dados da produção em campo foram coletados em fazendas localizadas nos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará e Sergipe. Existem variações entre os sistemas de produção em cada fazenda, como a densidade de plantio, a quantidade média de água de coco por fruto, e o teor de argila no solo, que em Alagoas é bem superior aos demais, pelo fato da fazenda está localizada em um município com predominância de latossolo (que possui maior quantidade de argila), enquanto os demais estão em neossolo (com menor quantidade de argila). A Tabela 8, a seguir, apresenta algumas características dessas fazendas:

Tabela 8 – Caracterização das fazendas analisadas nesse estudo

Estado	Município	Densidade de plantio (pl/ha)	Quantidade de água por fruto (mL/fruto)	Teor de argila no solo (%)	Precipitação média anual (mm/ano)
Alagoas	São Sebastião	177	400	53,9	965,4
Bahia	Conde	205	450	3,5	1250
Ceará	Acaraú	157	413	3,5	1049,4
Ceará	Camocim	115	456	3,5	1122,4
Ceará	Paraipaba	148	358	3,5	1185,6
Ceará	Trairi	133	413	3,5	978,4
Sergipe	Neópolis	205	400	3,5	1200

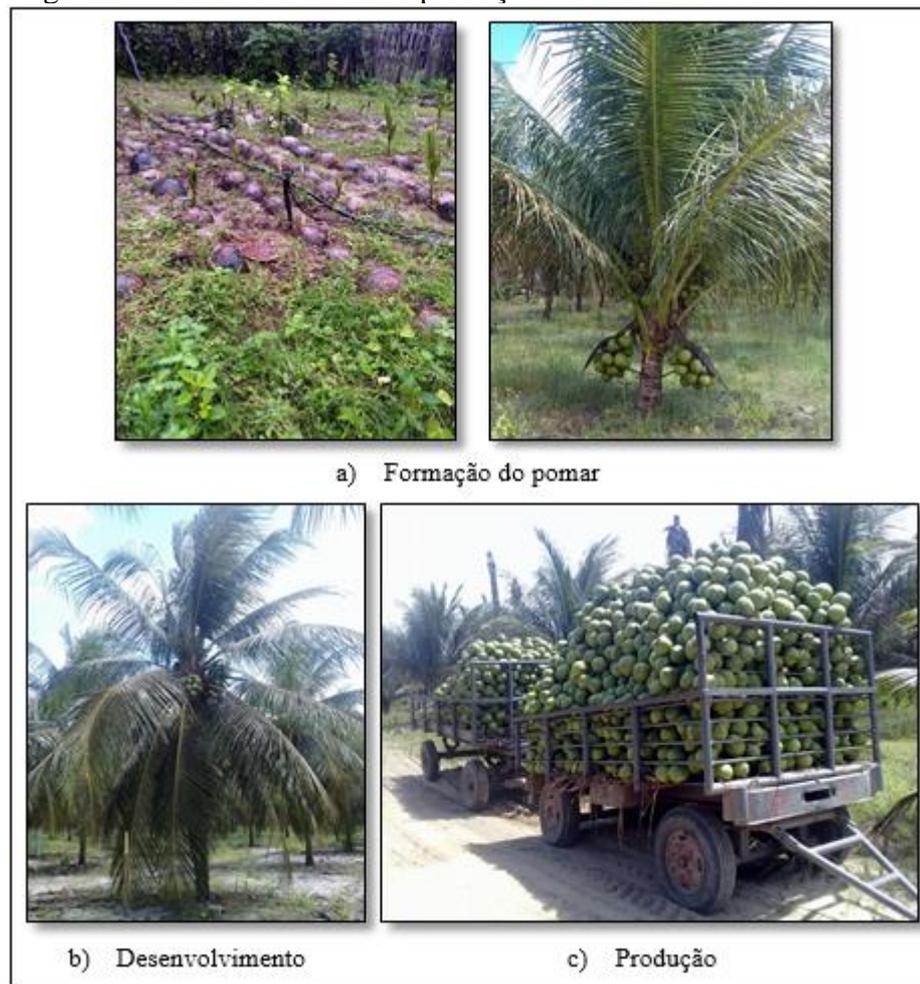
Fonte: elaborada pela autora.

O inventário do Ceará foi montado a partir de uma média aritmética dos inventários coletados em quatro fazendas produtoras no Estado (SILVA, 2017). Nos demais Estados foi visitada apenas uma fazenda produtora.

A produção de coco nas fazendas se inicia a partir do terceiro ano após o plantio da muda e sua produtividade é crescente até o sexto ano, quando a mesma se estabiliza. Na fazenda de Alagoas a irrigação ocorre no período de setembro a fevereiro (6 meses), na Bahia irriga-se em todos os meses do ano, em Sergipe é irrigado no período de agosto a março (8 meses) e nas fazendas do Ceará irriga-se de junho a janeiro (8 meses).

Os dados dos insumos coletados foram alocados de acordo com as fases de produção, sendo: i) a implementação e formação do pomar (anos 1 e 2) – sem produção; ii) o desenvolvimento do pomar (anos 3, 4 e 5) – produção crescente, e iii) a estabilização da produção (anos 6 ao 17). Os dados da fase estabilizada são referentes ao valor médio estimado dos insumos utilizados em 12 anos (Figura 5).

Figura 5 – Fases do sistema de produção do coco



Fonte: elaborada pela autora.

4.3.2 Estimativa das emissões

Para completar o inventário das fazendas, calcularam-se as estimativas das emissões, que foram agrupadas em três componentes: água, ar e solo. As equações utilizadas para os cálculos das emissões, os fatores de emissão adotados e as considerações relevantes aos cálculos estimados encontram-se no ANEXO C.

Quanto as emissões para a água, estimou-se o nitrato lixiviado pelo método SQCB (EMMENEGGER *et al.*, 2009) e a emissão de fósforo através da erosão para águas superficiais de acordo com Nemecek e Schnetzer (2011).

Dentre as emissões para o ar estimou-se a emissão de amônia (NH_4) e dióxido de carbono (CO_2) em razão da aplicação de ureia segundo Nemecek e Schnetzer (2011), as emissões de óxido nitroso (N_2O) e dióxido de carbono devido ao uso de calcário de acordo com o IPCC (2007) e as emissões de óxido de nitrogênio (NO_x) segundo Nemecek *et al.* (2015).

As emissões de metais pesados são estimadas para o solo, água superficial e subterrânea segundo o método proposto por Nemecek e Schnetzer (2011). As emissões dos defensivos agrícolas são determinadas pela quantidade de ingrediente ativo que entra no sistema e é emitida para o solo de acordo com Emmenegger *et al.* (2009).

As estimativas de emissões de GEE relacionadas a mudança no uso da terra foram realizadas de acordo com a metodologia proposta pelo IPCC (2007) e MCTI (2010). Os dados referentes à biomassa e estoque de carbono no coqueiro foram obtidos de Silva *et al.* (2014) e os dados relacionados à morfologia e ecofisiologia do coqueiro foram obtidos de Passos (2016).

4.3.3 Demanda hídrica do coqueiro

A demanda hídrica de uma cultura é a quantidade de água necessária à planta, para que essa se desenvolva da forma mais adequada. Vários fatores podem influenciar esse valor, como por exemplo: o clima do local de plantio (temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar), tipo de solo, a idade das plantas (altura) e sua nutrição (MIRANDA; GOMES, 2006).

A demanda hídrica do coqueiro foi estimada para os Estados de Alagoas, Bahia, Ceará e Sergipe com o objetivo de comparar esses valores com aqueles relatados pelos produtores, devido a irrigação ser um fator essencial para se obter a estabilidade da produção e uma alta produtividade.

O cálculo para se estimar a quantidade de água a ser aplicada foram feitos a partir das equações presentes em Miranda e Gomes (2006). A evapotranspiração da cultura (ET_c) é determinada pelo produto entre a evapotranspiração de referência (ET_o); o coeficiente de cultivo (K_c) e o coeficiente de redução da evapotranspiração (K_r), como na equação 1:

$$ET_c = ET_o * K_c * K_r \quad (1)$$

A ET_o anual de cada fazenda foi calculada a partir de uma média dos valores de ET_o mensais relativo aos meses no qual há irrigação em cada fazenda (Tabela 9). As ET_o mensais foram obtidas através de informações coletadas por estações pluviométricas monitoradas pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2018), localizadas próximas às fazendas pesquisadas.

Tabela 9 – Valores de ETo médios mensais para cada Estado

Mês	ETo mensal (mm/dia)				
	Alagoas	Bahia	Região I – Ceará*	Região II – Ceará*	Sergipe
Janeiro	5,2	5,5	5,4	4,4	5,7
Fevereiro	4,9	5,2	5,1	4,5	5,0
Março	4,8	5,0	4,1	3,9	5,2
Abril	4,0	4,0	4,3	3,8	3,8
Mai	3,3	3,3	4,3	3,8	3,9
Junho	3,2	2,7	5,1	3,8	3,0
Julho	3,0	2,7	5,5	4,2	2,6
Agosto	3,6	3,2	6,7	4,8	2,8
Setembro	4,1	3,9	7,1	5,4	1,6
Outubro	4,3	4,7	7,2	5,4	4,6
Novembro	4,7	4,8	7,0	5,3	5,3
Dezembro	5,1	5,4	6,4	5,0	4,7
ETo anual	4,8	4,2	6,3	4,8	4,4

Fonte: adaptado de ANA (2018).

*Região I: Acaraú e Camocim; Região II: Paraipaba e Trairi

Os valores de Kc variam de acordo com a idade da planta, sendo 0,65 no primeiro ano e 0,85 no segundo ano, período que acontece o desenvolvimento vegetativo da planta. A partir do terceiro ano em diante, onde há o florescimento e desenvolvimento dos frutos nas plantas o valor de Kc é 1,0 (MIRANDA; GOMES, 2006).

Os valores de Kr variam de acordo com a porção da superfície do solo coberta pelas folhagens e pode ser determinado pela equação proposta por Keller e Karmeli (1974), a partir do quociente entre o coeficiente de cobertura do solo pelo fator de redução igual a 0,85. No primeiro ano, onde a cobertura do solo (CS) é de aproximadamente 10%, o valor de Kr é 0,12; no segundo ano com CS igual a 25%, o valor de Kr é 0,29; no terceiro ano com CS igual a 50%, o valor de Kr é 0,59; no quarto ano com CS igual a 75%, o valor de Kr é 0,88 e do quinto ano em diante, com CS igual a 80%, o valor de Kr é igual 0,94 (MIRANDA; GOMES, 2006).

Em seguida, foi calculada a lâmina de água a ser aplicada ou lâmina bruta, que é determinada pelo quociente entre a evapotranspiração da cultura (ETo) e a eficiência da irrigação por microaspersão, que foi considerada 90% (MIRANDA; GOMES, 2006):

$$\text{Lâmina bruta} = \text{ETc} / \text{Eficiência} \quad (2)$$

4.3.4 Cálculo do transporte

Para o cálculo do transporte, considerou-se a tonelada (t) de insumo utilizado pela distância (km) percorrida até a fazenda. Para todas as fazendas analisadas, supôs-se que o esterco e os óleos foram obtidos próximos às fazendas, num raio de 200 km de distância e que os demais insumos vieram de Cubatão, São Paulo.

4.4 Avaliação dos impactos ambientais

Nessa etapa foram definidos os métodos de caracterização a serem utilizados para cada categoria de impacto relacionada às pegadas de carbono e hídrica. Foram gerados os resultados relativos a cada fazenda, apresentando-os de forma comparativa entre si, com a finalidade de cumprir o segundo objetivo específico de identificar as etapas de produção que mais contribuem para os impactos ambientais em cada fazenda.

Para a categoria de escassez hídrica foi utilizado o método AWARE (BOULAY *et al.*, 2018) que contabiliza o impacto em metro cúbico (m³) de água. O cálculo do impacto na escassez foi realizado empregando-se fatores de caracterização (FC) do AWARE e empregando-se duas formas alternativas de análise: i) utilizando-se FC mensais (ANEXO D, Tabelas D1 e D2) e ii) utilizando-se FC anual para agricultura (FC Agri no ANEXO D, Tabelas D1 e D2). Busca-se avaliar se há diferença nos resultados com o emprego dessas duas estratégias possíveis de cálculo do impacto.

Devido os FC para escassez hídrica variarem por Unidade Hidrográfica Estadual da ANA, utilizaram-se FCs mensais ou anual com valores mínimos e máximos para se verificar a variação nos resultados nas fazendas de cada Estado considerado (Ceará, Alagoas, Bahia e Sergipe). A Tabela E2 do Anexo E mostra os FCs mensais e anula por UHEs de cada Estado.

Para as categorias de toxicidade humana, câncer (CTHu), não-câncer (CTHu) e ecotoxicidade em águas doces (CTHe) foi usado o método USEtox (ROSENBAUM *et al.*, 2008). Para as categorias de eutrofização em água doces (kg de P - equivalente) e eutrofização marinha (kg de N - equivalente) foi utilizado o método ReCiPe *midpoint*, versão hierárquica (GOEDKOOOP *et al.*, 2009). E por fim, para a categoria mudanças climáticas (CO₂ – equivalente), foi usado o método do IPCC (2007), considerando o potencial de aquecimento global no período de 100 anos.

Todos os métodos de avaliação utilizados foram recomendados no relatório ILCD da Comissão Europeia (EUROPEAN COMMISSION, 2011), com exceção do AWARE que foi recomendado pela UNEP/SETAC (BOULAY *et al.*, 2018). A simulação dos impactos foi realizada no software SimaPro versão 8.3.0.0.

4.5 Análise de incerteza

Realizou-se a análise de incerteza dos resultados de impacto em cada categoria. De acordo com a ISO 14044 (2006e), a análise de incerteza é efetuada de forma sistemática e busca quantificar as incertezas nos resultados, que podem acontecer devido à variabilidade dos dados de inventários, referentes aos insumos e emissões. Essa análise determina como as incertezas

nos dados de entrada gera variação nos dados de saída, ou seja, nos resultados dos impactos em cada categoria.

A análise de incerteza nesse estudo é realizada com o método de Monte Carlo, que simula valores para insumos e emissões, observando a indicação da função de probabilidade e desvio padrão de cada variável (insumo ou emissão). Nesse estudo, assumiu-se que cada variável possui uma distribuição log-normal de probabilidade. O desvio padrão de cada variável foi gerado aplicando-se a Matriz Pedigree (GOEDKOOOP *et al.*, 2013).

Foram realizadas 1000 simulações comparativas para cada dois processos de produção de coco (A e B), gerando-se 1000 resultados de impacto. Analisou-se quantas vezes o impacto de A foi maior e menor que o de B. Assumiu-se que quando em pelo menos 95% das vezes o impacto de A fosse maior que o de B, o processo impacto de A seria significativamente maior que o de B.

4.6 Análise de cenário

A análise de cenário é um processo sistemático, que estima os efeitos relativos à mudança no processo ou no método de avaliação. Foram avaliados cenários alternativos possíveis de ocorrer na produção agrícola, assim como as melhores práticas de produção disponíveis na literatura. Os seguintes cenários foram definidos:

- a) Cenário 1 (C1): período de ocupação de 30 anos, considerando assim o tempo médio da vida útil de um coqueiro anão de acordo com Aragão *et al.* (2016). No APÊNDICE B (Tabela B1) encontra-se o inventário de todas as fazendas para um período de ocupação de 30 anos;
- b) Cenário 2 (C2): período de ocupação de 17 anos, sem considerar a ocorrência de mudança no uso da terra (MUT), ou seja, considerando que a MUT ocorreu há mais de 20 anos;
- c) Cenário 3 (C3): as emissões de CO₂ relacionadas à MUT são oriundas do trabalho de Novaes *et al.* (2017). Esses autores modelaram as emissões devido a MUT, no período de 1996 a 2015, para 64 culturas em 27 Estados brasileiros, a partir de dados estatísticos do IBGE. Os valores gerados por Novaes *et al.* (2017) estão sendo incorporados à base de dados do Ecoinvent em 2019 para cálculo de emissões de culturas brasileiras por Estado. No ANEXO E (Tabela E1) encontram-se os valores dos estoques de carbono em biomassa do MCTI (2010) e os valores regionalizados por Novaes *et al.* (2017). Na Tabela E2 encontram-se os valores das emissões de CO₂ relacionadas a MUT na

situação de referência e nesse cenário, considerando o cenário “proporcional” proposto por Novaes *et al.* (2017).

- d) Cenário 4 (C4): os impactos a partir do uso dos fatores de caracterização anuais regionalizados para as UHEs do Nordeste, calculados no trabalho de Andrade (2018). Os FC regionalizados utilizados para a realização desse cenário são apresentados no ANEXO F (Tabelas F1 e F2);
- e) Cenário 5 (C5): correção da quantidade de água utilizada na irrigação. Foi corrigido o valor da quantidade de água utilizada na irrigação de acordo com a demanda hídrica estimada e em seguida corrigiu-se os valores da quantidade de frutos e água de coco *in natura* produzidos, com base no trabalho de Aragão *et al.* (2016) que afirma que o valor médio de água de coco *in natura* por fruto é de 300 mL.
- f) Cenário 6 (C6): com a correção das quantidades de ureia, cloreto de potássio e superfosfato simples utilizados, com base no estudo de Sobral (2016). As quantidades de cada insumo desse cenário por fazenda, encontra-se discriminado na Tabela 10, onde de forma sucinta se apresenta o resumo de todos os cenários.

Tabela 10 – Resumo dos cenários alternativos

Cenário	Fazenda	Vida útil do pomar (anos)	Produção de água de coco (L/ha.ano)*	Volume irrigado (m ³ /ha.ano)*	Emissão de CO ₂ na MUT (kg CO ₂ /ha.ano)*	Referência para FC de Escassez hídrica	Quantidade de N (g N/pl.ano)*	Quantidade de P (g P/pl.ano)*	Quantidade de K (g K/pl.ano)*
Referência	AL	17	12.771	6.407	1.132,5	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.853,7	360,0	610,2
	BA	17	15.563	9.991	2.084,4	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.015,2	1.815,9	972,3
	CE	17	8.682	5.019	2.122,2	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.267,8	460,6	1.333,9
	SE	17	11.094	6.886	2.084,4	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	696,4	194,8	825,9
C1	AL	30	14.048	6.554	1.132,5	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.933,0	252,0	646,8
	BA	30	17.614	10.201	2.084,4	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.054,6	1.930,3	1.019,0
	CE	30	9.119	5.142	2.122,2	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.128,0	430,7	1.150,2
C2	SE	30	12.683	7.140	2.084,4	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	665,9	188,4	780,0
	AL	17	12.771	6.407	0,0	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.853,7	360,0	610,2
	BA	17	15.563	9.991	0,0	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.015,2	1.815,9	972,3
	CE	17	8.682	5.019	0,0	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.267,8	460,6	1.333,9
C3	SE	17	11.094	6.886	0,0	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	696,4	194,8	825,9
	AL	17	12.771	6.407	-1.060,0	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.853,7	360,0	610,2
	BA	17	15.563	9.991	740,0	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.015,2	1.815,9	972,3
	CE	17	8.682	5.019	-760,0	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.267,8	460,6	1.333,9
C4	SE	17	11.094	6.886	0,0	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	696,4	194,8	825,9
	AL	17	12.771	6.407	1.132,5	Andrade (2018)	1.853,7	360,0	610,2
	BA	17	15.563	9.991	2.084,4	Andrade (2018)	1.015,2	1.815,9	972,3
	CE	17	8.682	5.019	2.122,2	Andrade (2018)	1.267,8	460,6	1.333,9
C5	SE	17	11.094	6.886	2.084,4	Andrade (2018)	696,4	194,8	825,9
	AL	17	14.013	9.342	1.132,5	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.853,7	360,0	610,2
	BA	17	14.200	9.467	2.084,4	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.015,2	1.815,9	972,3
	CE	17	12.628	8.419	2.122,2	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.267,8	460,6	1.333,9
C6	SE	17	14.877	9.918	2.084,4	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	696,4	194,8	825,9
	AL	17	12.771	6.407	1.132,5	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.001,0	302,3	1.202,0
	BA	17	15.563	9.991	2.084,4	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.005,0	308,7	1.205,5
	CE	17	8.682	5.019	2.122,2	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.001,8	304,2	1.200,7
	SE	17	11.094	6.886	2.084,4	Boulay <i>et al.</i> , (2017)	1.003,1	301,7	1.205,7

Fonte: elaborada pela autora.

* “ano” se refere a média de 17 ou 30 anos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Inventários da produção de coco verde no Ceará

Na Tabela 11, encontram-se os inventários das quatro fazendas produtoras visitadas no Estado do Ceará, a partir dos quais realizou-se uma média para se obter um inventário referente a uma fazenda característica desse Estado. Os inventários dessas fazendas são apresentados para um hectare de pomar com coqueirão anão, considerando a média de 17 anos de vida útil do pomar.

Tabela 11 – Inventários das fazendas do Ceará e sua média, considerando um ano médio de produção

Insumos	Unidade	Fazendas				
		Acarauá	Camocim	Paraipaba	Trairi	Ceará (média aritmética)
Área	ha	1	1	1	1	1
Água	m ³	8.283	6.287	4.200	1.304	5.019
Energia elétrica	kwh	2.071	1.572	1.050	326	1.255
1. Produtividade						
Plantas	Unidades	157	115	148	133	138
Água de coco <i>in natura</i>	L	13.483	8.233	8.850	4.162	8.682
Frutos	frutos	32.647	18.055	24.716	10.078	21.374
kg de coco	kg	65.294	36.110	49.432	20.156	42.748
2. Adubação orgânica						
Esterco de frango	kg	-	8.287	-	-	2.072
Esterco bovino	kg	9.294	-	4.701	5.270	4.816
3. Fertilizantes inorgânicos						
Ureia	kg	367,0	-	534,9	439,2	335,3
Cloreto de potássio	kg	352,9	-	522,4	348,2	305,9
Superfosfato simples	kg	7,5	-	278,6	147,4	108,4
Mono-Amônio-Fosfato (MAP)	kg	173,4	-	-	-	43,3
Calcário	kg	558,8	432,9	-	-	247,9
Gesso agrícola	kg	-	90,7	-	-	22,7
Fósforo natural	kg	-	270,6	-	-	67,7
Ácido fosfórico	kg	24,0	-	-	-	6,0
Óxidos diversos	kg	-	-	0,2	-	0,1
Micronutrientes	kg	45,6	-	-	-	11,4
Fertilizante foliar	kg	3,6	10,7	-	-	3,6
4. Defensivos agrícolas						
Fungicida líquido	L	0,7	-	-	-	0,2
Herbicida líquido	L	0,1	-	-	-	0,03
Inseticida líquido	L	3,6	2,0	-	0,6	1,5
Detergente	L	-	16,5	40,7	2,7	15,0
Óleo de algodão	L	-	-	60,8	4,4	16,3
Óleo de coco	L	-	47,2	-	-	11,8
Óleo mineral	L	1,9	-	-	-	0,5
5. Operações agrícolas						
Pulverização mecânica	Unidades	7	2	7	8	6
Roçagem mecanizada	Unidades	2	4	3	0	2

6. Transporte						
Insumos	tkm	6.340,4	4.017,2	4.844,3	3.778,3	4.745,1
7. Emissões oriundas da produção						
7.1 Emissões para o ar						
Amônia (NH ₄)	kg	42,8	19,0	49,8	42,7	38,6
Óxido nitroso (N ₂ O)	kg	12,5	4,6	13,9	9,5	10,3
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	kg	3,7	1,0	4,7	3,9	3,3
Dióxido de carbono (CO ₂)	kg	331,9	56,3	377,9	310,3	269,1
7.2 Emissões para a água						
Nitrato (NO ₃)	kg	3.290,5	1.286,9	3.495,5	2.116,9	2.603,5
Fósforo	kg	0,01030	0,01132	0,01217	0,00787	0,01053
Cádmio	kg	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004	0,00004
Cobre	kg	0,00367	0,00376	0,00360	0,00350	0,00367
Zinco	kg	0,02550	0,03128	0,02238	0,02127	0,02806
Chumbo	kg	0,00034	0,00028	0,00056	0,00040	0,00042
Níquel	kg	0,00020	0,00023	0,00020	0,00012	0,00019
Cromo	kg	0,02036	0,02026	0,01857	0,01720	0,01973
7.3 Emissões para o solo						
Cádmio	kg	0,00476	0,00401	0,00225	0,00109	0,00301
Cobre	kg	0,01473	0,06259	-0,00939	-0,01081	0,01380
Zinco	kg	0,18341	1,09172	0,09140	0,07455	0,34632
Chumbo	kg	0,00554	0,00308	0,02267	0,01079	0,00995
Níquel	kg	0,01568	0,02278	0,00780	0,00564	0,01283
Cromo	kg	0,04448	0,03759	0,00391	-0,00181	0,01988
Defensivos agrícolas	kg	1,25	0,10	-	0,21	0,39
8. Emissões oriundas da mudança no uso da terra						
Dióxido de carbono (CO ₂)	kg	2.111,5	2.135,2	2.116,6	2.125,0	2.122,2
Óxido nitroso (N ₂ O)	kg	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	kg	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Monóxido de carbono (CO)	kg	2,99	2,99	2,99	2,99	2,99
Metano (CH ₄)	kg	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11

Fonte: elaborada pela autora.

Primeiramente, observa-se a diferença entre as quantidades de água utilizadas na irrigação de cada fazenda. A fazenda de Trairi utiliza cerca de 80% menos água quando comparada a de Acaraú que utiliza a maior quantidade de água por hectare com relação as demais. A fazenda de Acaraú apresenta a maior densidade de plantas por hectare (157 pl/ha), a maior quantidades de frutos (32.647 frutos/ha) e água de coco *in natura* (13.483 L/ha) produzidos por hectare em um ano médio, quando comparada as outras fazendas analisadas.

A fazenda de Acaraú usa uma maior variedade de fertilizantes inorgânicos, e é a única que utiliza mono-amônio-fosfato (MAP), ácido fosfórico e micronutrientes. A fazenda de Camocim se destaca por não fazer uso de ureia, cloreto de potássio e superfosfato simples.

Quanto ao uso de defensivos agrícolas, a fazenda de Acaraú é a única a aplicar fungicida e herbicida líquido e a fazenda de Paraipaba não aplica nenhum agroquímico, somente um extrato vegetal para auxiliar no controle de pragas, no caso o óleo de algodão. A fazenda de Trairi também aplica óleo de algodão, Camocim aplica óleo de coco e Acaraú aplica óleo mineral.

A mecanização da produção se resume a duas atividades: i) pulverização dos coqueiros com o propósito de controlar as pragas, e ii) roçagem do coqueiral. As demais atividades são realizadas de forma manual.

A fazenda de Trairi possui a menor quantidade de toneladas de insumo por quilômetro percorrido.

No tocante às emissões, a fazenda de Camocim possui as menores emissões para o ar e de nitrato para água, por utilizar uma menor quantidade de fertilizantes nitrogenados, pois sua fonte de nitrogênio é oriunda somente do esterco e do fertilizante foliar utilizado, enquanto as demais fazendas fazem também uso da ureia, que possui uma maior porcentagem de nitrogênio em sua composição. Já as demais fazendas apresentam emissões similares.

Na mudança do uso da terra é observada uma diferença nas emissões de dióxido de carbono, a fazenda de Camocim apresenta a maior emissão de CO₂, cerca de 2.135,2 kg/ha, enquanto a fazenda de Acaraú possui a menor emissão, 2.111,5 kg/ha. Essas diferenças ocorrem devido a quantidade de carbono imobilizada em um hectare, que por sua vez depende da quantidade de coqueiros plantados nesse hectare. Assim, com a variação da densidade de plantas nas fazendas, há variação na quantidade de carbono liberado. As demais emissões da mudança no uso da terra são semelhantes em todas as fazendas.

5.1.1 Análise da demanda hídrica do coqueiro no Ceará

A Tabela 12 apresenta uma estimativa da quantidade ideal de água a ser utilizada para a irrigação dos coqueiros nas fazendas de Acaraú, Camocim, Paraipaba e Trairi localizadas no Estado do Ceará. Observa-se que o fator determinante para os diferentes resultados entre as fazendas é o valor da evapotranspiração de referência (ET_o) anual, calculada com base nas ET_o de cada mês que ocorreu irrigação.

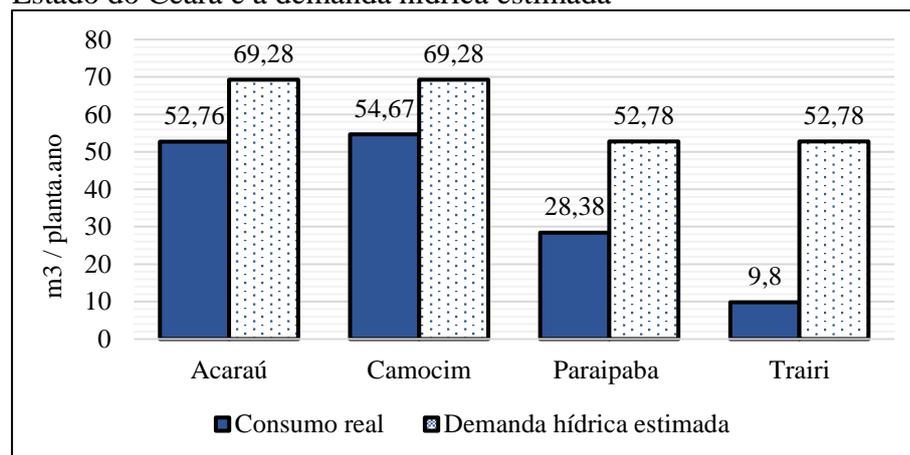
Tabela 12 – Cálculo da demanda hídrica do coqueiro nas fazendas do CE

Idade da planta (ano)	ETo anual (mm/dia)	Kc	Kr	ETc (mm/dia)	Eficiência da irrigação	Lâmina bruta (mm/dia)	Lâmina bruta* (m ³ /pl.ano)
Região I – Fazendas de Acaraú e Camocim							
1	6,3	0,65	0,12	0,49	90%	0,55	6,55
2	6,3	0,85	0,29	1,55	90%	1,73	20,71
3	6,3	1,00	0,59	3,72	90%	4,13	49,58
4	6,3	1,00	0,88	5,54	90%	6,16	73,95
5	6,3	1,00	0,94	5,92	90%	6,58	78,99
Média - 17 anos	-	-	-	5,19	-	5,77	69,28
Região II – Fazendas de Paraipaba e Trairi							
1	4,8	0,65	0,12	0,37	90%	0,42	4,99
2	4,8	0,85	0,29	1,18	90%	1,31	15,78
3	4,8	1,00	0,59	2,83	90%	3,15	37,78
4	4,8	1,00	0,88	4,22	90%	4,69	56,34
5	4,8	1,00	0,94	4,51	90%	5,01	60,19
Média - 17 anos	-	-	-	3,96	-	4,40	52,78

Fonte: elaborada pela autora.

O Gráfico 1 apresenta a comparação entre o consumo real de cada fazenda conforme informado pelos produtores e a demanda hídrica estimada. A fazenda de Trairi é a que apresenta a maior diferença entre os valores, pois utiliza 81% menos água do que o estimado por planta/ano. As fazendas de Paraipaba, Acaraú e Camocim utilizam 46%, 24% e 21%, respectivamente, menos água do que o estimado por planta/ano.

Gráfico 1 – Comparação entre o consumo real em cada fazenda no Estado do Ceará e a demanda hídrica estimada



Fonte: elaborado pela autora.

Miranda *et al.* (2017) calcularam em seu estudo realizado na fazenda Granjeiro, em Paracuru – CE e na fazenda Boa Esperança, em Camocim – CE, a produtividade da água de irrigação em termos da produção de água de coco *in natura* (PAI_{ac}). Foi observado, que no período de seca (junho a dezembro), a irrigação em Granjeiro foi 38% inferior ao recomendado,

enquanto na fazenda Boa Esperança a irrigação foi 26% superior a necessidade hídrica do coqueiro. O valor do PAI_{ac} em Granjeiro foi de 2,5 L de água de coco *in natura* por m³ de água irrigada, enquanto em Camocim foi de 1,3 L/m³. Assim, é possível inferir que uma fazenda que utilize uma maior quantidade de água na irrigação, não irá necessariamente produzir uma maior quantidade de água de coco *in natura*.

Calculou-se o valor do PAI_{ac} para as fazendas do Ceará, conforme Miranda *et al.* (2017). Observou-se que a fazenda do Trairi irrigou 80% menos e obteve o melhor PAI_{ac}, quando comparada as fazendas analisadas e as do estudo de Miranda *et al.* (2017) As fazendas de Acaraú, Camocim e Paraipaba, que também irrigaram menos, obtiveram valores de PAI_{ac} similares ao do estudo de Miranda *et al.* (2017) (Tabela 13).

Tabela 13 – Relação entre a quantidade de água utilizada na irrigação e a produção de água de coco *in natura* nas fazendas do Ceará

Fazendas	Água de coco <i>in natura</i> produzida no pomar (L)	Água da irrigação do pomar (m ³)	Relação L de água de coco <i>in natura</i> /m ³ de água
Acaraú	13.483	8.283	1,6
Camocim	8.233	6.287	1,3
Paraipaba	8.850	4.200	2,1
Trairi	4.162	1.304	3,2

Fonte: elaborada pela autora.

5.2 Inventários da produção de coco verde por Estado

Apresentam-se na Tabela 14 os inventários das fazendas por Estado, considerando o uso de recursos e a produção de um hectare em um ano médio de produção (17 anos de vida útil do pomar). Observam-se variações no uso de insumos, geração de carga poluente e produção de água de coco *in natura* entre as fazendas.

Tabela 14 – Inventários das fazendas por Estado, em um ano médio de produção

Insumos	Unidade	Fazendas			
		Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
Área	ha	1	1	1	1
Água	m ³	6.407	9.991	5.019	6.886
Energia elétrica	kwh	1.602	2.498	1.255	1.722
1. Produtividade					
Plantas	Unidades	177	205	138	205
Água de coco <i>in natura</i>	L	12.771	15.563	8.682	11.094
Frutos	frutos	31.927	34.585	21.374	27.735
Kg de coco	kg	63.854	69.169	42.748	55.471
2. Adubação orgânica					
Esterco de frango	kg	7.080	3.618	2.072	5.089
Esterco bovino	kg	-	-	4.816	-
3. Fertilizantes inorgânicos					
Ureia	kg	630,0	227,9	335,3	246,0
Cloreto de potássio	kg	180,0	328,0	305,9	282,2
Superfosfato simples	kg	354,0	24,1	108,4	221,9
Mono-Amônio-Fosfato (MAP)	kg	-	699,4	43,3	-
Calcário	kg	-	4,8	247,9	-
Gesso agrícola	kg	-	2,4	22,7	-
Fósforo natural	kg	-	12,1	67,7	-
Formulação NPK 28 - 04 - 14	kg	-	18,1	-	-
Bórax	kg	-	0,2	-	-
Ácidos diversos	kg	-	16,5	6,0	-
Óxidos diversos	kg	-	2,4	0,1	-
Nitrato de cálcio	kg	-	5,1	-	-
Sulfatos diversos	kg	-	235,4	-	-
Micronutrientes	kg	-	0,4	11,4	578,8
Fertilizante foliar	kg	-	-	3,6	-
4. Defensivos agrícolas					
Acaricida	kg	0,1	-	-	-
Acaricida líquido	L	4,1	6,4	-	-
Fungicida líquido	L	-	9,2	0,2	-
Herbicida líquido	L	30,5	0,7	0,03	0,9
Inseticida	kg	0,2	2,2	-	-
Inseticida líquido	L	-	10,6	1,5	16,8
Detergente	L	-	8,2	15,0	10,0
Óleo de algodão	L	-	12,4	16,3	-
Óleo de coco	L	-	-	11,8	15,0
Óleo mineral	L	-	-	0,5	-
5. Operações agrícolas					
Fertilização mecânica	Unidades	4	2	-	3
Pulverização mecânica	Unidades	4	16	6	16

Roçagem mecanizada	Unidades	5	8	2	2
6. Transporte					
Insumos	tkm	2.019,4	2.394,9	4.745,1	3.890,2
7. Emissões oriundas da produção					
7.1 Emissões para o ar					
Amônia (NH ₄)	kg	67,9	31,0	38,6	31,8
Óxido nitroso (N ₂ O)	kg	7,1	14,1	10,3	8,9
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	kg	6,2	3,9	3,3	2,7
Dióxido de carbono (CO ₂)	kg	445,1	161,6	269,1	173,8
7.2 Emissões para a água					
Nitrato (NO ₃)	kg	374,3	3.865,2	2.603,5	2.297,8
Fósforo	kg	0,01522	0,01481	0,01053	0,01303
Cádmio	kg	0,00005	0,00005	0,00004	0,00004
Cobre	kg	0,00383	0,00381	0,00367	0,00374
Zinco	kg	0,03112	0,03042	0,02806	0,03015
Chumbo	kg	0,00064	0,00052	0,00042	0,00052
Níquel	kg	0,00030	0,00032	0,00019	0,00024
Cromo	kg	0,01955	0,02123	0,01973	0,01859
7.3 Emissões para o solo					
Cádmio	kg	0,00330	0,01853	0,00301	0,00194
Cobre	kg	0,05132	0,04642	0,01380	0,02357
Zinco	kg	0,95391	0,69414	0,34632	0,64687
Chumbo	kg	0,02980	0,01438	0,00995	0,01677
Níquel	kg	0,02036	0,04306	0,01283	0,01300
Cromo	kg	0,01406	0,19976	0,01988	0,00390
Defensivos agrícolas	kg	11,81	5,65	0,39	0,70
8. Emissões oriundas da mudança no uso da terra					
Dióxido de carbono (CO ₂)	kg	1.132,5	2.084,4	2.122,2	2.084,4
Óxido nitroso (N ₂ O)	kg	- 0,81	- 0,47	- 0,47	- 0,47
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	kg	0,04	0,10	0,10	0,10
Monóxido de carbono (CO)	kg	2,99	2,99	2,99	2,99
Metano (CH ₄)	kg	0,11	0,11	0,11	0,11

Fonte: elaborada pela autora.

Com relação ao consumo de água na irrigação, observa-se que a fazenda da Bahia utiliza uma quantidade de água (9.991 m³/ha) muito superior as demais fazendas. Já o Ceará utiliza o menor volume de água na irrigação do pomar, cerca de 50% menos quando comparado a Bahia.

A fazenda da Bahia se destaca pela maior produção de frutos (34.585 frutos/ha) e de água de coco *in natura* (15.563 L/ha), diferentemente do Ceará que apresenta a menor produção de frutos e água de coco *in natura* quando comparado as demais fazendas analisadas.

Todas as fazendas utilizam esterco de frango, exceto a do fazenda do Ceará que por representar a médias da fazenda no Estado, utiliza tanto esterco de frango como bovino.

A fazenda da Bahia se destaca pela enorme variedade de fertilizantes inorgânicos utilizados, além de ser a única que usa uma formulação NPK, bórax, nitrato de cálcio e diversos

tipos de sulfatos. A fazenda de Alagoas utiliza somente ureia, cloreto de potássio e superfosfato simples. Já a de Sergipe, utiliza uma acentuada quantidade de micronutrientes.

Com relação aos defensivos agrícolas, a fazenda de Alagoas é a única que aplica acaricida e a da Bahia, uma grande quantidade de fungicida líquido. A fazenda de Alagoas não aplica extrato vegetal. Já a da Bahia aplica óleo de coco, Sergipe, óleo de algodão, e o Ceará, tanto óleo de coco como de algodão.

As operações agrícolas se limitam a três tipos: fertilização, pulverização, e roçagem do pomar. Considerando-se a distância percorrida por cada insumo utilizado nas fazenda, notou-se que a fazenda do Ceará apresenta a maior quantidade de tonelada de insumos por quilômetro percorrido.

No que se referem às emissões na produção de coco, as maiores emissões de amônia e óxidos de nitrogênio para o ar ocorrem na fazenda de Alagoas, devido as maiores quantidades de esterco de frango e ureia utilizados. A ureia é também responsável pela maior emissão de dióxido de carbono para o ar na fazenda de Alagoas. Já as emissões de óxido nitroso são maiores na Bahia, devido ao uso de maiores quantidades de fertilizantes nitrogenados. A emissão de nitrato para a água é menor na fazenda de Alagoas, porque o solo da fazenda (latossolo) possui uma maior porcentagem de argila, que é de 53,9% de acordo com Emmenegger *et al.* (2009); enquanto os pomares das fazendas da Bahia, Ceará e Sergipe encontram-se em solos arenosos, com 3,5% de argila (Emmenegger *et al.*, 2009), o que influencia diretamente a quantidade de nitrato lixiviado.

As emissões de dióxido de carbono são oriundas na mudança no uso da terra (de caatinga para pomar de coco, na situação de referência). As maiores emissões ocorrem na Bahia e Sergipe, devido a maior quantidade de plantas por hectare nessas duas fazendas (205 pl/ha), que influência diretamente na quantidade do estoque de carbono na área de produção.

As emissões de óxido nitroso na mudança no uso da terra são negativas, em todas as fazendas analisadas, por causa da diferença na quantidade de carbono contido no solo antes e depois da transformação da terra. As demais emissões provenientes da mudança no uso da terra são similares para todas as fazendas.

5.2.1 Análise da demanda hídrica do coqueiro em AL, SE e BA

A Tabela 15 apresenta uma estimativa da quantidade ideal de água a ser utilizada para a irrigação dos coqueiros nas fazendas em Alagoas, Bahia e Sergipe. O fator determinante para os diferentes resultados entre as fazendas é o valor da evapotranspiração de referência (ETo) anual, calculada com base nas ETo de cada mês que ocorreu irrigação.

Tabela 15 – Cálculo da demanda hídrica do coqueiro nas fazendas de AL, BA e SE

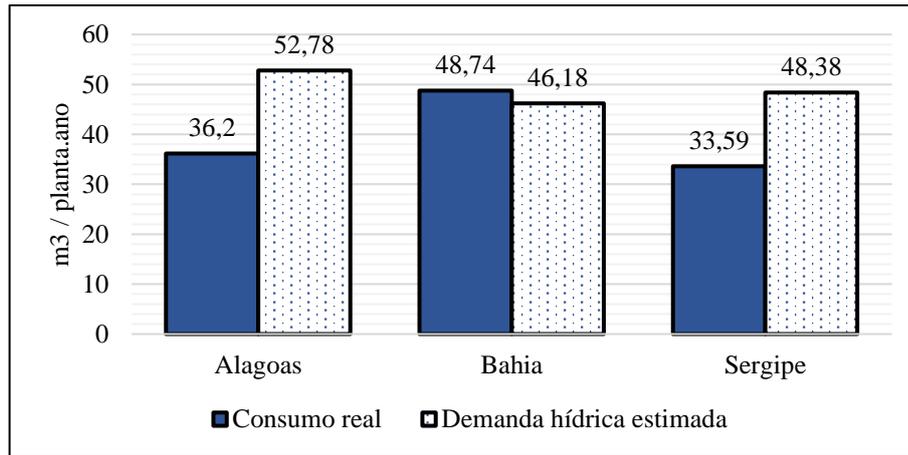
Idade da planta (ano)	ETo anual (mm/dia)	Kc	Kr	ETc (mm/dia)	Eficiência da irrigação	Lâmina bruta (mm/dia)	Lâmina bruta* (m ³ /pl.ano)
Faz. Alagoas							
1	4,8	0,65	0,12	0,37	90%	0,42	4,99
2	4,8	0,85	0,29	1,18	90%	1,31	15,78
3	4,8	1,00	0,59	2,83	90%	3,15	37,78
4	4,8	1,00	0,88	4,22	90%	4,69	56,34
5	4,8	1,00	0,94	4,51	90%	5,01	60,19
Média - 17 anos	-	-	-	3,96	-	4,40	52,78
Faz. Bahia							
1	4,2	0,65	0,12	0,33	90%	0,36	4,37
2	4,2	0,85	0,29	1,04	90%	1,15	13,81
3	4,2	1,00	0,59	2,48	90%	2,75	33,05
4	4,2	1,00	0,88	3,70	90%	4,11	49,30
5	4,2	1,00	0,94	3,95	90%	4,39	52,66
Média - 17 anos	-	-	-	3,46	-	3,85	46,18
Faz. Sergipe							
1	4,4	0,65	0,12	0,34	90%	0,38	4,58
2	4,4	0,85	0,29	1,08	90%	1,21	14,47
3	4,4	1,00	0,59	2,60	90%	2,88	34,63
4	4,4	1,00	0,88	3,87	90%	4,30	51,65
5	4,4	1,00	0,94	4,14	90%	4,60	55,17
Média - 17 anos	-	-	-	3,63	-	4,03	48,38

Fonte: elaborada pela autora.

O Gráfico 2 apresenta a comparação entre a demanda hídrica estimada e o consumo de cada fazenda conforme informado pelos produtores. As fazendas de Alagoas e Sergipe utilizam 31% menos água do que o estimado, enquanto a fazenda da Bahia utiliza 6% a mais do que o estimado por planta/ano.

Comparando-se todas as fazendas analisadas entre si, observa-se que somente na Bahia se irrigou a mais do que o estimado. E que Trairi-CE apresentou o pior análise da demanda hídrica, sendo a fazenda que utilizou a menor quantidade de água na irrigação

Gráfico 2 – Comparação entre o consumo real nas fazendas de AL, BA e SE e a demanda hídrica estimada



Fonte: elaborado pela autora.

Calculou-se o valor do PAI_{ac} para as fazendas desse estudo, conforme Miranda et al. (2017). Observou-se que a fazenda de Alagoas irrigou 31% menos e obteve o melhor PAI_{ac} , enquanto a fazenda de Sergipe, que também irrigou 31% menos, obteve o PAI_{ac} similar a Bahia, que irrigou 6% a mais do que o estimado (Tabela 16).

Tabela 16 – Relação entre a quantidade de água utilizada na irrigação e a produção de água de coco *in natura*

Fazendas	Água de coco <i>in natura</i> produzida no pomar (L)	Água da irrigação do pomar (m ³)	Relação L de água de coco <i>in natura</i> /m ³ de água
Alagoas	12.771	6.407	2,0
Bahia	15.563	9.991	1,6
Sergipe	11.094	6.886	1,6

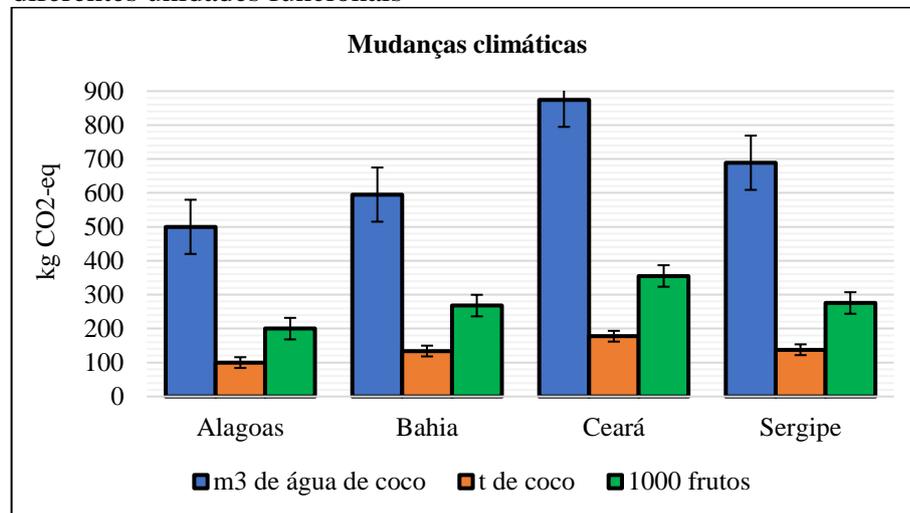
Fonte: elaborada pela autora.

5.3 Pegada de carbono

A fazenda do Ceará apresenta pior desempenho em relação a pegada de carbono medida por 1000 frutos produzidos, tonelada de coco ou m³ de água de coco *in natura* (Gráfico 3). A fazenda em Alagoas tem o melhor desempenho, devido as menores emissões de CO₂ na mudança no uso da terra, causado pelo maior teor de carbono no solo por hectare.

Foi observado, em todas as fazendas, que ao se realizar os cálculos da pegada de carbono por tonelada de coco e quantidade de coco produzido, o resultado final apresenta uma redução de 78% e 55%, respectivamente, em relação ao resultado por m³ de água de coco *in natura*.

Gráfico 3 – Impacto nas mudanças climáticas em cada região com diferentes unidades funcionais



Fonte: elaborado pela autora.

A análise da pegada por t de coco produzido permite comparar a pegada de carbono do coco com a pegada de outras culturas irrigadas (Tabela 17), como melão brasileiro (Santos *et al.*, 2018), manga brasileira (Carneiro *et al.*, 2019), banana equatoriana (Roibás *et al.*, 2016), morango espanhol, britânico e japonês (Mordini *et al.*, 2009) e laranja brasileira, espanhola e italiana (Mordini *et al.*, 2009).

Observa-se que a pegada de carbono do coco foi próxima ou menor que os valores apresentados pelos outros frutos irrigados. O impacto do coco foi menor que o da laranja espanhola, morango espanhol, britânico e japonês; banana equatoriana e o melão brasileiro. E o impacto do coco foi similar a laranja brasileira e italiana, e a manga brasileira (Tabela 17).

Tabela 17 – Comparação da pegada de carbono do coco no Estados do Nordeste, com valores de outras frutas na literatura

Pegada de carbono (mudanças climáticas)	Valor (kg CO₂/t)
Coco, de Alagoas, Brasil, este estudo	100
Coco, da Bahia, Brasil, este estudo	134
Coco, do Ceará, Brasil, este estudo	177,6
Coco, de Sergipe, Brasil, este estudo	137,8
Laranja, no Brasil (Mordini <i>et al.</i> , 2009)	90
Laranja, na Espanha (Mordini <i>et al.</i> , 2009)	250
Laranja, na Itália (Mordini <i>et al.</i> , 2009)	100
Morango, na Espanha (Mordini <i>et al.</i> , 2009)	470
Morango, no Reino Unido (Mordini <i>et al.</i> , 2009)	540
Morango, no Japão (Mordini <i>et al.</i> , 2009)	3.990
Banana, no Equador (Roibás <i>et al.</i> , 2016)	1.250
Manga, no Brasil (Carneiro <i>et al.</i> , 2018)	130
Melão, no Brasil (Santos <i>et al.</i> , 2018)	754

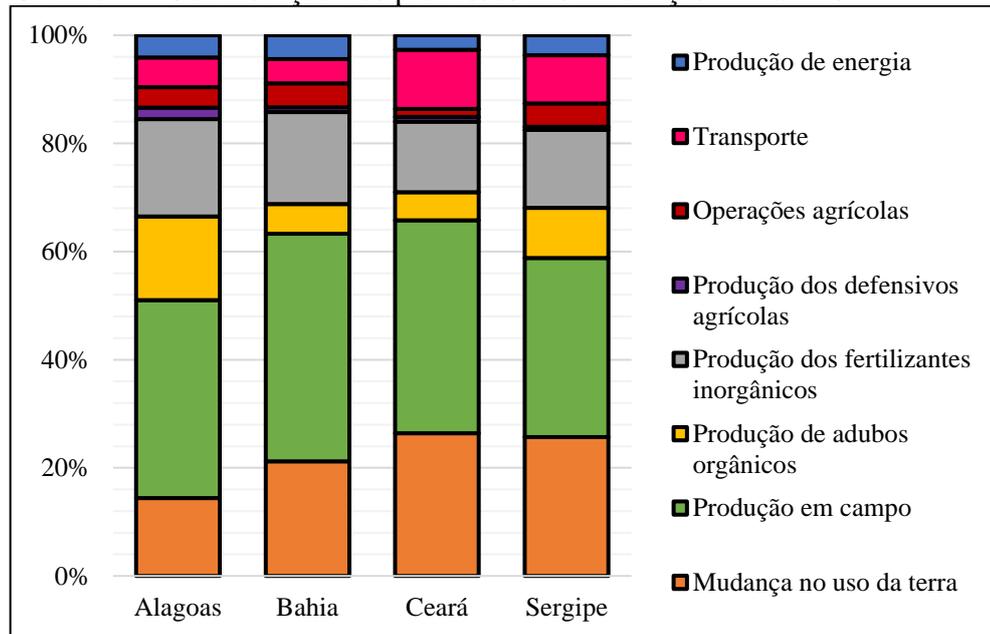
Fonte: elaborada pela autora.

A produção em campo é o processo que apresenta o maior impacto na pegada de carbono em todas as fazendas, quando todos os processos relacionados ao ciclo de vida do coco são considerados (Gráfico 4). Isso decorre, principalmente, das emissões de óxido nitroso associadas ao uso do esterco de frango, ureia e mono-amônio-fosfato.

A mudança no uso da terra é o segundo processo que mais impacta nessa categoria, exceto na fazenda de Alagoas. Nessa fazenda, a produção dos fertilizantes inorgânicos é o segundo processo que mais impacta, seguido pela produção de adubos orgânicos, ficando a mudança do uso da terra em quarto lugar. Isso pode ser explicado em virtude do uso de maiores quantidades de ureia, superfosfato simples e esterco de frango na fazenda de Alagoas e também por essa fazenda ter as menores emissões na mudança no uso da terra, em razão do seu maior estoque de carbono no solo.

Nas fazendas da Bahia, Ceará e Sergipe, a produção de fertilizantes inorgânicos e as operações agrícolas e transporte ocupam o terceiro e quarto lugar, respectivamente, com relação aos impactos causados pelo sistema de produção.

Gráfico 4 – Contribuição dos processos nas mudanças climáticas



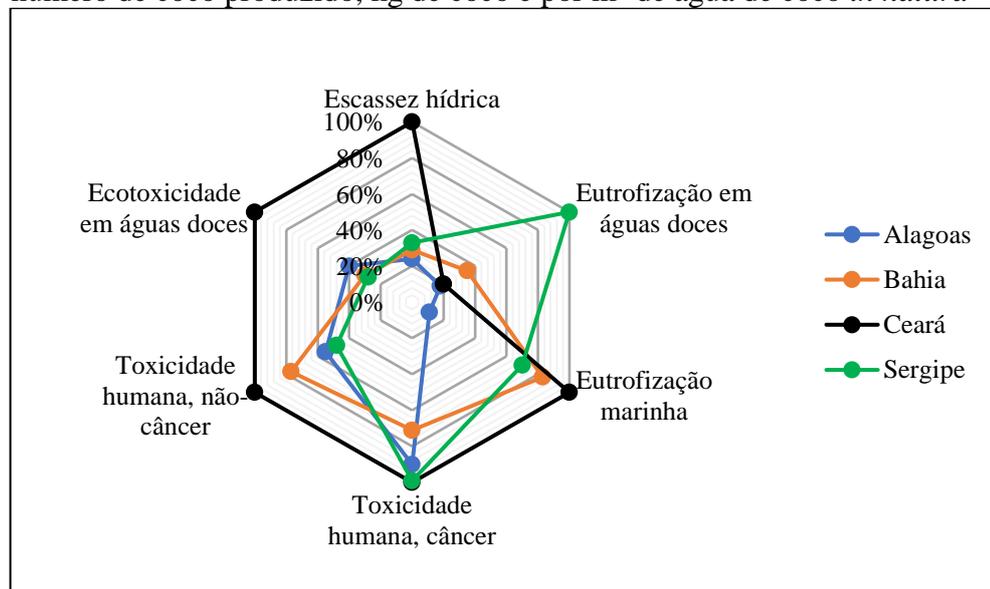
Fonte: elaborado pela autora.

5.4 Pegada hídrica

Comparando-se o perfil de pegada hídrica por fazenda, observa-se que o Ceará obteve o maior impacto por 1000 frutos produzidos, t de coco e m³ de água de coco *in natura*, pois a mesma apresentou o pior desempenho em 5 do total de 6 categorias avaliadas, sendo elas: escassez hídrica, eutrofização marinha, toxicidade humana, câncer, não-câncer e ecotoxicidade em águas doces. Já a fazenda de Alagoas apresenta o melhor desempenho em 3 das 6 categorias de impacto avaliadas: escassez hídrica, eutrofização em águas doces e marinha (Gráfico 5).

Os valores dos impactos totais em cada uma das categorias encontram-se no APÊNDICE C (Tabela C1).

Gráfico 5 – Perfil de pegada hídrica do coco verde em cada fazenda, por número de coco produzido, kg de coco e por m³ de água de coco *in natura* *



*Ocorrem os mesmos percentuais quando realizada a análise por fruto, kg de coco e m³ de água de coco *in natura*.

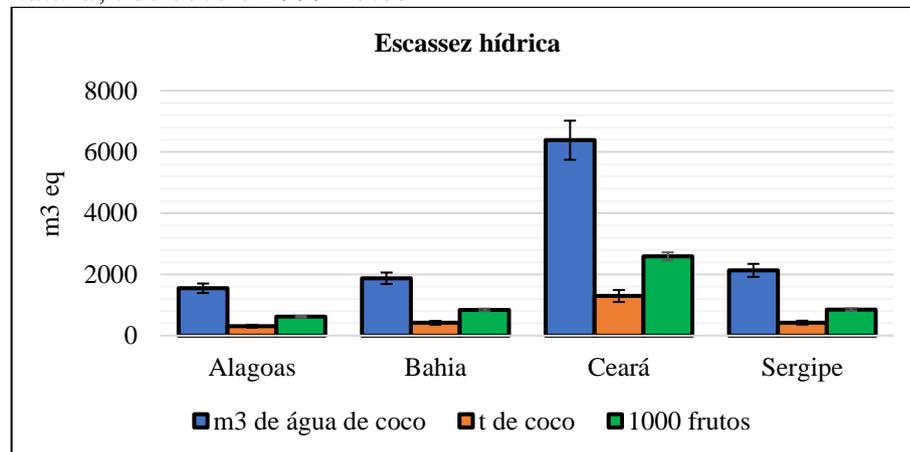
Fonte: elaborado pela autora.

5.4.1 Escassez hídrica

Na categoria escassez hídrica, a fazenda do Ceará apresenta o pior desempenho com relação às demais fazendas. O Ceará sofre historicamente com longos períodos de estiagem, principalmente nos meses com menor precipitação quando é necessária uma maior quantidade de água na irrigação.

A seguir, apresenta-se o resultado do impacto da escassez hídrica na fazendas, considerando diferentes unidades funcionais (Gráfico 6). Em todas as fazendas há uma redução do impacto em 78% e 55% quando os resultados são apresentados em função da tonelada de coco e quantidade de frutos produzidos, respectivamente.

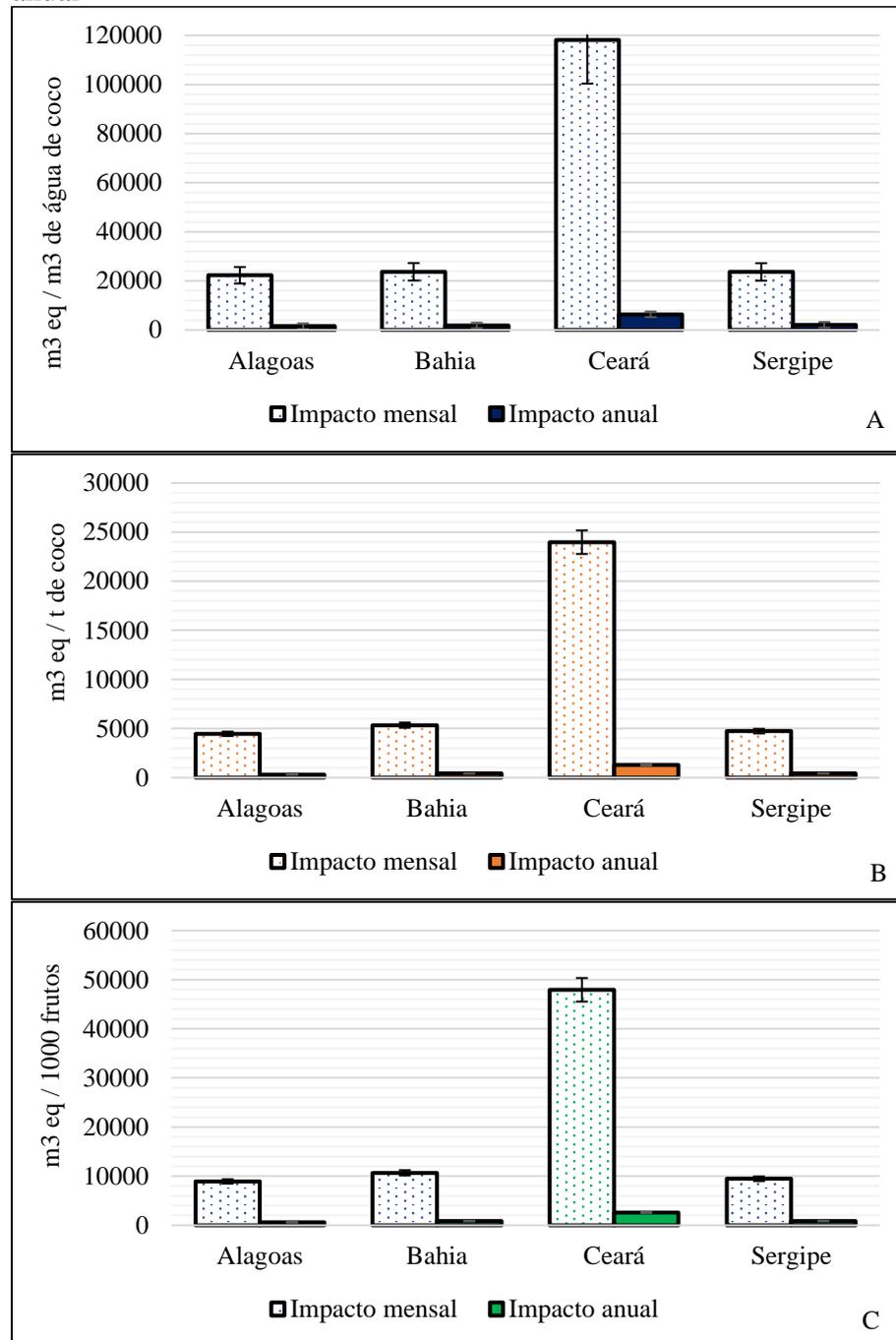
Gráfico 6 – Impactos na escassez hídrica, por m³ de água de coco *in natura*, t de coco e 1000 frutos



Fonte: elaborado pela autora.

Observa-se que quando o impacto é calculado utilizando-se fatores de caracterização mensais, seu valor é muito superior à situação em que FC anuais são empregados. A maior diferença entre o uso dos fatores é observada nos resultados de escassez do Ceará, visto que esse Estado apresenta os maiores FC mensal e anual. Considerando que os estudos de pegada hídrica podem levar a certificação ambiental de produto, é de grande relevância que seja determinado qual estratégia empregar para o cálculo desse impacto em Regras de Categorias de Produto, estabelecidas em programas nacionais de certificação baseados na ISO 14025 (Gráfico 7).

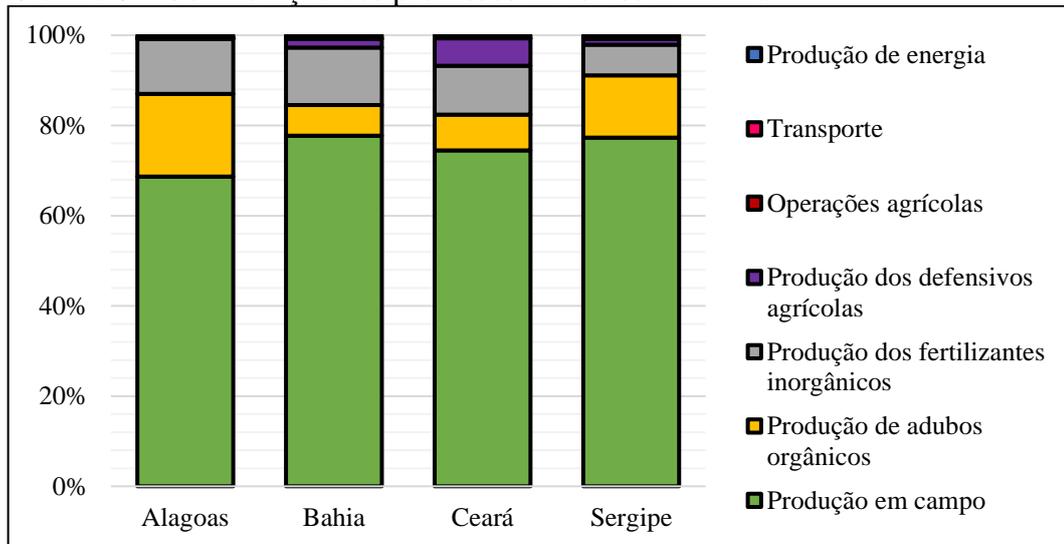
Gráfico 7 – Impactos na escassez hídrica, utilizando-se FC mensais e anual



Fonte: elaborado pela autora.

Em todas as fazendas, a produção em campo é o processo que mais impacta na escassez hídrica, devido ao consumo de água na irrigação (Gráfico 8). Em segundo lugar, a produção de adubos orgânicos, seguida pela produção dos fertilizantes inorgânicos, são os processos que mais impactam o sistema de cultivo, devido ao consumo de água durante a fabricação desses insumos.

Gráfico 8 – Contribuição dos processos na escassez hídrica

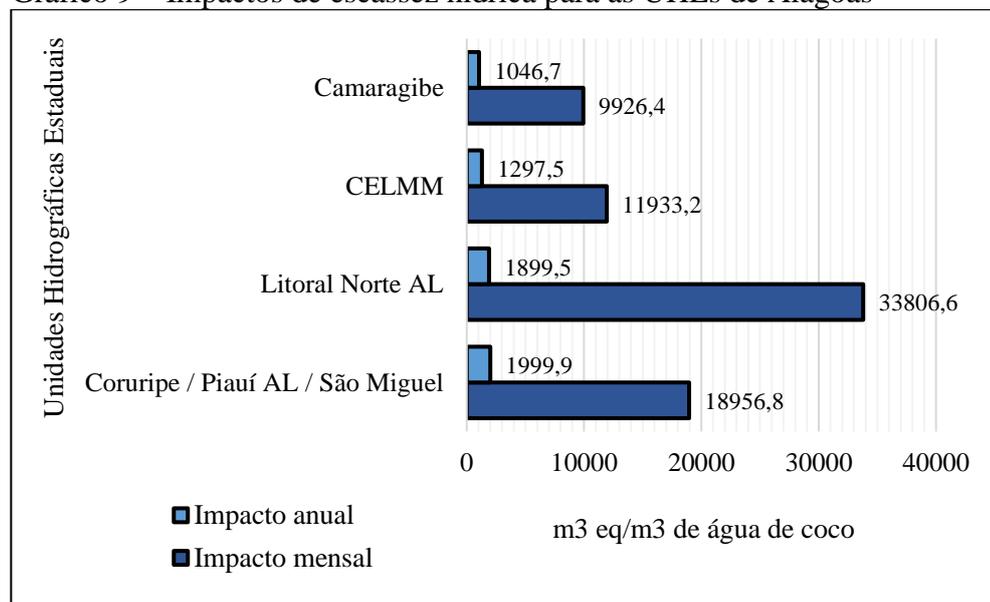


Fonte: elaborado pela autora.

Além da diferença no impacto de escassez hídrica, com relação ao uso dos FC mensais e anuais, há também uma variação nesse impacto ao considerar a UHE na qual o município produtor está inserido em cada Estado.

No Gráfico 9 apresenta-se os impactos de escassez hídrica mensal e anual para as UHEs onde estão inseridos os principais municípios produtores de coco no Estado de Alagoas. O maior impacto é observado na UHE do Litoral Norte AL, e o menor impacto ocorre na UHE de Camaragibe. Essa variação dos impactos ocorre devido aos diferentes valores dos FC mensais e anuais relativos a cada UHE.

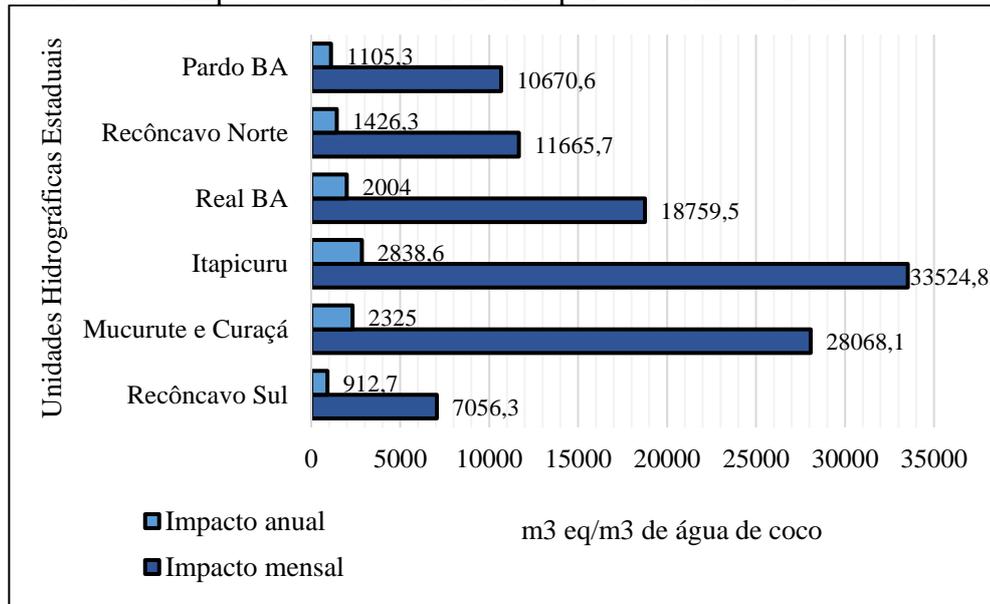
Gráfico 9 – Impactos de escassez hídrica para as UHEs de Alagoas



Fonte: elaborado pela autora.

Os impactos de escassez hídrica para as UHEs da Bahia são apresentados no Gráfico 10. É possível observar que a UHE de Itapicuru é responsável pelo maior impacto dentre as UHEs dos principais municípios produtores de coco do Estado, enquanto a UHE do Recôncavo Sul apresenta o menor impacto.

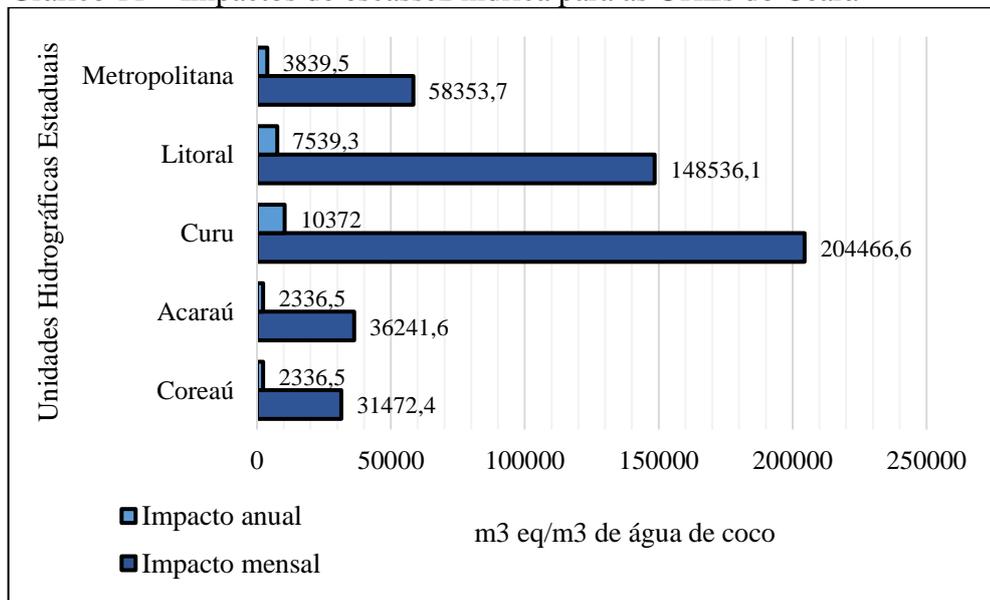
Gráfico 10 – Impactos de escassez hídrica para as UHEs da Bahia



Fonte: elaborado pela autora.

No Ceará, a UHE do Curu apresenta o maior impacto de escassez hídrica, enquanto a UHE de Coreaú e Acaraú apresentam o menor impacto, quando comparadas as demais UHEs onde estão localizados os principais municípios produtores de coco do Estado (Gráfico 11).

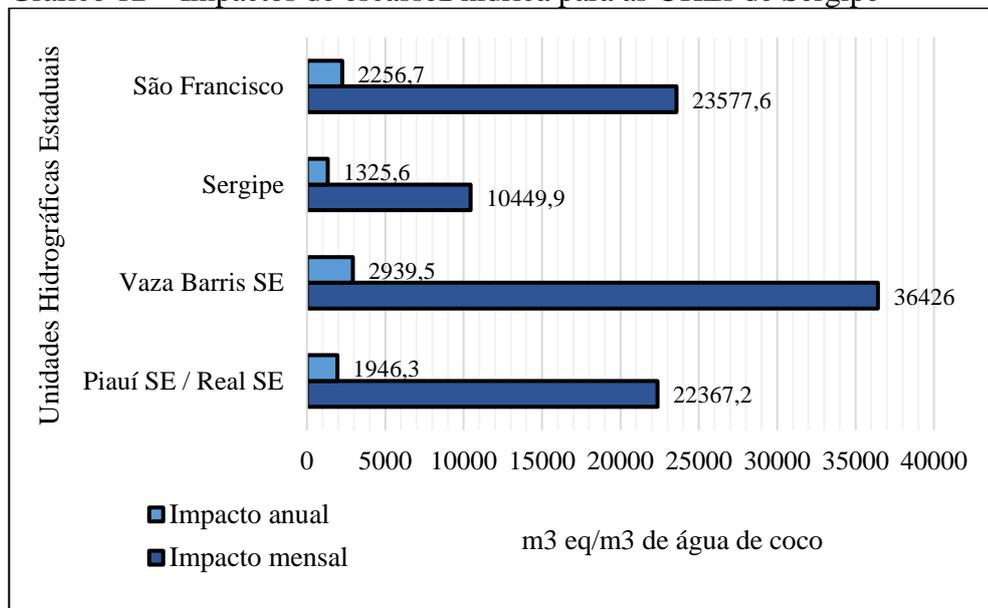
Gráfico 11 – Impactos de escassez hídrica para as UHEs do Ceará



Fonte: elaborado pela autora.

Em Sergipe, também é observado uma variação quanto aos impactos de escassez hídrica de acordo com a UHEs onde estão localizados os principais municípios produtores do Estado. O maior impacto é observado na UHE de Vaza Barris SE, enquanto o menor impacto ocorre na UHE de Sergipe (Gráfico 12).

Gráfico 12 – Impactos de escassez hídrica para as UHEs de Sergipe

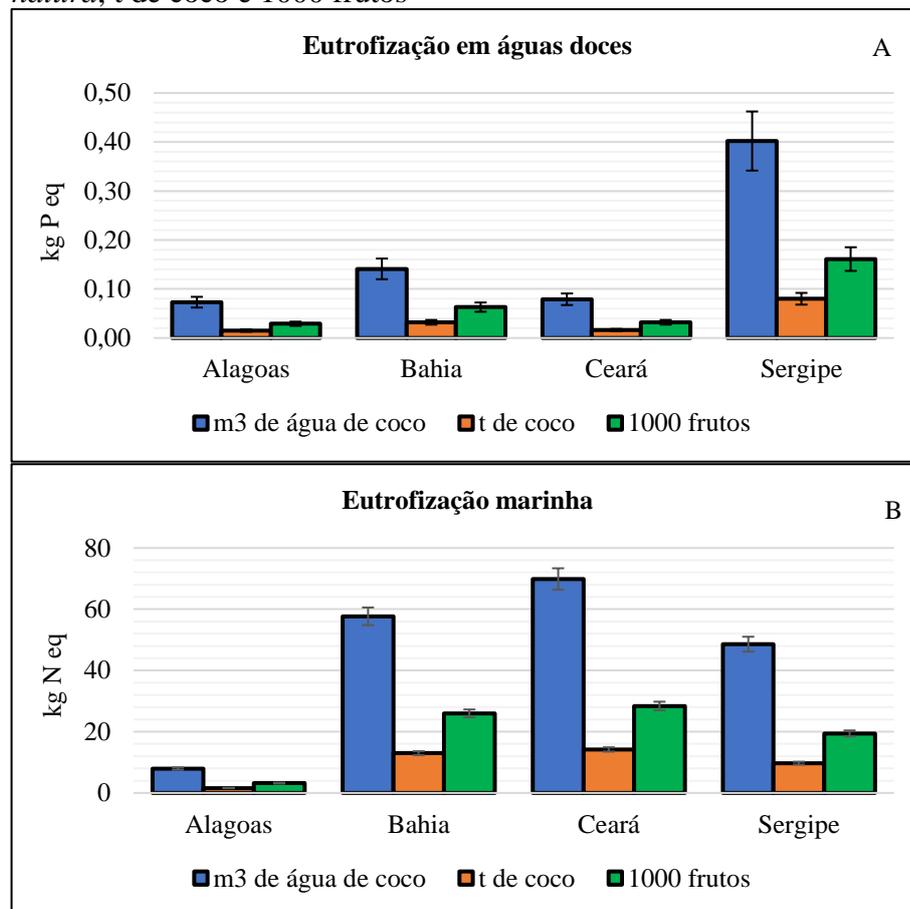


Fonte: elaborado pela autora.

5.4.2 Eutrofização em águas doces e marinha

Nas duas categorias a fazenda de Alagoas apresentou o melhor desempenho, pois as suas emissões de fósforo e nitrogênio por m³ de água *in natura*, t de coco e 1000 frutos foram as menores, quando comparadas as demais fazendas analisadas. O pior resultado para eutrofização em águas doces foi em Sergipe (Gráfico 13A), enquanto para eutrofização marinha, foi na fazenda do Ceará, ambos em todas as unidades funcionais adotadas (Gráfico 13B).

Gráfico 13 – Impactos na eutrofização, por m³ de água de coco *in natura*, t de coco e 1000 frutos

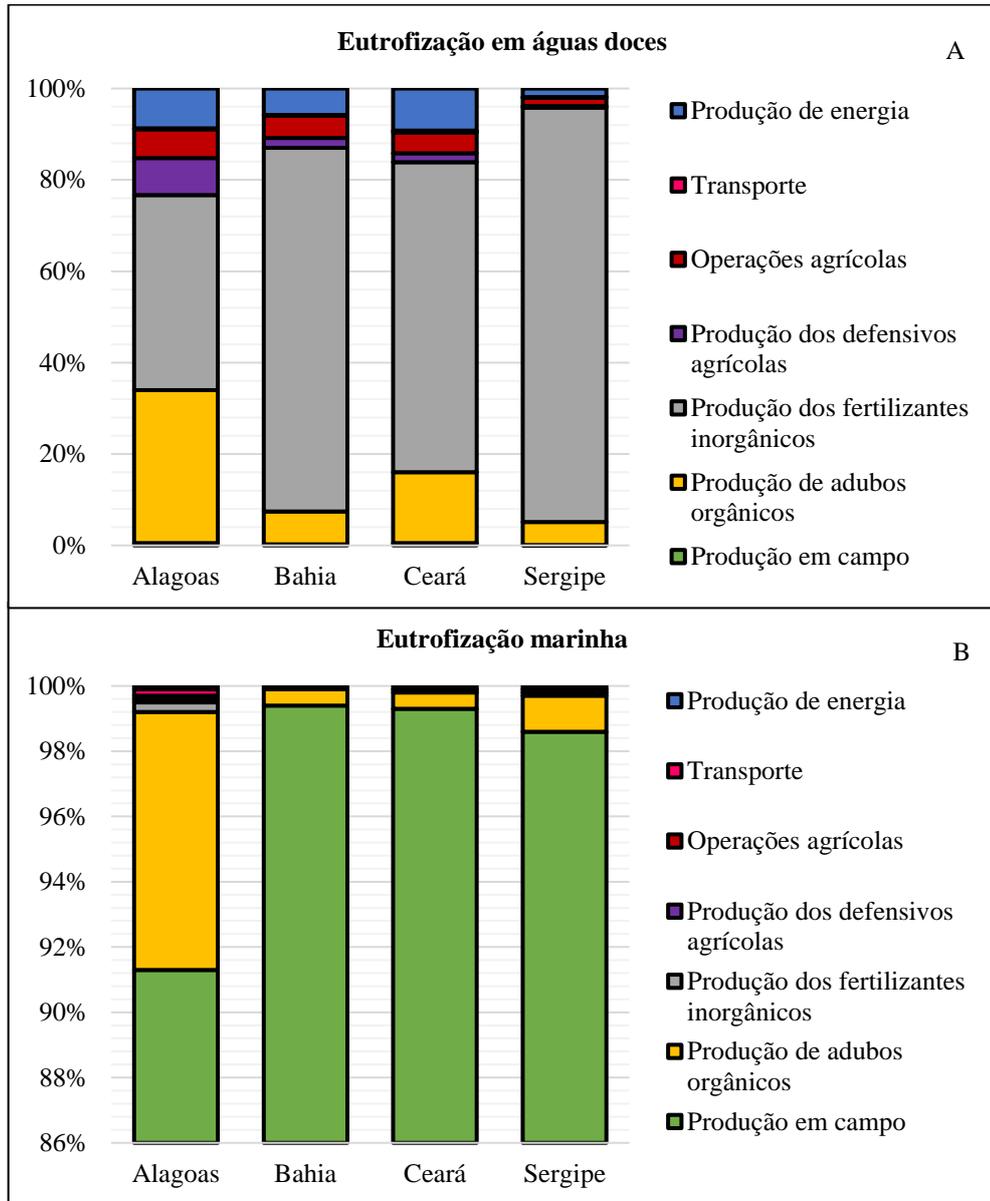


Fonte: elaborado pela autora.

A produção dos fertilizantes inorgânicos é o processo que mais impacta em todas as fazendas analisadas na categoria de impacto eutrofização em águas doces (Gráfico 14A). Logo depois, o processo que mais impacta é a produção dos adubos orgânicos.

Na categoria eutrofização marinha, o processo que mais impacta, em todas as fazendas, é a produção em campo, representando mais de 90% do impacto total em todos os sistemas de cultivo. Isso ocorre devido ao uso de ureia e esterco, que possuem um elevado teor de nitrogênio, que ao não serem totalmente consumidos pelos coqueiros acabam lixiviados e assim poluem os corpos d'água (Gráfico 14B).

Gráfico 14 – Contribuição dos processos na eutrofização em águas doces e marinhas

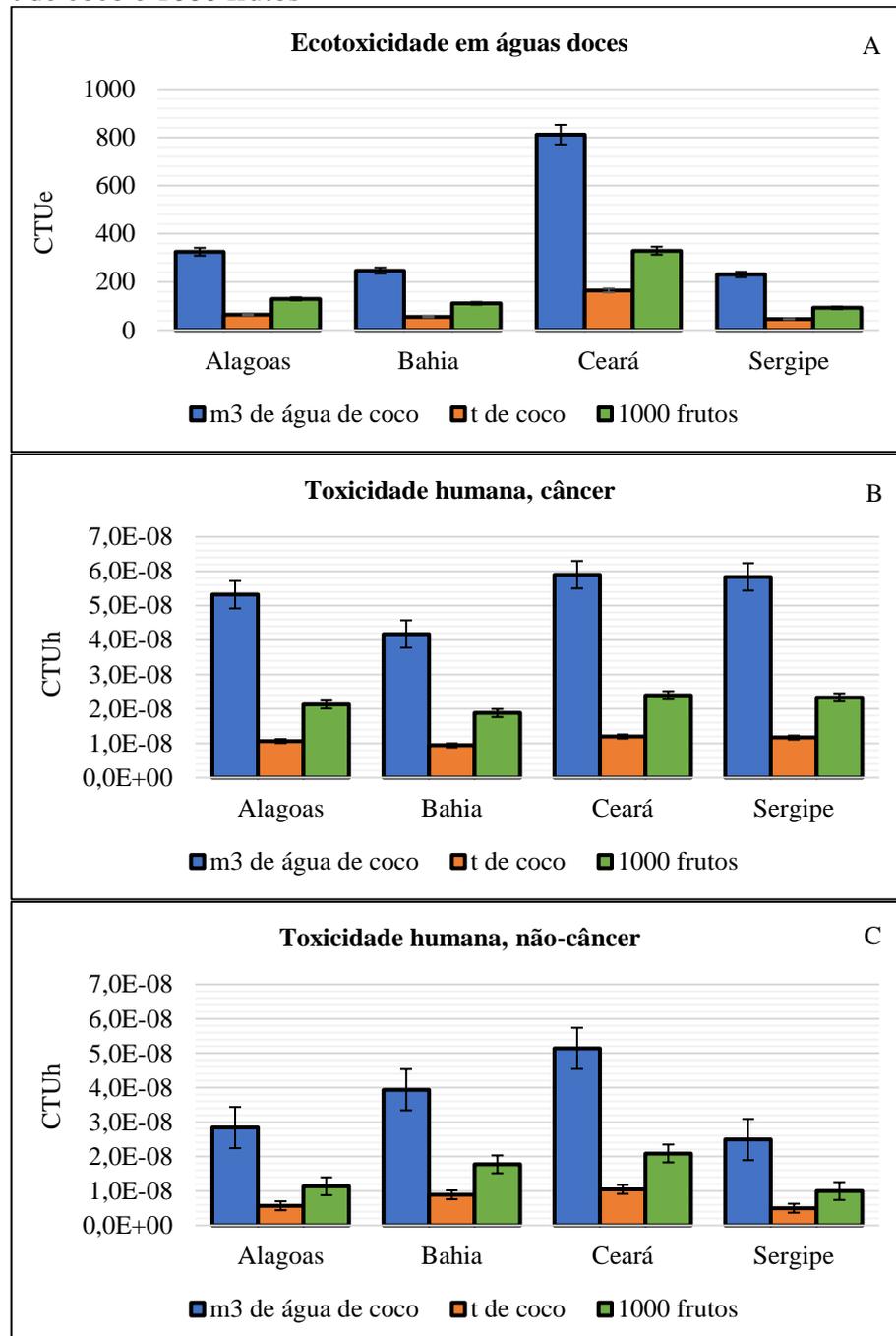


Fonte: elaborado pela autora.

5.4.3 Ecotoxicidade em águas doces, toxicidade humana, câncer e não-câncer

A fazenda da Bahia apresenta o melhor desempenho na categoria toxicidade humana, câncer (Gráfico 15B); enquanto a Sergipe apresenta o melhor desempenho nas categorias de ecotoxicidade em águas doces e toxicidade humana, não câncer (Gráfico 15A e 15C). Já a fazenda do Ceará apresenta o pior desempenho nas três categorias de impacto, quando comparada as demais fazendas analisadas.

Gráfico 15 – Impactos na toxicidade, por m³ de água de coco *in natura*, t de coco e 1000 frutos



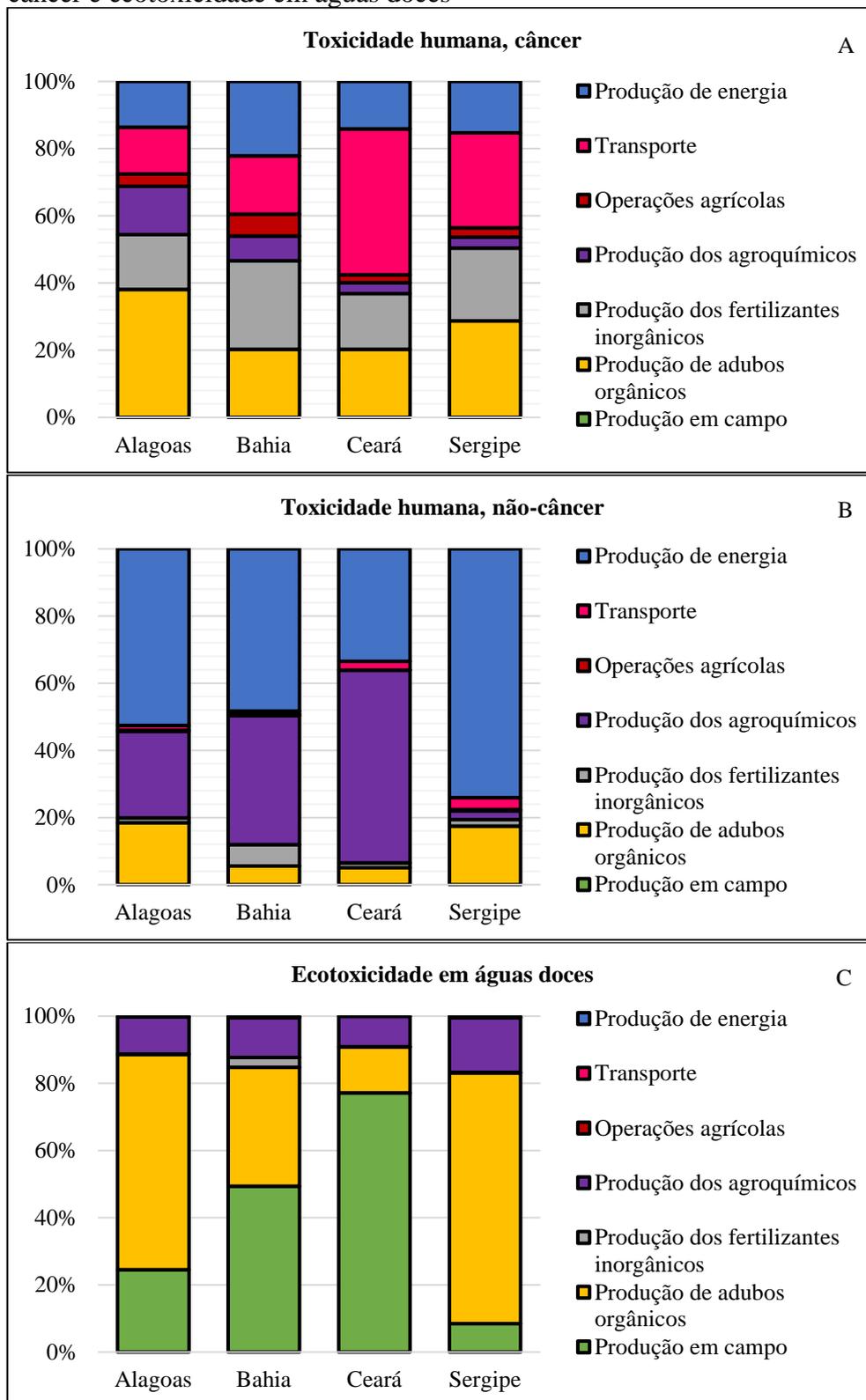
Fonte: elaborado pela autora.

Na categoria toxicidade humana, câncer os processos que mais impactam são a produção de adubos orgânicos e fertilizantes inorgânicos, e o transporte (Gráfico 16A). A variação na contribuição desses processos em cada fazenda ocorre devido às diferenças nos inventários. Por exemplo, a fazenda de Alagoas utiliza uma maior quantidade de adubo orgânico, cuja produção causa um maior impacto nesta categoria. Já na fazenda do Ceará, a distância dos insumos até a fazenda é maior do que nas demais, sendo o transporte o processo que mais impacta na avaliação dessa categoria.

Na toxicidade humana, não-câncer os processos que mais impactam nas fazendas são a produção da energia, utilizada na atividade de irrigação dos pomares, a produção dos defensivos agrícolas e a produção de adubos orgânicos. Esse resultado se deve as emissões das substâncias acefato, acetaldeído e aldrin para o ar, solo e água oriundos da produção de adubos orgânicos e dos defensivos utilizados no sistema de produção (Gráfico 16B).

Por fim, a produção de adubos orgânicos e a produção em campo são os processos que mais impactam na ecotoxicidade em água doces em todas as fazendas. Na produção em campo o impacto é gerado principalmente devido ao uso do esterco de frango (Gráfico 16C).

Gráfico 16 – Contribuição dos processos na toxicidade humana, câncer, não-câncer e ecotoxicidade em águas doces



Fonte: elaborado pela autora.

5.5 Análises de incerteza

Utilizou-se o método de Monte Carlo para a realização da análise de incerteza, comparando-se todas as fazendas em cada uma das categorias de impacto analisadas. O resultado é apresentado na forma de porcentagem, com relação à quantidade de vezes em que uma das fazendas apresenta uma melhor performance do que a outra, em um nível de significância de 95% (Tabela 18).

Com relação a categoria mudanças climáticas, as fazendas da Bahia e Alagoas apresentaram menor impacto que a do Ceará. A fazenda de Alagoas também obteve melhor resultado que a de Sergipe.

Na escassez hídrica, nenhuma das interações entre as fazendas apresentou diferenças significativas.

Na eutrofização em águas doces, a fazenda de Alagoas apresentou menor impacto do que as fazendas da Bahia e Sergipe. E as fazendas da Bahia e Ceará também obtiveram um melhor resultado do que a de Sergipe. quatro interações apresentaram diferenças significativas.

Na eutrofização marinha, a fazenda de Alagoas apresentou um menor impacto do que as fazendas da Bahia, Ceará e Sergipe.

Na toxicidade humana, câncer, a fazenda da Bahia apresentou menor impacto do que as fazendas do Ceará e Sergipe. Já na categoria de toxicidade humana, não-câncer, a fazenda de Alagoas apresentou o menor impacto, com relação as fazendas da Bahia e do Ceará, enquanto a fazenda da Bahia apresentou o menor impacto que a do Ceará.

Por fim, na ecotoxicidade em águas doces as fazendas de Alagoas e da Bahia apresentaram um menor impacto do que a fazenda do Ceará.

Tabela 18 – Resultado da análise de incerteza entre as fazendas

Categorias de impacto	Unidade	(A)	(B)	% em 1000 simulações que A < B
Mudanças climáticas	CO ₂ -eq	Alagoas	Bahia	92%
		Alagoas	Ceará	100%
		Alagoas	Sergipe	100%
		Bahia	Ceará	100%
		Bahia	Sergipe	85%
		Ceará	Sergipe	3%
Escassez hídrica	m ³	Alagoas	Bahia	62%
		Alagoas	Ceará	64%
		Alagoas	Sergipe	60%
		Bahia	Ceará	42%
		Bahia	Sergipe	55%
		Ceará	Sergipe	56%
Eutrofização em águas doces	kg P eq	Alagoas	Bahia	100%
		Alagoas	Ceará	79%
		Alagoas	Sergipe	100%
		Bahia	Ceará	1%
		Bahia	Sergipe	100%
		Ceará	Sergipe	100%
Eutrofização marinha	kg N eq	Alagoas	Bahia	100%
		Alagoas	Ceará	100%
		Alagoas	Sergipe	100%
		Bahia	Ceará	73%
		Bahia	Sergipe	28%
		Ceará	Sergipe	11%
Toxicidade humana, câncer	CTUh	Alagoas	Bahia	1%
		Alagoas	Ceará	81%
		Alagoas	Sergipe	73%
		Bahia	Ceará	100%
		Bahia	Sergipe	100%
		Ceará	Sergipe	42%
Toxicidade humana, não-câncer	CTUh	Alagoas	Bahia	97%
		Alagoas	Ceará	100%
		Alagoas	Sergipe	26%
		Bahia	Ceará	97%
		Bahia	Sergipe	1%
		Ceará	Sergipe	1%
Ecotoxicidade em águas doces	CTUe	Alagoas	Bahia	2%
		Alagoas	Ceará	100%
		Alagoas	Sergipe	0%
		Bahia	Ceará	100%
		Bahia	Sergipe	29%
		Ceará	Sergipe	0%

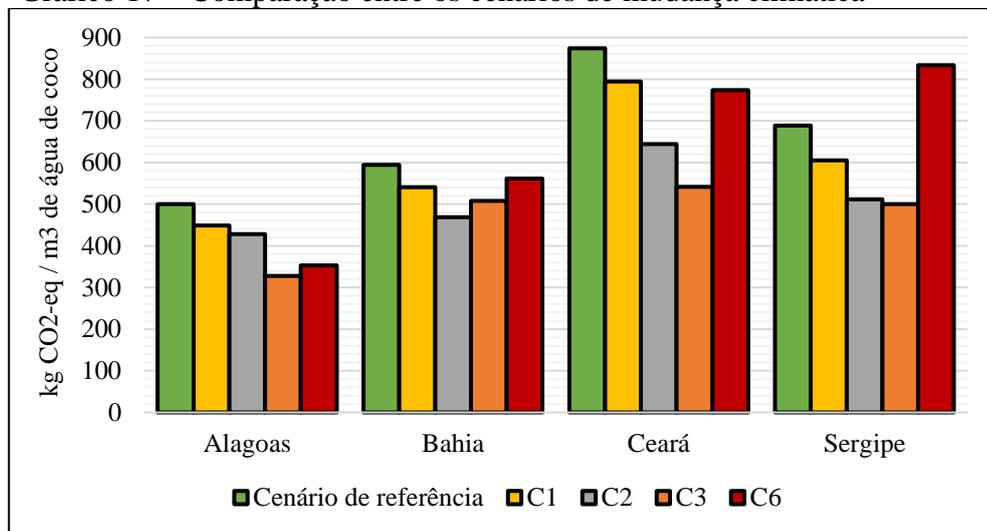
Fonte: elaborada pela autora.

5.6 Análise de cenários

5.6.1 Cenários da pegada de carbono

Para investigar a possível redução do impacto na categoria mudanças climáticas, comparou-se o cenário de referência, que é o impacto causado por um plantio de 17 anos, considerando a MUT, e as emissões de produção e uso dos insumos relatados nas visitas técnicas realizadas as fazendas, aos cenários C1 (produção em 30 anos), C2 (produção em 17 anos, sem MUT), C3 (MUT a partir de médias Estaduais) e C6 (ajuste dos fertilizantes)(Gráfico 17).

Gráfico 17 – Comparação entre os cenários de mudança climática



Fonte: elaborado pela autora.

A avaliação dos impactos nos cenários 1, 2 e 3 apresentou uma diminuição das emissões de CO₂-eq em todas as fazendas quando comparados ao cenário de referência, exceto o cenário 6 que apresentou um aumento das emissões de CO₂-eq, na fazenda de Sergipe.

Em C1, a fase de estabilização da produção passou de 12 para 25 anos, assim com o aumento da produtividade de água de coco *in natura*, que influência indiretamente no cálculo da pegada de carbono, ocorreu uma diminuição do impacto total nesse cenário.

O C2 apresentou uma redução, em média, de 22% do impacto com relação ao cenário de referência, ao não considerar a transformação da terra para o início do plantio.

C3 apresentou a maior redução no impacto, quando comparado ao cenário de referência, em média houve uma diminuição de 30% do impacto. Isso ocorre, pois no cenário de referência os valores dos estoques de carbono na biomassa e no solo para o bioma Caatinga utilizados são uma média mundial para as tipologias de savana estépica. No entanto, com a utilização dos valores dos estoques de carbono na biomassa e no solo calculados para cada um

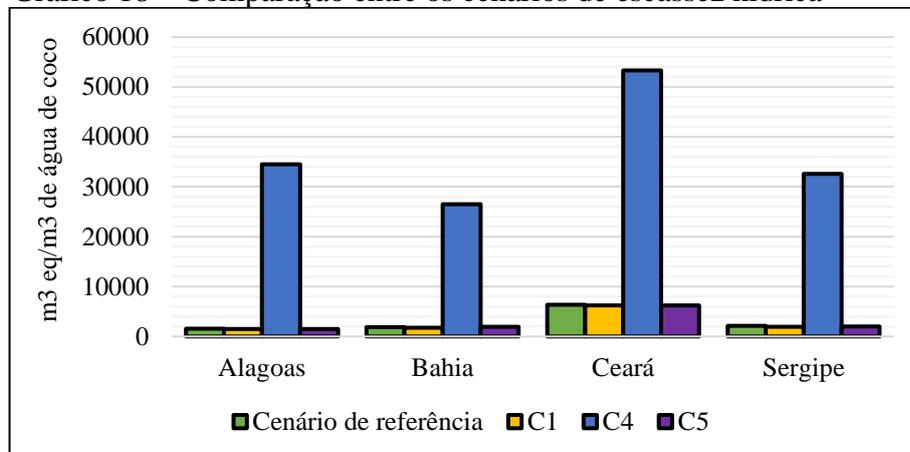
dos Estados Brasileiros em Novaes *et al.*, (2017), é possível observar que com o uso desses valores regionalizados há uma diminuição considerável das emissões de CO₂-eq. Outro ponto também é a diferença na área em que ocorre a MUT, no cenário de referência considera-se que 100% da vegetação nativa foi removida, no entanto em C3 considera-se uma média do impacto entre um cenário onde não há necessidade de remoção de vegetação nativa (área já agrícola), 50% e 100% de remoção da vegetação nativa.

Em C6, principalmente devido as correções na quantidade de ureia utilizada nas fazendas, houve uma diminuição média de 18% do impacto total nessa categoria de impacto.

5.6.2 Cenários da pegada hídrica – escassez hídrica

Para verificar se há redução do impacto na categoria escassez hídrica foram comparados os cenários C1 (produção em 30 anos), C4 (fatores de caracterização anuais regionalizados) e C5 (correção da demanda hídrica, quantidade de frutos e água de coco *in natura* produzida) ao cenário de referência (produção em 17 anos) (Gráfico 18).

Gráfico 18 – Comparação entre os cenários de escassez hídrica



Fonte: elaborado pela autora.

Ao comparar-se o cenário de referência com C1, observa-se que há uma diminuição de 5%, em média, do impacto na escassez hídrica em todas as fazendas. Isso ocorre, pois com o período de ocupação sendo maior, se utiliza uma maior quantidade de água na irrigação e insumos durante a fase de estabilização da produção (anos 6 ao 30), no entanto há o aumento da produção de água de coco *in natura* e diluição do impacto provocado pela produção e uso dos insumos nos primeiros cinco anos do cultivo, fazendo com que o impacto total da produção diminua. Em C5 também se observa uma diminuição do impacto de 2%, em média, quando

comparado ao cenário de referência, pois o aumento da produtividade nas fazendas influencia positivamente para a redução do impacto.

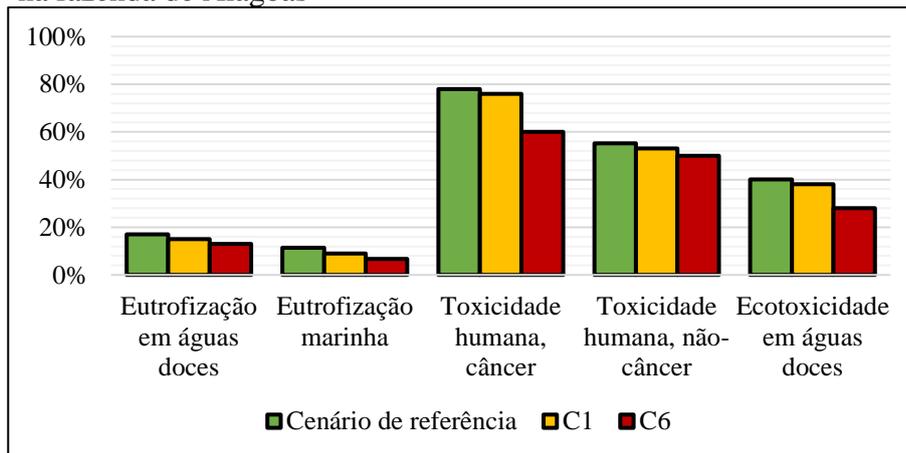
O resultado de C4 é um impacto significativamente maior quando comparado não somente ao cenário de referência, mas também aos demais cenários propostos. Isso acontece como consequência da utilização dos fatores de caracterização regionalizados, que apresentam um quadro de escassez para os Estados do Nordeste superior aos valores estimados pelo método AWARE.

5.6.3 Cenários da pegada hídrica – demais categorias de impacto

Para as demais categorias que compõem o perfil de pegada hídrica foram comparados os cenários C1 (produção em 30 anos) e C6 (ajuste dos fertilizantes) ao cenário de referência (produção em 17 anos).

Na fazenda de Alagoas os impactos de C1 e C6 dos cenários 1 e 6 foram menores do que o impacto no cenário de referência, isso ocorre devido a diluição dos impactos com o aumento da fase de produção de 17 para 30 anos em C1, e no caso de C6, por causa da correção nos valores utilizados de nitrogênio (- 46%), fósforo (- 16%) e potássio (+ 97%). No cenário de referência a quantidade de nitrogênio e fósforo utilizados estavam abaixo do recomendado, e o potássio acima, com a correção os impactos tendem a diminuir (Gráfico 19).

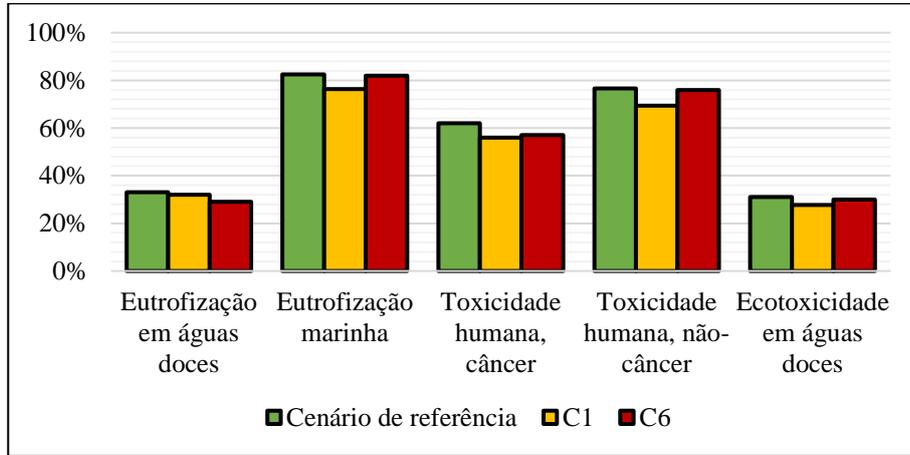
Gráfico 19 – Comparação entre os cenários para as demais categorias na fazenda de Alagoas



Fonte: elaborado pela autora.

Na Bahia, C1 apresenta um menor impacto em todas as categorias quando comparado ao cenário de referência. Em C6 foi realizada a correção das quantidades de nitrogênio (- 1%), fósforo (- 80%) e potássio (+ 24%); o que resultou também na redução do impacto em todas as categorias de impacto (Gráfico 20).

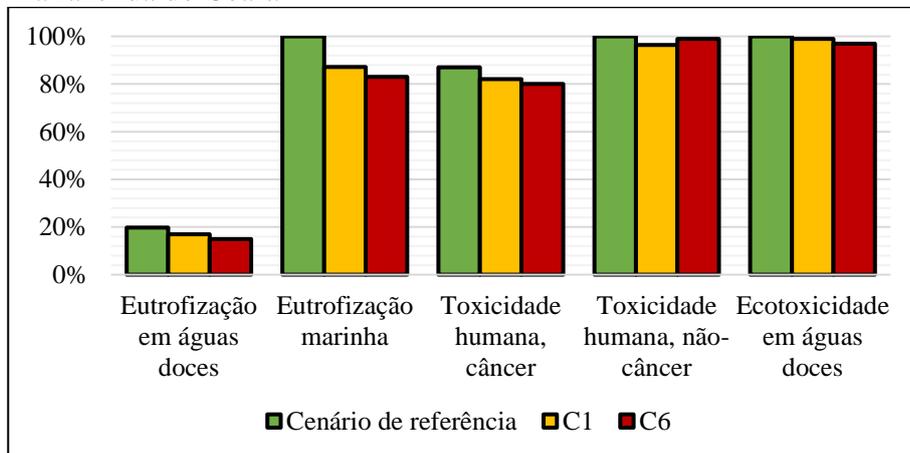
Gráfico 20 – Comparação entre os cenários para as demais categorias na fazenda da Bahia



Fonte: elaborado pela autora.

Na fazenda do Ceará, C1 apresentou os menores impactos em todas as categorias ao ser comparado ao cenário de referência. C6 também apresentou redução no impacto de todas as categorias analisadas, em virtude da correção nas quantidades de nitrogênio (- 21%), fosforo (- 34%) e potássio (-10%) (Gráfico 21).

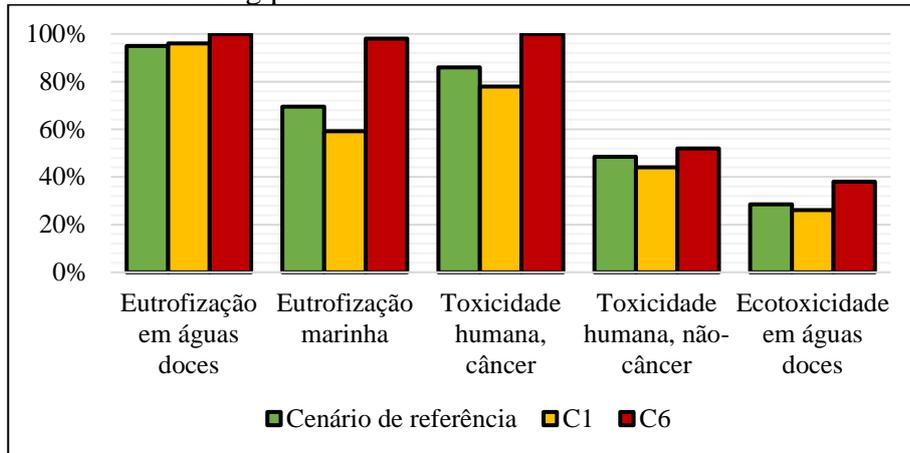
Gráfico 21 – Comparação entre os cenários para as demais categorias na fazenda do Ceará



Fonte: elaborado pela autora.

Em Sergipe, novamente o resultado de C1 foi uma redução do impacto em todas as categorias em comparação com o cenário de referência. Em C6, com a correção das quantidades de nitrogênio (+ 44%), fósforo (+ 55%) e potássio (+ 46%) houve um aumento do impacto em todas as categorias de impacto, pois a fazenda utiliza menos do que o recomendado no cenário de referência (Gráfico 22).

Gráfico 22 – Comparação entre os cenários para as demais categorias na fazenda de Sergipe



Fonte: elaborado pela autora.

7 CONCLUSÃO

A fazenda de Alagoas obteve as menores pegadas de carbono e hídrica. Já o Ceará obteve as maiores pegadas de carbono e hídrica, como consequência do maior déficit hídrico na irrigação e escassez de água da região, que ocasionou na baixa produção de frutos, e, em uma menor produtividade de água de coco *in natura*, contribuindo assim para o aumento dos impactos ambientais.

Os processos que mais impactaram na pegada de carbono, na categoria mudanças climáticas, foram a produção em campo, pelo uso de esterco de frango e ureia; seguida pela mudança no uso da terra e a produção de fertilizantes.

Na pegada hídrica, a produção em campo foi o processo de maior impacto nas categorias de escassez hídrica e eutrofização marinha. A produção de adubos orgânicos e fertilizantes inorgânicos foram os processos que mais impactaram nas categorias de eutrofização em águas doces, toxicidade humana, câncer e ecotoxicidade em águas doces. E por fim, na categoria toxicidade humana, não-câncer os processos mais impactantes foram a produção de energia e defensivos agrícolas.

Considerando-se os resultados das pegadas ambientais e das análises de cenários, sugere-se que o uso dos fertilizantes e defensivos agrícola seja realizada de forma mais eficiente, observando-se sempre os valores recomendados e a necessidade da cultura, visto que no cenário 6 com a correção dos valores foi observado uma diminuição média de 20% na pegada de carbono e 10% na hídrica. Indica-se também que seja avaliada a possibilidade de se manter o plantio por um período maior do que 17 anos, visto que em todos os cenários propostos de 30 anos houve redução de 10%, em média, dos impactos das pegadas ambientais.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, J. R. A.; MIRANDA, F. R.; NOGUEIRA, R. C.; RESENDE, S. R. **Irrigação**. [s.l.]. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoporlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7703&p_r_p_-996514994_topicoId=1310. Acesso em: 24 abr. 2018.
- ANDRADE, J. N.; ALMEIDA NETO, J.A.; PIRES, M. M. Ferramentas computacionais para análise do ciclo de vida. **Meio Ambiente Industrial**, São Paulo, v.58, p. 90-93, 2005.
- ANDRADE, E. P. **Regionalização para o semiárido brasileiro de método de avaliação de ciclo de vida para escassez hídrica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 168f, 2018.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2018. **Editora Gazeta**, Santa Cruz do Sul, 2018. 88 p.: il. ISSN 1808-4931.
- ARAGÃO, W. M.; RAMOS, S. R. R.; ALVES, M. C. S. **Cultivares de coqueiro**. [s.l.]. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7703&p_r_p_-996514994_topicoId=7832. Acesso em: 25 abr. 2018.
- ARAÚJO, T. C. M.; SANTOS, R. C. A. L.; SEOANE, J. C. S.; MANSO, V. A. V. Erosão e progradação no litoral brasileiro - Alagoas. In: MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. 1. Ed. Brasília: MMA, 2006. Cap. 8, p. 197 – 212. ISBN 8577380289.
- BAUMANN, H.; TILLMAN, A.M. **The hitch hiker's guide to LCA. An orientation in life cycle assessment methodology and application**. United States of America, 2004. 585 p. ISBN 9144023642.
- BITTENCOURT, A.; OLIVEIRA, M. B.; DOMINGUEZ, J. M. L. Erosão e progradação no litoral brasileiro - Sergipe. In: MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. 1. Ed. Brasília: MMA, 2006. Cap. 9, p. 213 – 218. ISBN 8577380289.
- BOULAY, A. M. ; MOTOSHITA, M. ; PFISTER, S. ; BULLE, C. ; MUÑOZ, I. ; FRANCESCHINI, H. ; MARGNI, M. Analysis of water use impact assessment method (part A): evaluation of modeling choices based on a quantitative comparison of scarcity and human health indicators. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s.l.], v. 20, ed. 3, p. 139 – 160, 2015.
- BOULAY, A. M.; BARE, J.; CAMILLIS, C.; DÖLL, P.; GASSERT, F.; GERTEN, D.; HUMBERT, S.; INABA, A.; ITSUBO, N.; LEMOINE, Y.; MARGNI, M.; MOTOSHITA, M.; NÚÑEZ, M.; PASTOR, A. V.; RIDOUTT, B.; SCHENCKER, U.; SHIRAKAWA, N.; VIONNET, S.; WORBE, S.; YOSHIKAWA, S.; PFISTER, S. Consensus building on the development of a stress-based indicator for LCA-based impact assessment of water

consumption: outcome of the expert workshops. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s.l], v. 20, ed. 5, p. 577 – 583, 2015.

BOULAY, A. M.; BARE, J.; BENINI, L.; BERGER, M.; LATHUILLIÈRE, M.J.; MANZARDO, A.; MARGNI, M.; MOTOSHITA, M.; NÚÑEZ, M.; PASTOR, A.V.; RIDOUTT, B.; OKI, T.; WORBE, S.; PFISTER, S. The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: Assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s.l], v. 23, ed. 2, p. 368 - 378, 2018.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **PAS 2050:2011 - Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services**. DEFRA, United Kingdom. Disponível em: <http://shop.bsigroup.com/upload/shop/download/pas/pas2050.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2017.

CARNEIRO, J. M.; DIAS, A.F.; BARROS, V.S; GIONGO, V.; MATSUURA, M.I.S.F.; FIGUEIRÊDO, M.C.B. Carbon and water footprints of Brazilian mango produced in the semiarid region. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s.l], v. 24, n. 4, p. 735-752, 2019.

CAVALCANTE, L. V. Os novos espaços da produção de coco no Ceará: um olhar para os perímetros irrigados. **Sociedade e território**, Natal, v. 27. Edição Especial I – XXII ENGA. p. 289-308, set. 2015.

CHAPAGAIN, A.K.; HOEKSTRA, A.Y. **Water footprint of nations**. (Research report series, n. 16). Delft: UNESCO, 2004.

CHEHEBE, J.R.B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 1997. 104 p. ISBN 8573031697.

CUENCA, M. A. G. **Importância econômica da cocoicultura no Brasil**. [s.l]. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoif6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7703&p_r_p_-996514994_topicoId=7829. Acesso em: 24 abr. 2018.

DIAS, A.F.; BARROS, V.S.; GIONGO, V.; BAIMA, J.S.; FIGUEIRÊDO, M.C.B. Pegada de carbono da mangueira cultivada na região do Baixo Acaraú, Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 5, 2016. Fortaleza. **Anais**. p. 396 – 401.

DOMINGUEZ, J. L.; BITTENCOURT, A. S.; SANTOS, A. N.; ANDRADE, A. C. S.; LAVENERE-WANDERLEY, A. A. O.; SILVA, I. R.; QUEIROZ, I. G.; FREITAS, L. B.; NASCIMENTO, L.; SILVA, R. P. Erosão e progradação no litoral brasileiro - Bahia. In: MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. 1. Ed. Brasília: MMA, 2006. Cap. 10, p. 219 – 226. ISBN 8577380289.

EMMENEGER, M. F.; REINHARD, J.; ZAH, R. **Sustainability quick check for biofuels**. Intermediate background report. Agroscope Reckenholz –Tänikon. Dübendorf, 2009.

EUROPEAN COMMISSION. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook** – General guide for life cycle assessment, Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg, 2010.

FERREIRA, J. M. S.; FILHO, M. M. **Pragas e métodos de controle.** [s.l.]. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7703&p_r_p_-996514994_topicoId=1314. Acesso em: 26 abr. 2018.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; KROEZE, 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**, [s.l.], v. 47, p. 404 – 414, 2013.

FIGUERÊDO, M.C.B.; DE BOER, I.J.M.; KROEZE, C.; BARROS, V.S.; 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**, [s.l.], v. 19, p. 437 – 448, 2014.

FONTES, H. R. **Produção e obtenção de mudas.** [s.l.]. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7703&p_r_p_-996514994_topicoId=7833. Acesso em: 25 abr. 2018.

FONTES, H. R. **Plantio.** [s.l.]. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7703&p_r_p_-996514994_topicoId=7829. Acesso em: 25 abr. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Quantidade da produção de coco por continente 2016.** [s.l.]. Disponível em: <http://www.fao.org/statistics/databases/en/>. Acesso em: 16 jul. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Water management.** [s.l.]. Disponível em: <http://www.fao.org/land-water/water/water-management/en/>. Acesso em: 28 jun. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **2050: A escassez de água em várias partes do mundo ameaça a segurança alimentar e os meios de subsistência.** [s.l.]. Disponível em: <http://www.fao.org/news/story/pt/item/283456/icode/>. Acesso em: 28 jun. 2018.

FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N. **Ecoinvent: overview and methology.** Ecoinvent report No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dubendorf, 77p, 2007.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS (FUNCEME). **Calendário das chuvas no Estado do Ceará**, Ceará. Disponível em:

<http://www.funceme.br/app/calendario/produto/municipios/maxima/diario?data=hoje>. Acesso em: 13 jul. 2018.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V.B. **Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2006. 128 p. ISBN: 9788521203704.

GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A.; VILLEJAS, J.; PANICHELLI, L. Life cycle assessment of biofuels: Energy and greenhouse gas balances. **Bioresource Technology**, [s.l], v. 100, p. 4919-4930, 2009.

GOEDKOOOP, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; SCHRYVER, A.; J., ZELM, R. **ReCiPe 2008**. Holanda: PRé Consultants, University of Leiden, Radboud University (CML) e National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), 2009.

GOEDKOOOP, M.; OELE, M.; LEIJTING, J.; PONSIOEN, T.; MEIJER, E. Simapro8: **Introduction to LCA with SimaPro**. Netherlands: PRé-Consultants, 2013.

HOEKSTRA, A.Y.; HUNG, P.Q. Virtual water trade. In: **A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade**. (Research report series, n. 11). Delft: IHE, 2002.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M; MEKONNEM, M. M. **The Water Footprint Assessment Manual: Setting the global standard**. London: Earthscan, 2011. 228 p. ISBN: 9781849712798.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ (IPECE). **Ceará em Mapas – Informações georreferenciadas e especializadas para os 184 municípios cearenses**, Ceará. Disponível em: <http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/index.htm>. Acesso em: 04 nov. 2018.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Anuário Estatístico do Brasil 2016**. Anu. estat. Brasil, Rio de Janeiro, v.76, p.1-1 - 8-52, 2017. ISSN 0100-1299.

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

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14044: environmental management - Life cycle assessment – Requirements and guidelines**. Genebra. ISO: 2006e.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14067:2013 - Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification and communication**. Genebra. ISO: 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 14046: 2014 - **Environmental management – Water footprint – Principles, requirements and guidelines**. Geneva. ISO: 2014.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n.4, p. 678 – 684, 1974.

KOUNINA, A.; MARGNI, M.; BAYART J.; BOULAY A.; BERGER, M.; BULLE, C.; FRISCHKNECHT F.; KOEHLER, A.; MILÀ I CANALS, L.; MOTOSHITA, M.; NÚÑEZ, M.; PETERS, G.; PFISTER, S.; RIDOUTT, B.; VAN ZELM, R.; VERONES, F.; HUMBERT, S. Review of methods addressing freshwater use in life cycle inventory and impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s.l], v. 18, p. 707 – 721, 2013.

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA (LSPA). **Levant. Sistem. Prod. Agríc.** Rio de Janeiro, v. 30, n. 12, p. 1-82, dezembro. 2017. ISSN 0103-443X

MARTINS, C. R.; JESUS JÚNIOR, L. A. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama 2014**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2013.

MILLER, G.T.; SPOOLMAN, S.E. **Ecologia e sustentabilidade**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 400 p. ISBN: 9788522111527.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Segundo inventário brasileiro de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa**. Emissões de gases de efeito estufa no setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas. Brasília: MCT, 103 p., 2010.

MINISTÉRIO DO INDÚSTRIA, COMERCIO EXTERIOR E SERVIÇOS (MDIC). **Balança comercial brasileira: Estados**, Brasília. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/balanca-comercial-brasileira-unidades-da-federacao>. Acesso em: 13 jul. 2018.

MIRANDA, F. R.; GOMES, A. R. M. **Manejo da irrigação Coqueiro-Anão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical. Circular técnica, 25. 8p., 2006.

MIRANDA, F.R.; SILVA, A.B.; GUIMARÃES, V.B.; SILVA, E.S.; SANTOS, M.M.S. **Produtividade da água de irrigação do coqueiro anão na região litorânea do Ceará**. In: Inovagri Internacional Meeting, 4., 2017, Fortaleza. Anais (on line). DOI: <http://www.inovagri.org/biblioteca/iv-inovagri-meeting/res2100242>. Acesso em: 04 dez. 2018.

MORDINI, M.; NEMECEK, T.; GAILLARD, G. **Carbon e Water Footprint of oranges and strawberries**. A literature review. Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART. Swiss, 2009.

NEMECEK, T.; SCHNETZER, J. **Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems**. Agroscope Reckenholz –Tänikon Research Station. Zurich, 2011.

NEMECEK, T.; SCHINETZER, J.; REINHARD, J. Updated and harmonised greenhouse gas emissions for crops inventories. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s.l.], v. 21, n. 9, p. 1361-1378, 2016.

NOGUEIRA, P.; ABAD, M.; NOGUEIRA, V.; PURCHADES, R.; MAQUIERO, A. A Coconut coir waste, a new and viable ecologically friendly pre-treatment substitute. **Acta Horticulturae**, [s.l.], v. 517, p. 279 – 286, 1998.

NOVAES, R. M.; PAZIANOTTO, R. A.; BRANDÃO, M.; ALVES, B. J.; MAY, A.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. Estimating 20-year land-use change and derived CO₂ emissions associated with crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. **Global change biology**, [s.l.], v. 23, n. 9, p. 3716-3728, 2017.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

PAGE, G.; RIDOUTT, B.; BELLOTTI, B. Carbon and water footprint tradeoffs in fresh tomato production. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 32, p. 219 – 226, 2012.

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

PASSOS, E. E. M. Exigências climáticas do coqueiro. In: FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S. **A cultura do coqueiro**. [s.l.]. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoId=7703&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=7703&p_r_p_-996514994_topicoId=7830. Acesso em: 24 abr. 2018.

PROJETO RADAM. Folhas SC 24/25 **Aracaju/Recife: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, 856p, 1983.

PURSEGLOVE, J.W. **Tropical crops: monocotyledons**. 2. Ed. London, vol. 1, 607 p., 1975. ISBN 0582466482.

RODRIGUEZ, C.I.; RUIZ DE GALARRETA, V.A.; KRUSE, E.E. Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 90, p. 91 – 96, 2015.

ROIBÁS, L.; ELBEHRI, A.; HOSPIDO, A. **Carbon footprint along the Ecuadorian banana supply chain: methodological improvements and calculation tool**. [s.l.]. Disponível em: <http://www.carbontrust.com/software#footprintexpert>. Acesso em: 15 jul. 2018.

ROSENBAUM, R.K.; BACHMANN, T.M.; GOLD, L.S.; HUIJBREGTS, M.A.J.; JOLLIET, O.; JURASKE, R.; KÖHLER, A.; LARSEN, H.F.; MacLEOD, M.; MARGNI, M.; McKONE, T.E.; PAYET, J.; SCHUHMACHER, M.; VAN DE MEENT, D.; HAUSCHILD, M.Z. (2008): USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors

for human toxicity and freshwater ecotoxicity in Life Cycle Impact Assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, [s.l.], v. 13, n. 7, p. 532-546, 2008.

SANTOS, T. L.; NUNES, A.B.A.; GIONGO, V.; BARROS, V.S.; FIGUEIRÊDO, M.C.B. Cleaner fruit production with green manure: The case of Brazilian melons. **Journal of cleaner production**, [s.l.], v. 181, p. 260-270, 2018.

SILVA, A. K. P. **Pegadas hídrica e de carbono da água de coco no Ceará**. 2017, 93 f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SILVA, J.J.; DIAS, T. J.; ROLIM, H. O.; LIMA, L. R.; JÚNIOR, E. B. P. Biomassa aérea e estimativa do carbono orgânico em Agrossistema do coqueiro (*Cocus nucifera, L.*) ano verde irrigado. **Revista Verde**, Mossoró, v. 9, n.1, p.01 -07, jan-mar, 2014.

SIQUEIRA, L. A.; ARAGÃO, W. M.; TUPINAMBÁ, E. A. **A introdução do coqueiro no Brasil**: importância histórica e agrônômica. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 47. 24 p., 2002.

SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY (SETAC). **Guidelines for life-cycle assessment: a “Code of Practice”**, Setac, Bruxelas, 73 p., 1993.

THE OBSERVATORY OF ECONOMIC COMPLEXITY (OEC). **Destinos da exportação de coco**. [s.l.]. Disponível em: https://atlas.media.mit.edu/pt/visualize/tree_map/hs92/export/bra/show/0801/2016/. Acesso em: 16 jul. 2018.

UGAYA, C. M. L. Avaliação do ciclo de vidas de produtos. In: ADISSI, P. J. *et. al.* (Orgs.). **Gestão ambiental de unidades produtivas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Cap. 9, p. 275 – 298. ISBN 9788535251593.

VÁZQUEZ-ROWE, I.; TORRES-GARCÍA, J.R.; CÁCERES, A.L.; LARREA-GALLEGOS, G.; QUISPE, I.; KAHHAT, R. Assessing the magnitude of potential environmental impacts related to water and toxicity in the Peruvian hyper-arid coast: a case study for the cultivation of grapes for pisco production. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 601–602, p. 532–542, 2017.

XU, X.; ZHANG, B.; LIU, Y.; XUE, Y.; DI, B. Carbon footprints of rice production in fice typical rice districts in China. **Acta Ecologica Sinica**, [s.l.], v. 33, p. 227–232, 2013.

WARNICK, D. R. N. **Doenças e métodos de controle**. [s.l.]. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteúdo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao16_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-7629_3187_sistemaProducaoId=7703&p_r_p_-996514994_topicoId=1313. Acesso em: 26 abr. 2018.

WORLD RESOURCE INSTITUTE (WRI), WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WBCSD), 2011. **Product life cycle reporting and standard**. WRI, Washington. Disponível em: http://pdf.wri.org/ghgp_product_life_cycle_standard.pdf. Acesso em: 20 abr. 2017.

WULCA. **The AWARE method: Available Water REmaning**. Montreal: Canadá.
Disponível em: <http://www.wulca-waterlca.org/aware.html>. Acessos em: 20 abr. 2017.

YAN, M.; CHENG, K.; LUO, T.; YAN, Y.; PAN, G.; REES, R.M. Carbon Footprint of Grain Crop Production in China- Based on Farm Survey Data. **Journal of Cleaner Production**, [s.l], v. 104, p. 130-138, 2015.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

Tabela A1 – Questionário aplicado nas visitas técnicas

1. Informações gerais				
Fazenda:				
Localização:				
Contato (nome, telefone, e-mail):				
Data da visita:				
Cultura/variedade:				
Data do início do cultivo na área:				
Vegetação anterior na área (floresta primária ou secundária, área agrícola, pasto):				
2. Informações sobre o pomar				
Nº plantas/hectare:				
Total de hectares:				
Espaçamento:				
Tipo de irrigação:				
Idade do pomar:				
Com quantos anos inicia a produção?				
Com quantos anos estabiliza a produção?				
Vida útil do pomar:				
Produto principal:				
Coprodutos:				
3. Dados de produção				
Produção	Área plantada (ha)	Produção total (t)	Produção comercializada (t)	Produção refugada (t) ou (%)
Ano 1				
Ano 2				
Ano 3				
Ano 4				
Ano 5				
Ano de produção estabilizada				
4. Operações agrícolas				
Etapa	Nome do equipamento	Quantas vezes passa na mesma área por ano?		
Abertura de área				
Adubação de fundação				
Instalação do sistema de irrigação				
Aração				
Gradagem				
Subsolagem				
Roçagem				
Fertilização anual				
Aplicação de defensivos agrícolas				
Colheita				
5. Água e energia				
Ano	Água (L/pl.dia)	Período de irrigação (nº de dias no mês)	Energia elétrica da irrigação (Kwh/mês)	
Ano 1				
Ano 2				
Ano 3				
Ano 4				
Ano 5				

Ano de
produção
estabilizada

6. Defensivos agrícolas						
Ano	Nome comercial do produto	Tipo (inseticida, fungicida, acaricida, herbicida etc.)	Unidade (kg ou L/ha.ano)	Quantidade média aplicada	% princípio ativo	Etapa do cultivo utilizado

Ano 1

Ano 2

Ano 3

Ano 4

Ano 5

Ano de
produção
estabilizada

7. Fertilizantes inorgânicos			
Ano	Nome do produto	Etapa do cultivo utilizado	Quantidade média aplicada (kg ou L/ha.ano)

Ano 1

Ano 2

Ano 3

Ano 4

Ano 5

Ano de
produção
estabilizada

8. Adubos orgânicos					
Ano	Tipo (composto, estrume, biosólido)	Quantidade média aplicada (kg ou L/ha.ano)	% Umidade	% NPK	Fonte (caprino, ovino, cama de frango, esterco de gado)

Ano 1

Ano 2

Ano 3

Ano 4

Ano 5

Ano de
produção
estabilizada

9. Dados ambientais			
Precipitação (mm/dia)	Tipo de solo (areia quartzosa, latossolo, argissolo)	% de areia, % de argila, % de silte	Declividade do terreno (plano < 1%, suave ondulado 1 – 3%, ondulado 3,5 – 5%, íngreme > 5%)

Fonte: elaborada pela autora.

APÊNDICE B – INVENTÁRIOS DAS FAZENDAS (30 ANOS)

Tabela B1 - Inventários das fazendas por Estado, considerando um ano médio de produção

Insumos	Unidade	Fazendas			
		Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
Área	ha	1	1	1	1
Água	m ³	6.554	10.201	5.142	7.140
Energia elétrica	kwh	1.638	2.550	1.285	1.785
1. Produtividade					
Frutos	frutos	30.539	39.141	22.433	31.707
Água de coco <i>in natura</i>	L	14.048	17.614	9.119	12.683
Kg de coco	kg	61.078	78.282	44.866	63.414
2. Adubação orgânica					
Esterco de frango	kg	7.504	3.827	2.176	5.371
Esterco bovino	kg	-	-	4.622	-
3. Fertilizantes inorgânicos					
Ureia	kg	655,2	235,8	291,1	228,2
Cloreto de potássio	kg	190,8	345,8	263,6	266,5
Superfosfato simples	kg	247,8	13,7	75,9	214,6
MAP*	kg	-	751,7	44,9	-
Calcário	kg	-	2,7	244,5	-
Gesso agrícola	kg	-	1,4	25,3	-
Fósforo natural	kg	-	6,8	70,7	-
Fórmulação NPK 28 - 04 - 14	kg	-	10,3	-	-
Bórax	kg	-	0,1	-	-
Ácidos diversos	kg	-	17,3	6,0	-
Óxidos diversos	kg	-	1,4	0,1	-
Nitrato de cálcio	kg	-	2,9	-	-
Sulfatos diversos	kg	-	254,0	-	-
Micronutrientes	kg	-	0,2	11,9	683,3
Fertilizantes foliar	kg	-	-	3,7	-
4. Defensivos agrícolas					
Acaricida	kg	0,2	-	-	-
Acaricida líquido	L	4,2	6,2	-	-
Fungicida líquido	L	-	9,5	0,2	-
Herbicida líquido	L	30,8	0,4	0,03	0,9
Inseticida	kg	0,4	2,1	-	-
Inseticida líquido	L	-	11,3	1,6	17,8
Detergente	L	-	9,0	15,3	10,0
Óleo de algodão	L	-	13,5	16,4	-
Óleo de coco	L	-	-	12,7	15,0
Óleo mineral	L	-	-	0,5	-
5. Operações agrícolas					
Fertilização mecânica	ano	4	2	-	3
Pulverização mecânica	ano	5	17	5	17
Roçagem mecanizada	ano	5	8	2	2
6. Transporte					
Caminhão	tkm	185,1	1.314,2	2.775,7	1.961,1
7. Emissões					
7.1 Emissões para o ar					
Amônia (NH ₄)	kg	70,9	32,3	34,9	31,0
Óxido nitroso (N ₂ O)	kg	7,4	14,7	9,3	8,6

Óxidos de nitrogênio (NO _x)	kg	6,5	4,1	2,9	2,6
Dióxido de carbono (CO ₂)	kg	462,9	166,9	237,4	161,2
7.2 Emissões para a água					
Nitrato (NO ₃)	kg	388,3	4.043,3	2.382,3	2.234,4
Fósforo	kg	0,01526	0,01485	0,01055	0,01308
Cádmio	kg	0,00004	0,00005	0,00004	0,00004
Cobre	kg	0,00383	0,00382	0,00367	0,00375
Zinco	kg	0,03129	0,03060	0,02809	0,03030
Chumbo	kg	0,00058	0,00053	0,00038	0,00052
Níquel	kg	0,00030	0,00032	0,00019	0,00024
Cromo	kg	0,01920	0,02125	0,01968	0,01859
7.3 Emissões para o solo					
Cádmio	kg	0,00236	0,01982	0,00279	0,00189
Cobre	kg	0,05421	0,05196	0,01318	0,02651
Zinco	kg	0,99828	0,69414	0,34950	0,68318
Chumbo	kg	0,02036	0,01438	0,00731	0,01620
Níquel	kg	0,01945	0,04306	0,01232	0,01343
Cromo	kg	0,00899	0,19976	0,01882	0,00386
Defensivos agrícolas	kg	12,10	5,65	0,41	0,72
7.4 Mudança no uso da terra					
Dióxido de carbono (CO ₂)	kg	1.132,5	2.084,4	2.122,2	2.084,4
Óxido nitroso (N ₂ O)	kg	- 0,81	- 0,47	- 0,47	- 0,47
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	kg	0,04	0,10	0,10	0,10
Monóxido de carbono (CO)	kg	2,99	2,99	2,99	2,99
Metano (CH ₄)	kg	0,11	0,11	0,11	0,11

Fonte: elaborada pela autora.

APÊNDICE C – PERFIL DA PEGADA HÍDRICA

Tabela C1 – Perfil da pegada hídrica

Categoria de impacto	Unidade	Faz. Alagoas	Faz. Bahia	Faz. Ceará	Faz. Sergipe
Impacto por m³ de água de coco <i>in natura</i>					
Escassez hídrica (média anual)	m ³ eq	1.548,4	1.875,6	6.383,3	2.132,6
Eutrofização em águas doces	kg P eq	0,07	0,14	0,08	0,40
Eutrofização marinha	kg N eq	7,9	57,7	69,9	48,6
Toxicidade humana, câncer	CTUh	5,3 x 10 ⁻⁸	4,2 x 10 ⁻⁸	5,9 x 10 ⁻⁸	5,8 x 10 ⁻⁸
Toxicidade humana, não-câncer	CTUh	2,9 x 10 ⁻⁸	3,9 x 10 ⁻⁸	5,1 x 10 ⁻⁸	2,5 x 10 ⁻⁸
Ecotoxicidade em águas doces	CTUe	352,2	247,3	811,3	231,0
Impacto por t de coco					
Escassez hídrica (média anual)	m ³ eq	309,7	422,0	1.295,8	426,5
Eutrofização em águas doces	kg P eq	0,02	0,03	0,02	0,08
Eutrofização marinha	kg N eq	1,6	13,0	14,2	9,7
Toxicidade humana, câncer	CTUh	1,1 x 10 ⁻⁸	9,4 x 10 ⁻⁹	1,2 x 10 ⁻⁸	1,2 x 10 ⁻⁸
Toxicidade humana, não-câncer	CTUh	5,7 x 10 ⁻⁹	8,9 x 10 ⁻⁹	1,0 x 10 ⁻⁸	5,0 x 10 ⁻⁹
Ecotoxicidade em águas doces	CTUe	65,0	55,6	164,8	46,2
Impacto por 1000 frutos					
Escassez hídrica (média anual)	m ³ eq	619,4	844,0	2.591,6	853,0
Eutrofização em águas doces	kg P eq	0,03	0,06	0,03	0,16
Eutrofização marinha	kg N eq	3,2	25,9	28,4	19,4
Toxicidade humana, câncer	CTUh	2,1 x 10 ⁻⁸	1,9 x 10 ⁻⁸	2,4 x 10 ⁻⁸	2,3 x 10 ⁻⁸
Toxicidade humana, não-câncer	CTUh	1,1 x 10 ⁻⁸	1,8 x 10 ⁻⁸	2,1 x 10 ⁻⁸	10,0 x 10 ⁻⁹
Ecotoxicidade em águas doces	CTUe	130,1	111,3	329,6	92,4

Fonte: elaborada pela autora.

ANEXO A - DOENÇAS QUE AFETAM OS COQUEIROS

Quadro A1 – Doenças que afetam os coqueiros e seus métodos de controle

Doenças	Local	Plantas hospedeiras	Sintomas	Medidas de controle
Queima – das – folhas	Alagoas, Bahia, Paraíba, Pará, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe.	Ata, cacaueiro, cupuaçuzeiro, eucalipto, gravioleira, mandioca, mamoeiro e seringueira.	Secamento das folhas, manchas de coloração marrom clara e avermelhadas, de formato irregular e alongadas.	Durante o período chuvoso, remover e queimar folhas infectadas.
Anel – vermelho	Ocorre nas regiões produtoras de coco no País.	Buriti do brejo, catolé, dendeneiro, inajá, macaúba, palmeira real, piaçava e tamareira.	Amarelamento das folhas, e posterior apodrecimento. Internamente, observa-se a presença de um anel avermelhado.	Erradicação das plantas mortas, desinfecção das ferramentas utilizadas no corte das plantas, armadilhas para capturar o vetor a partir de feromônios.
Lixa – pequena	Pernambuco, Pará, Alagoas, Ceará, Rio Grande do Norte, Sergipe e Bahia	Buriti-de-praia, mané-véio e ouricuri.	Pequenos pontos negros que se espalham pelo coqueiro, crescem, e por fim causam a necrose da planta.	Corte e queima das folhas muito infectadas e secas; plantio de leguminosas para permitir a fixação de nitrogênio.
Murcha-de-phytomonas	Bahia, Pará, Paraíba, Pernambuco, Sergipe e Alagoas.	Plantas daninhas, dendeneiro, piaçava, palmeira real, inajá e palmeira rabo de peixe anã.	Folhas amareladas e marrom-avermelhadas; inflorescências secas e necrosadas e queda prematura dos frutos.	Erradicação das plantas doentes, eliminação das ervas daninhas, manter a limpeza das plantas e controle químico dos vetores.
Podridão seca	Ocorre nas regiões produtoras de coco no País.	Dendeneiro	Paralisação do crescimento e secamento da folha central; lesões internas de coloração marrom com aparência de cortiça.	Erradicação das plantas doentes, eliminação das ervas daninhas, manter a limpeza das plantas e controle químico dos vetores.

Fonte: adaptado de Warnick (2016)

ANEXO B – PRAGAS QUE AFETAM OS COQUEIROS

Quadro B1 – Pragas que afetam os coqueiros e seus métodos de controle

Broca-do-olho-do-coqueiro	
Características:	<u>Larva</u> – cabeça castanho-escuro, corpo recurvado, mais volumoso no meio e afilado nas extremidades, subdividido em 13 anéis, com coloração branco-creme e sem pernas; <u>Adulto</u> – besouro preto-opaco, com 3,5 a 6,0 cm de comprimento; possui bico recurvado forte, que mede 1,0 cm; asas externas curtas, expondo a parte terminal do abdome e oito estrias longitudinais.
Métodos de controle:	Eliminar todas as plantas mortas pela ação da praga; queimar ou enterrar os coqueiros erradicados, visando evitar a atração dos besouros ao local; evitar ferimentos nas plantas sadias durante os tratamentos culturais e a colheita; aplicar piche ou inseticida nos ferimentos da planta; coletar e destruir larvas, pupas e adultos encontrados nas plantas mortas ou capturados nas armadilhas atrativas.
Lagarta-das-folhas	
Características:	<u>Larva</u> – cabeça castanho-avermelhada, corpo com listras longitudinais marrom-escuro e claras, recoberto por fina pilosidade, atingindo de 6,0 a 8,0 cm de comprimento. As lagartas vivem em grupo na copa do coqueiro, dentro de um ninho construído pela união de vários folíolos, onde permanecem abrigadas durante o dia; <u>Adulto</u> – borboleta grande, de 6 a 10 cm de envergadura; asas anteriores e posteriores marrons, atravessadas por uma faixa laranja.
Métodos de controle:	Enquanto a altura da planta assim o permitir, recomenda-se a coleta dos ninhos e a destruição das lagartas abrigadas no seu interior. Deixar no campo os ninhos que tiverem lagartas parasitadas pelo fungo <i>Beauveria</i> ; pulverizar somente a copa dos coqueiros infestados, utilizando-se a formulação comercial de <i>Bacillus thuringiensis</i> ou suspensão de esporos do fungo <i>Beauveria</i> spp.
Barata-do-coqueiro	
Características:	<i>C. brunnea</i> – besouro de 2,5 cm de comprimento, avermelhado com listra preta no meio, rugoso, com antenas pretas e patas pretas e vermelhas; <i>M. marginata</i> – besouro de 3,4cm de comprimento, de coloração preto-esverdeada, com as bordas amarelo-castanho e as demais partes pretas.
Métodos de controle:	Quando a infestação é pequena recomenda-se a catação manual e a destruição de larvas, pupas e adultos encontrados na planta. Pulverizar a copa das plantas com uma suspensão de esporos do fungo <i>Beauveria bassiana</i> , visando o controle de insetos adultos e larvas. Observação: pulverizar somente as plantas infestadas.
Traça das flores e frutos novos	
Características:	<u>Larva</u> – lagarta branca, com listras longitudinais pardacentas ou rosadas, além de pontos pretos alinhados transversalmente; tem cabeça amarela e no primeiro segmento do tórax uma placa dorsal semicircular amarela, subdividida ao meio.
Métodos de controle:	Proceder a limpeza da copa das plantas e o coroamento do solo ao redor da planta; semanalmente coletar e destruir, por queima, todos os frutos imaturos caídos no chão e aqueles que secam e ficam presos nas inflorescências.
Gorgulho-das-flores-e-dos-cocos-novos	
Características:	<u>Larva</u> - tem coloração branco-leitosa, com cabeça castanho-escuro; desenvolve-se embaixo das brácteas dos frutos e flores e, em alguns casos, nas bainhas foliares e pedúnculos florais. <u>Adulto</u> – besouro pequeno, coloração variando de castanho-claro-avermelhado a preto, com densa pilosidade dourada sobre o corpo, com estrias longitudinais sobre os élitros e desenho em forma de T no dorso.
Métodos de controle:	Utilizar as mesmas medidas de controle recomendadas para o controle da traça-das-flores-e-frutos-novos.

Fonte: adaptado de Warnick (2016).

ANEXO C – EQUAÇÕES PARA ESTIMAR AS EMISSÕES

1 Emissões devido à mudança no uso da terra (de floresta para agricultura)

1.1 Mudança de carbono na biomassa (MCTI, 2010)

$$E = \frac{(A * (C - avAgri))}{20} * \frac{44}{12} * 72\% \quad (1)$$

Onde:

E - emissão de carbono (t CO₂.ha⁻¹), considerando um período de 20 anos desde a conversão de uso da terra;

A - área convertida em área agrícola (ha);

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);

72% - porcentagem de perda de carbono da degradação biológica da biomassa após a mudança no uso da terra, segundo Nemecek (2016).

Tabela C1 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
A	1	1	1	1
C	26,45	26,45	26,45	26,45
avAgri*	0,756	0,875	0,589	0,875

*Os valores de estoque de carbono na área de produção em cada Estado foram obtidos com base no estudo de Silva *et al.* (2014), onde a partir de análises foi afirmado que um coqueiro imobiliza em média 4,27 kg C/planta.ano.

Fonte: elaborada pela autora.

1.2 Mudança de carbono no solo (IPCC, 2007)

$$Es = \left(A * C_{solo} * \frac{[fc(t_0) - fc(t_f)]}{20} \right) * \frac{44}{12} \quad (2)$$

$$fc(t) = fUT * fMG * fi \quad (3)$$

Onde:

Es - emissões líquidas de carbono pelo solo (t CO₂.ha⁻¹);

A - área (ha);

C_{solo} - estoque de carbono no solo da área, associação solo-vegetação (t C.ha⁻¹);

fc(t) - fator de alteração de carbono num tempo *t* (adimensional);

fUT - fator de alteração de carbono relacionado tipo de cultura (anual, perene, pastagem) (adimensional);

fMG - fator de alteração de carbono relacionado ao manejo ou revolvimento do solo (adimensional).

fi - fator de alteração de carbono relacionado às entradas de matéria orgânica (adimensional).

Tabela C2 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
A	1	1	1	1
Csolo*	25,80	15,10	15,10	15,10
fc	1,493	1,493	1,493	1,493
fUT	1	1	1	1
fMG	1,09	1,09	1,09	1,09
fi	1,37	1,37	1,37	1,37

*Csolo: solo latossolo com argila de baixa atividade e caatinga = 2,58 kg C/ha; solo arenoso e caatinga = 1,51 kg C/ha.

Fonte: elaborada pela autora.

1.3 Emissões de CO₂, N₂O, CH₄, NO_x e CO pela queima da biomassa removida (IPCC, 2007)

$$\text{Emissões (i)} = A * M_b * C_f * G_{ef} * 20\% \quad (4)$$

Onde:

Emissões (i) - emissões de gás pela queima da biomassa removida (kg i.ha⁻¹);

i - CO₂, N₂O, CH₄, NO_x e CO;

A - área queimada (ha);

M_b - massa de combustível disponível para combustão (t.ha⁻¹);

C_f - fator de combustão (adimensional);

G_{ef} - fator de emissão (g.kg matéria orgânica queimada⁻¹);

20% - porcentagem de biomassa queimada, segundo Nemecek (2016).

Tabela C3 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
A	1	1	1	1
M _b *C _f	4,6	4,6	4,6	4,6
G _{ef} (CO ₂)	1613	1613	1613	1613
G _{ef} (N ₂ O)	0,21	0,21	0,21	0,21
G _{ef} (CH ₄)	2,3	2,3	2,3	2,3
G _{ef} (NO _x)	3,9	3,9	3,9	3,9
G _{ef} (CO)	65	65	65	65

Fonte: elaborada pela autora.

1.4 Emissões de N₂O e NO_x por mineralização da matéria orgânica (IPCC, 2007)

a) Emissões Diretas

$$\text{Emissões N} - \text{N}_2\text{O} = (F_{\text{SOM}}) * \text{EF1} * \frac{44}{28} \quad (5)$$

$$F_{\text{SOM}} = \left[\left(\Delta C_{\text{solo}} * \frac{1}{R} \right) * 1000 \right] \quad (6)$$

Onde:

Emissões N-N₂O - emissões diretas de N₂O da mineralização da matéria orgânica (kg N₂O.ha);

F_{SOM} -- quantidade de N mineralizado no solo pela mudança no uso da terra (kg N₂O.ha);

EF1 - fator de emissão para o N₂O (adimensional);

C_{solo} - ver item 1.2;

R - C:N - relação carbono e nitrogênio da matéria orgânica do solo, que é 15, segundo o IPCC (2007).

Tabela C4 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
F _{SOM}	-66,67	-39,02	-39,02	-39,02
EF1	0,01	0,01	0,01	0,01
C _{solo}	25,80	15,10	15,10	15,10
R	15	15	15	15

Fonte: elaborada pela autora.

b) Emissões indiretas por lixiviação e escoamento

$$\text{N} - \text{N}_2\text{O} = \left((F_{\text{SOM}}) * \text{Frac}_{\text{leach-(H)}} * \text{EF}_5 \right) * \frac{44}{28} \quad (7)$$

Onde:

N-N₂O - quantidade de N₂O produzida pela lixiviação e escoamento das adições de nitrogênio no solo (kg N₂O.ha);

F_{SOM} - quantidade de nitrogênio mineralizado no solo pela mudança no uso da terra (kg N₂O.ha);

Frac_{leach-(H)} - fração de nitrogênio adicionado/mineralizado que é perdido por lixiviação ou escoamento, que é 0,3, segundo o IPCC (2007);

EF₅ - fator de emissão (kg N⁻¹), que é 0,0075, segundo o IPCC (2007).

Tabela C5 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
F _{SOM}	-66,67	-39,02	-39,02	-39,02
Frac _{leach-(H)}	0,30	0,30	0,30	0,30
EF ₅	0,0075	0,0075	0,0075	0,0075

Fonte: elaborada pela autora.

- c) Emissões indiretas de óxidos de nitrogênio (NO_x) pela mineralização da matéria orgânica (Nemecek e Schnetzer, 2011)

$$\text{NO}_x = 0,21 * \text{N}_2\text{O} \quad (8)$$

Onde:

NO_x - emissão de NO_x pela mineralização da matéria orgânica pela mudança no uso do solo (kg NO_x.(ha.ano)⁻¹);

N₂O - emissões diretas de N₂O da mineralização da matéria orgânica (kg N₂O.ha) - calculada no item 'a'.

Tabela C6 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
N ₂ O	-0,67	-0,39	-0,39	-0,39

Fonte: elaborada pela autora.

2 Emissões relativa à produção agrícola em campo

2.1 Emissão de NH₃ para o ar pelo uso de fertilizantes nitrogenados (Modelo Agrammon – Nemecek e Schnetzer, 2011)

$$\text{NH}_3 - \text{N}_{\text{min}} = \sum_{i=1}^N (m_{\text{fert}_i} * \text{EF}_i) * \frac{17}{14} \quad (9)$$

Onde:

NH₃ - N_{min} - quantidade de amônia emitida pelo uso de fertilizantes nitrogenados (kg NH₃.(ha.ano)⁻¹);

m_{fert i} - massa do fertilizante nitrogenado do tipo *i* (kg N.(ha.ano)⁻¹);

EF_i - fator de emissão para o fertilizante nitrogenado do tipo *i* (kg NH₃. kg N⁻¹).

Tabela C7 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
$m_{fert\ i}$	Ureia = 283,50 kg Esterco de frango = 44,60 kg	Ureia = 102,56 kg NPK = 5,06 kg Nitrato de cálcio = 0,76 kg Esterco de frango = 22,79 kg	Ureia = 150,87 kg NPK = 4,79 kg Esterco de frango = 13,05 kg Esterco bovino = 6,26 kg	Ureia = 110,70 kg Esterco de frango = 32,06 kg
EF_i	Ureia = 15%, NPK = 4%, Nitrato de cálcio = 2%, Esterco de frango = 30%, Esterco bovino = 80%			

Fonte: elaborada pela autora.

2.2 Emissões de NO_3^{2-} para águas subterrâneas (modelo SQCB- NO_3 - Nemecek e Schnetzer, 2011)

$$NO_3^{2-} - N = \left[21.37 + \frac{P}{c * L} (0,0037 * S + 0,0000601 * N_{org} - 0,00362 * U) \right] \quad (10)$$

$$S = f + s * c_N^s + m * c_N^m \quad (11)$$

$$N_{org} = \left(\frac{C_{org}}{100} * V * D_b \right) / r_{C/N} * r_{Norg} \quad (12)$$

$$C_{org} = C_{org}^{EMPA} * \frac{1}{3000} * \frac{1}{1,3} * 100 \quad (13)$$

$$U = Unit_{uptake} * y \quad (14)$$

Onde:

$NO_3^{2-} - N$ - nitrato perdido por meio da lixiviação ($kg\ N.ha^{-1}$);

S - necessidade de nitrogênio pela cultura ($kg\ N.ha^{-1}$);

L - profundidade da raiz da cultura (m);

U - nitrogênio captado pela cultura ($kg\ N.(ha.ano^{-1})$);

P - total da precipitação anual e irrigação ($mm.ano^{-1}$);

c - teor de argila no solo (%);

C_{org} - carbono na matéria orgânica ($kg\ N.ha^{-1}$);

N_{org} - quantidade de nitrogênio orgânico no solo ($kg\ N.ha^{-1}$);

C_{org}^{EMPA} - teor de carbono orgânico no solo (%);

V - volume do solo ($m^3.ha^{-1}$);

D_b -densidade do solo ($\text{kg}(\text{m}^3)^{-1}$);

$r_{c/n}$ - relação entre carbono-nitrogênio no solo (adimensional);

r_{Norg} - relação entre nitrogênio orgânico e total no solo (adimensional).

Tabela C8 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
S	328,10	131,18	174,97	142,46
L	0,6	0,6	0,6	0,6
U*	56,82	65,81	44,30	65,81
P	1606,14	2249,13	1585,81	1888,62
c**	53,9	3,5	3,5	3,5
C_{org}	0,87	0,87	0,87	0,87
N_{org}	4378,79	4378,79	4378,79	4378,79
$C_{\text{org}}^{\text{EMPA}}$	34	34	34	34
V	5000	5000	5000	5000
D_b	1300	1300	1300	1300
$r_{c/n}$	11	11	11	11
r_{Norg}	0,85	0,85	0,85	0,85

*Latossolos = 53,9%, Neossolos = 3,5%;

**Segundo Sobral *et al.*, (1998) o valor total de nitrogênio captado pela cultura e de 32,1 kg N para 100 plantas de coqueiro.

Fonte: elaborada pela autora.

2.3 Emissões de fosfato para águas superficiais por meio da erosão pela água (Nemecek e Schnetzer, 2011)

$$P_{\text{er}} = S_{\text{er}} * P_{\text{sc}} * F_r * F_{\text{erw}} \quad (15)$$

$$S_{\text{er}} = R * k * LS * c_1 * c_2 * P_{\text{ra}} \quad (16)$$

$$R' = 0.1 * R \quad (17)$$

$$R = \begin{cases} 0.0483 * P^{1.61} & \text{se } P \leq 850 \text{ mm} \\ 587.8 - 1.219 * P + 0.004105 * P^2 & \text{se } P > 850 \text{ mm} \end{cases} \quad (18)$$

$$P = \text{precipitation} + \text{irrigation} * 0.1 \quad (19)$$

$$LS = \begin{cases} \left(\frac{L * 3.28083}{72.6} \right)^{0.2} * (65.41 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right)^2 + 4.56 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right) + 0.065) & \text{se } S < 1\% \\ \left(\frac{L * 3.28083}{72.6} \right)^{0.3} * (65.41 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right)^2 + 4.56 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right) + 0.065) & \text{se } 1\% \leq S < 3.5\% \\ \left(\frac{L * 3.28083}{72.6} \right)^{0.4} * (65.41 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right)^2 + 4.56 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right) + 0.065) & \text{se } 3.5\% \leq S < 5\% \\ \left(\frac{L * 3.28083}{72.6} \right)^{0.5} * (65.41 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right)^2 + 4.56 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right) + 0.065) & \text{se } S > 5\% \end{cases} \quad (20)$$

Onde:

- Per - quantidade de P emitida para rios por meio da erosão (kg P.(ha.ano⁻¹));
 Ser - quantidade de solo erodido (kg.ha⁻¹);
 Psc - teor de P no solo (kg P.kg solo⁻¹);
 Fr - fator de acumulação para P;
 Ferw - fração do solo erodido que atinge o rio;
 R' - fator de erosividade corrigido para o clima semiárido (MJ mm.(ha.h.ano)⁻¹);
 R - fator de erosividade corrigido (MJ mm.(ha.h.ano)⁻¹);
 K - fator de erodibilidade (t.(h MJ mm)⁻¹);
 c₁ - fator de produção (adimensional);
 c₂ - fator de cultivo (adimensional);
 Pra - fator de ação (adimensional);
 P - precipitação anual e irrigação (mm/ano);
 LS - fator de inclinação;
 L - comprimento da inclinação (m);
 S - declividade (%).

Tabela C9 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
P _{sc}	0,00095	0,00095	0,00095	0,00095
F _r	1,86	1,86	1,86	1,86
F _{erw}	0,20	0,20	0,20	0,20
R	3683,42	6422,66	4566,73	5650,15
R'	368,34	642,27	456,67	565,02
k	0,040	0,026	0,026	0,026
c ₁	0,1	0,1	0,1	0,1
c ₂	0,25	0,25	0,25	0,25
Pra	0,25	0,25	0,25	0,25
P	1029,47	1349,91	1144,14	1268,86
LS	0,47	0,40	0,40	0,40
L	100	100	100	100
S	2%	1%	1%	1%

Fonte: elaborada pela autora.

2.4 Emissões de N₂O para o ar devido à aplicação de fertilizantes e resíduos vegetais (Nemecek e Schnetzer, 2011)

$$N_2O = 44/28 * (0.01 (N_{tot} + N_{cr}) + 0.01 * 14/17 * NH_3 + 0.0075 * 14/62 * NO_3^-) \quad (21)$$

Onde:

- N₂O - emissão de óxido nitroso (kg N₂O.(ha.ano)⁻¹);

N_{tot} - nitrogênio total aplicado na forma de fertilizantes minerais ou orgânicos ($\text{kg N} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano}^{-1})$);

N_{cr} - nitrogênio presente nos resíduos vegetais ($\text{kg N} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano}^{-1})$);

NH_3 - emissão de amônia para o ar ($\text{kg NH}_3 \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano}^{-1})$) – calculado em ‘2.1’;

NO_3^- - emissão de nitrato ($\text{kg NO}_3^- \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano}^{-1})$) – calculado em ‘2.2’.

Tabela C10 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
N_{tot}	328,10	131,18	174,97	142,76
N_{cr}	6,979	8,083	5,441	8,083
NH_3	67,89	27,25	38,55	31,84
NO_3^-	374,29	2.515,04	2.603,46	2.297,77

Fonte: elaborada pela autora.

2.5 Emissão de NO_x devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados (Nemecek et al., 2015)

$$\text{NO}_x = 0,012 * N_{fert} \quad (22)$$

Onde:

NO_x - quantidade de óxidos de nitrogênio emitida para o ar ($\text{kg NO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$);

N_{fert} - quantidade total de nitrogênio aplicada na forma de fertilizantes ($\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Tabela C11 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
N_{fert}	328,10	131,18	174,97	142,76

Fonte: elaborada pela autora.

2.6 Emissão de CO_2 fóssil pela aplicação de calcário (IPCC, 2007)

$$\text{Emissão de CO}_2 = m_{\text{calcário}} * \text{EF1} + m_{\text{cal.dolomítico}} * \text{EF2} \quad (23)$$

Onde:

Emissão de CO_2 - quantidade de CO_2 fóssil emitido para o ar ($\text{kg CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$);

$m_{\text{calcário}}$ - massa de calcário aplicada ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$);

EF1 - fator de emissão para o calcário ($\text{kg CO}_2\text{-C/kg}$);

$m_{\text{cal.dolomítico}}$ - massa de calcário dolomítico aplicada ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$);

EF2 - fator de emissão para o calcário dolomítico ($\text{kg CO}_2\text{-C/kg}$).

Tabela C12 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
$m_{\text{calcário}}$	0	0	0	0
EF1	0,12	0,12	0,12	0,12
$m_{\text{cal.dolomítico}}$	0	4,82	247,94	0
EF2	0,13	0,13	0,13	0,13

Fonte: elaborada pela autora.

2.7 Emissão de CO₂ fóssil devido à aplicação de ureia como fertilizante (IPCC, 2007)

$$\text{Emissões C - CO}_2 = (M * EF) * \frac{44}{12} \quad (24)$$

Onde:

Emissões C-CO₂ - emissões de CO₂ pela aplicação de ureia (kg CO₂.(ha.ano)⁻¹);

M - massa de ureia na forma de nitrogênio (kg N.(ha.ano)⁻¹);

EF - fator de emissão da ureia (kg CO₂/kgN).

Tabela C13 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
M	283,50	102,56	150,87	110,70
EF	1,57	1,57	1,57	1,57

Fonte: elaborada pela autora.

2.8 Emissões de Metais Pesados (modelo SALCA - NEMECEK; SCHNETZER, 2012)

a) Emissões pela lixiviação (para águas subterrâneas)

$$M_{\text{leach } i} = m_{\text{leach } i} * A_i \quad (25)$$

$$A_i = M_{\text{agro } i} / (M_{\text{agro } i} + M_{\text{deposition } i}) \quad (26)$$

Onde:

$M_{\text{leach } i}$ - emissão total do metal pesado i pela lixiviação (mg.(ha.ano)⁻¹);

$m_{\text{leach } i}$ - quantidade média emitida do metal pesado i para a água (mg.(ha.ano)⁻¹);

A_i - fator de alocação para o compartilhamento das entradas totais do metal pesado i pelo uso de insumos agrícolas (adimensional);

$M_{\text{agro } i}$ - corresponde a entrada total do metal pesado pela produção agrícola (mg.(ha.ano)⁻¹), incluindo fertilizantes, sementes e defensivos agrícolas;

$M_{\text{deposition } i}$ - corresponde a entrada total do metal pesado pela deposição atmosférica ($\text{mg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$).

Tabela C14 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
$m_{\text{leach } i}$	Cd = 0,00005; Cu = 0,0036; Zn = 0,033; Pb = 0,0006; Ni = 0; Cr = 0,0212			
$M_{\text{agro } i}$	Calculado a partir da quantidade de agrotóxicos aplicada na produção do coco e o teor de metal pesado presente neles			
$M_{\text{deposition } i}$	Cd = 700; Cu = 2400; Zn = 90400; Pb = 18700; Ni = 5475; Cr = 3650			

Fonte: elaborada pela autora.

b) Emissões pela erosão (para águas superficiais)

$$M_{\text{erosão } i} = c_{\text{tot } i} * B * a * f_{\text{erosão}} * A_i \quad (27)$$

Onde:

$M_{\text{erosão } i}$ - emissão total do metal pesado i por meio da erosão ($\text{kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$);

$c_{\text{tot } i}$ - total de metal pesado presente no solo (kg/kg);

B - quantidade de solo erodido ($\text{kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$);

a – fator de acumulação = 1,86 (adimensional);

$f_{\text{erosão}}$ – é o fator de erosão, com um valor médio de 0,2, considerando a distância de rio ou lagos (pondera apenas a fração do solo que atinge o corpo d'água, o resto é depositado no campo) (adimensional);

A_i - fator de alocação para o compartilhamento das entradas totais do metal pesado i pelo uso de insumos agrícolas (adimensional) – calculado em 2.8.

Tabela C15 – Valores das variáveis utilizadas no estudo

Variável	Alagoas	Bahia	Ceará	Sergipe
$c_{\text{tot } i}$	Cd = 0,24; Cu = 20,1; Zn = 49,6; Pb = 19,5; Ni = 23; Cr = 24,1			
B	43,07	41,90	29,79	36,86
a	1,86	1,86	1,86	1,86
$f_{\text{erosão}}$	0,2	0,2	0,2	0,2

Fonte: elaborada pela autora.

c) Emissões para o solo

As emissões para os solos agrícolas são calculadas por meio do balanço entre todas as entradas (fertilizantes, defensivos agrícolas, sementes e deposição) e saídas (biomassa exportada, lixiviação e erosão), multiplicados pelo fator de alocação.

$$M_{\text{solo } i} = (\sum \text{entradas}_i - \sum \text{saídas}_i) * A_i \quad (28)$$

Onde:

$M_{\text{soil } i}$ - total de emissões do metal pesado i para o solo ($\text{mg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$);

$\sum \text{entradas}_i$ - somatório de todas as entradas de metais pesados no solo ($\text{kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$);

$\sum \text{outputs}_i$ - somatório de todas as saídas de metais pesados no solo ($\text{kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$);

A_i - fator de alocação para o compartilhamento das entradas totais do metal pesado i pelo uso de insumos agrícolas (adimensional) – calculado em 2.8.

2.9 Emissões dos defensivos agrícolas

Segundo Nemecek e Schnetzer (2011), as emissões de defensivos agrícolas para o solo devem ser calculadas considerando todos os insumos utilizados na produção agrícola, e considerando que toda a quantidade de insumo utilizado torne-se emissão para o solo. Todos os defensivos agrícolas devem ser inventariados segundo seu ingrediente ativo. Caso não haja estudos de ACV para o ingrediente ativo de cada item utilizado, eles devem ser agrupados e inventariados segundo sua classe química que possua estudo de ACV. Para produtos não especificados, entretanto, não se pode atribuir um fluxo de emissão.

ANEXO D – FATORES DE CARACTERIZAÇÃO DO AWARE

Tabela D1 – Fatores de caracterização do AWARE para os Estados de Alagoas, Bahia, Ceará e Sergipe

Mês	FC AWARE											
	Alagoas			Bahia			Ceará			Sergipe		
	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
Jan.	9,6	1,5	5,6	3,6	0,8	2,2	53,1	5,2	29,2	4,7	1,5	3,1
Fev.	6,3	1,1	3,7	3,0	0,6	1,8	10,3	2,3	6,3	5,6	1,1	3,4
Mar.	2,4	1,1	1,8	3,8	0,7	2,3	3,1	1,0	2,1	6,4	1,2	3,8
Abr.	1,4	0,4	0,9	4,6	0,9	2,8	1,2	0,4	0,8	6,5	1,4	4,0
Mai.	4,3	0,2	2,3	4,3	0,8	2,6	0,9	0,5	0,7	4,3	0,3	2,3
Jun.	7,2	0,1	3,7	7,2	0,7	4,0	1,4	1,2	1,3	7,2	0,3	3,8
Jul.	5,3	0,1	2,7	5,3	0,7	3,0	2,4	2,2	2,3	5,3	0,2	2,8
Ago.	5,3	0,2	2,8	5,3	0,8	3,1	4,9	2,8	3,9	5,3	0,4	2,9
Set.	5,0	0,4	2,7	6,4	1,2	3,8	11,6	4,0	7,8	5,0	0,6	2,8
Out.	4,5	1,0	2,8	7,4	1,4	4,4	53,0	5,2	29,1	5,1	0,6	2,9
Nov.	4,7	1,3	3,0	6,8	1,1	4,0	54,2	7,1	30,7	4,8	1,2	3,0
Dez.	6,4	1,7	4,1	4,7	0,6	2,7	54,9	8,2	31,6	5,0	1,5	3,3
FC Agri	3,0	1,1	2,1	3,8	0,8	2,3	17,2	3,3	10,3	4,1	1,5	2,8
FC Não-agri	3,6	1,0	2,3	4,3	0,9	2,6	20,8	3,4	12,1	4,3	1,1	2,7
FC Pad	3,1	1,0	2,1	4,2	0,9	2,6	18,0	3,4	10,7	4,2	1,2	2,7

Fonte: adaptado de Boulay *et al.* (2017).

Tabela D2 – Fatores de caracterização do AWARE para UHEs dos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará e Sergipe

Estado	Unidade Hidrográfica Estadual (UHE)										
	Alagoas						Bahia				
Mês	Coruripe	Piauí AL	Litoral Norte AL	CELMM	São Miguel	Camaragibe	Macururé e Curaçá	Itapicuru	Real BA	Recôncavo Norte	Recôncavo Sul
Jan.	1,5	1,5	9,6	3,3	1,5	2,7	1,5	2,9	3,6	2,1	0,8
Fev.	1,1	1,1	6,3	2,7	1,1	2,3	1,1	2,3	3,0	2,0	0,6
Mar.	1,2	1,2	2,4	2,3	1,2	1,1	1,2	3,8	3,6	2,2	0,7
Abr.	1,4	1,4	1,2	1,3	1,4	0,4	1,4	4,6	2,6	1,9	0,9
Mai.	4,3	4,3	0,6	0,4	4,3	0,2	4,3	3,0	0,8	0,9	0,9
Jun.	7,2	7,2	0,4	0,2	7,2	0,1	7,2	2,6	0,8	0,7	0,7
Jul.	5,3	5,3	0,4	0,2	5,3	0,1	5,3	3,0	0,8	0,7	0,7
Ago.	5,3	5,3	0,8	0,3	5,3	0,2	5,3	4,0	1,2	0,8	0,8
Set.	5,0	5,0	2,0	0,5	5,0	0,4	5,0	6,5	2,0	1,2	1,2
Out.	4,5	4,5	4,2	1,1	4,5	1,0	4,5	7,4	2,7	1,7	1,4
Nov.	3,7	3,7	4,7	1,7	3,7	1,3	3,7	6,8	3,1	1,8	1,1
Dez.	2,6	2,6	6,4	2,1	2,6	1,7	2,6	4,7	4,4	1,6	0,6
FC Agri	3,0	3,0	2,8	1,6	3,0	1,1	3,0	3,8	2,5	1,6	0,8
FC Não-agri	3,6	3,6	3,3	1,3	3,6	1,0	3,6	4,3	2,4	1,5	0,9
FC Pad	3,1	3,1	3,0	1,5	3,1	1,0	3,1	4,2	2,4	1,5	0,9

Fonte: adaptado de Boulay *et al.* (2017).

Continuação

Estado	Unidade Hidrográfica Estadual (UHE)										
	Bahia	Ceará					Sergipe				
Mês	Pardo BA	Curu	Acaraú	Coreaú	Litoral	Metropolitana	Piauí SE	Real SE	Sergipe	Vaza Barris SE	São Francisco SE
Jan.	1,1	53,1	9,3	5,2	38,5	11,9	3,6	3,6	1,6	4,7	1,5
Fev.	1,0	10,3	6,6	2,3	9,3	4,3	3,0	3,0	1,9	5,6	1,1
Mar.	1,0	2,3	3,1	1,0	2,6	1,3	3,6	3,6	3,0	6,4	1,2
Abr.	1,1	0,7	1,2	0,4	0,9	0,6	2,6	2,6	1,7	6,5	1,4
Mai.	1,3	0,7	0,9	0,5	0,8	0,6	0,8	0,8	0,3	2,5	4,3
Jun.	1,1	1,2	1,4	1,2	1,3	1,2	0,8	0,8	0,3	2,2	7,2
Jul.	1,2	2,4	2,4	2,2	2,4	2,2	0,8	0,8	0,2	1,8	5,3
Ago.	1,7	4,9	3,1	2,8	4,3	4,8	1,2	1,2	0,4	2,8	5,3
Set.	2,3	11,6	4,0	4,0	9,1	7,2	2,0	2,0	0,6	4,3	5,0
Out.	2,5	53,0	5,2	5,3	37,1	9,9	2,7	2,7	0,6	5,1	4,5
Nov.	1,1	54,2	7,3	7,1	38,6	13,7	3,1	3,1	1,2	4,8	3,7
Dez.	0,6	54,9	8,6	8,2	39,5	15,9	4,4	4,4	1,5	5,0	2,6
FC Agri	1,1	17,2	3,3	3,3	12,3	5,9	2,5	2,5	1,5	4,1	3,0
FC Não-agri	1,3	20,8	4,4	3,4	15,3	6,1	2,4	2,4	1,1	4,3	3,6
FC Pad	1,3	18,0	3,8	3,4	13,3	6,0	2,4	2,4	1,2	4,2	3,1

Fonte: adaptado de Boulay *et al.* (2017).

ANEXO E – ESTOQUES DE CARBONO EM BIOMASSA

Tabela E1 – Estoque de carbono em biomassa para o bioma caatinga calculados pelo MCTI (2010) e Novaes *et al.* (2017)

Fisionomia vegetal	Floresta/Campo	Estoque de carbono em biomassa do MCTI (2010) – (tC/ha)	Estoque de carbono em biomassa regionalizado por Novaes <i>et al.</i> (2017) – (tC/ha)
Ta	Floresta	14,9	15,23
Td	Floresta	38	30,54
Tg	Campo	14,9	4,63
Tp	Campo	14,9	10,06

Fonte: adaptado de MCTI (2010) e Novaes *et al.* (2017).

Tabela E2 – Emissões de CO₂ da biomassa e do solo (kg CO₂/ha)

Fazendas	Emissões de CO₂ da biomassa e do solo (kg CO₂/ha)	
	Cenário de referência	Cenário 3
Alagoas	1.132,5	-1.060,0
Bahia	2.084,4	740,0
Ceará	2.122,2	-760,0
Sergipe	2.084,4	0,0

Fonte: elaborada pela autora.

ANEXO F – FATORES DE CARACTERIZAÇÃO REGIONAIS

Tabela F1 – Fatores de caracterização regionalizados para os Estados de Alagoas, Bahia, Ceará e Sergipe

Mês	FC Regionalizados											
	Alagoas			Bahia			Ceará			Sergipe		
	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
Jan.	100	17,7	58,9	68,2	5,0	36,6	100	11,5	55,8	100	17,7	58,9
Fev.	100	14,4	57,2	62,0	2,9	32,5	100	6,6	53,3	100	14,4	57,2
Mar.	100	13,9	57,0	50,6	5,0	27,8	100	1,2	50,6	100	13,9	57,0
Abr.	100	1,4	50,7	31,5	7,2	19,4	100	0,3	50,2	72,6	22,6	47,6
Mai.	100	0,6	50,3	50,1	9,9	30,0	100	0,4	50,2	50,1	7	28,6
Jun.	100	0,4	50,2	45,7	10,3	28,0	100	4,3	52,2	45,7	6,5	26,1
Jul.	100	0,3	50,2	51,7	13,4	32,6	100	100	100	51,7	4,6	28,2
Ago.	100	0,5	50,3	55,3	19,2	37,3	100	100	100	55,3	20,8	38,1
Set.	100	1,2	50,6	55,6	29,4	42,5	100	100	100	100	38,2	69,1
Out.	100	42,2	71,1	59,9	17,5	38,7	100	100	100	100	42,2	71,1
Nov.	100	22,2	61,1	59,2	5,7	32,5	100	100	100	100	22,2	61,1
Dez.	100	14,0	57,0	62,2	2,6	32,4	100	100	100	100	14,0	57,0
FC Agri	99,2	36,4	67,8	67,2	16,6	41,9	100	83,0	91,5	96,6	36,4	66,5
FC Não-agri	89,8	43,2	66,5	44,8	12,6	28,7	100	52,0	76,0	67,6	32,5	50,1
FC Pad	97,1	39,4	68,3	51,1	15,5	33,3	100	69,9	85,0	70,8	38,9	54,9

Fonte: adaptado de Andrade (2018).

Tabela F2 – Fatores de caracterização regionalizados para UHEs dos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará e Sergipe

Estado	Unidade Hidrográfica Estadual (UHE)										
	Alagoas						Bahia				
Mês	Coruripe	Piauí AL	Litoral Norte AL	CELMM	São Miguel	Camaragibe	Macururé e Curaçá	Itapicuru	Real BA	Recôncavo Norte	Recôncavo Sul
Jan.	100	17,7	100	100	100	100	17,7	10,7	68,2	10,7	5,0
Fev.	100	14,4	100	100	100	100	14,4	9,3	62,0	9,3	2,9
Mar.	100	13,9	100	100	100	100	13,9	10,6	50,6	10,6	5,0
Abr.	100	22,6	100	100	100	100	22,6	11,5	31,5	11,5	7,2
Mai.	14,1	50,1	100	100	14,1	14,1	50,1	9,9	26,5	9,9	18,9
Jun.	5,6	45,7	32,4	100	5,6	5,6	45,7	10,3	25,5	10,3	17,0
Jul.	4,5	51,7	45,5	100	4,5	4,5	51,7	13,4	28,3	13,4	17,4
Ago.	100	55,3	100	100	100	100	55,3	20,4	48,0	20,4	19,2
Set.	100	54,8	100	100	100	100	54,8	29,4	55,6	29,4	32,2
Out.	100	42,2	100	100	100	100	42,2	34,9	59,9	34,9	17,5
Nov.	100	22,2	100	100	100	100	22,2	29,7	59,2	29,7	5,7
Dez.	100	14,0	100	100	100	100	14,0	10,6	62,2	10,6	2,6
FC Agri	96,3	36,4	99,2	92,1	96,3	96,3	36,4	19,8	67,2	19,8	16,6
FC Não-agri	77,6	43,2	89,8	83,8	77,6	77,6	43,2	16,7	44,8	16,7	12,6
FC Pad	92,9	39,4	97,1	91,5	92,9	92,9	39,4	17,5	51,1	17,5	15,5

Fonte: adaptado de Andrade (2018).

Continuação

Estado	Unidade Hidrográfica Estadual (UHE)										
	Bahia	Ceará					Sergipe				
Mês	Pardo BA	Curu	Acaraú	Coreaú	Litoral	Metropolitana	Piauí SE	Real SE	Sergipe	Vaza Barris SE	São Francisco SE
Jan.	5,0	100	11,5	100	100	100	68,2	68,2	100	35,0	17,7
Fev.	2,9	100	6,6	23,8	100	100	62,0	62,0	100	35,4	14,4
Mar.	5,0	100	1,2	5,7	100	100	50,6	50,6	100	34,2	13,9
Abr.	7,2	100	0,3	3,2	100	100	31,5	31,5	72,6	36,1	22,6
Mai.	18,9	100	0,4	12,3	100	100	26,5	26,5	7,0	36,0	50,1
Jun.	17,0	100	4,3	100	100	100	25,5	25,5	6,5	35,0	45,7
Jul.	17,4	100	100	100	100	100	28,3	28,3	4,6	36,0	51,7
Ago.	19,2	100	100	100	100	100	48,0	48,0	20,8	37,5	55,3
Set.	32,2	100	100	100	100	100	55,6	55,6	100	38,2	54,8
Out.	17,5	100	100	100	100	100	59,9	59,9	100	42,4	42,2
Nov.	5,7	100	100	100	100	100	59,2	59,2	100	54,9	22,2
Dez.	2,6	100	100	100	100	100	62,2	62,2	100	39,3	14,0
FC Agri	16,6	100	83,0	95,9	100	100	67,2	67,2	96,6	59,9	36,4
FC Não-agri	12,6	100	52,0	73,0	100	100	44,8	44,8	67,6	32,5	43,2
FC Pad	15,5	100	69,9	90,1	100	100	51,1	51,1	70,8	38,9	39,4

Fonte: adaptado de Andrade (2018).