



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ANNE KAROLYNE PEREIRA DA SILVA

PEGADAS HÍDRICA E DE CARBONO DA ÁGUA DE COCO NO CEARÁ

FORTALEZA

2017

ANNE KAROLYNE PEREIRA DA SILVA

PEGADAS HÍDRICA E DE CARBONO DA ÁGUA DE COCO NO CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota.

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

FORTALEZA

2017

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)

- S578p Silva, Anne Karolyne Pereira da.
Pegadas hídrica e de carbono do coco verde no Ceará / Anne Karolyne Pereira da Silva. – 2017.
91 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota.
Coorientação: Profa. Dra. Maria Cléa Brito de Figueirêdo.
1. ACV. 2. Coco verde. 3. Escassez hídrica. 4. Mudança climática. I. Título.

CDD 628

ANNE KAROLYNE PEREIRA DA SILVA

PEGADAS HÍDRICA E DE CARBONO DA ÁGUA DE COCO NO CEARÁ

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

Dr^a. Viviane da Silva Barros
Embrapa Agroindústria Tropical (CNPAT)

A Deus.

Aos meus pais, Evandia e Archimedes.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me iluminar e guiar nos momentos mais difíceis.

Aos professores Dr. Suetônio Mota e Dr^a. Cléa Figueirêdo, pela excelente orientação, paciência e dedicação.

À Dr^a. Viviane Barros, participante da banca examinadora, pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

À minha família, por todo o suporte e apoio que me proporcionaram durante a minha graduação.

Aos colegas da turma, pelas reflexões, críticas e sugestões recebidas.

À CAPES, pelo suporte financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”.
(Simone de Beauvoir)

RESUMO

O cultivo do coco é uma importante atividade econômica para o Brasil, sendo o Nordeste brasileiro a principal região responsável pela produção. Devido à importância socioeconômica dessa cadeia produtiva e dos possíveis impactos ambientais gerados pelo seu sistema de cultivo, esse trabalho objetiva quantificar e avaliar os impactos ambientais determinando as pegadas hídrica e de carbono dessa cultura. Os dados primários referentes ao sistema de cultivo foram coletados nos municípios cearenses: Paraipaba, Trairi, Acaraú e Camocim. As pegadas avaliadas referem-se a 1 litro de água de coco e foram calculadas com base nas normas ISO 14046 para pegada hídrica e ISO 14067 para pegada de carbono. A categoria de impacto avaliada para pegada de carbono foi mudança climática (IPCC, 2013 100a), enquanto para pegada hídrica foram avaliadas as seguintes categorias: escassez hídrica (método Aware); toxicidade (método USETox); e eutrofização (método ReCiPe). Os dados secundários sobre o sistema de produção indicado para uma fazenda genérica foram coletados, na literatura, sendo referência para esse estudo. Observou-se que a produção de um litro de água de coco em Trairi obteve maior pegada hídrica e de carbono, em relação à referência. Os principais processos impactantes para pegada de carbono relacionaram-se à produção em campo e à mudança de uso da terra. Na pegada hídrica foram irrigação (escassez), uso de pesticidas tóxicos (toxicidade), e produção e emissão de fertilizantes (eutrofização). Conclui-se que a cultura do coco verde cearense necessita de trabalhos voltados para a melhoria da eficiência na irrigação, no uso de fertilizantes nitrogenados e na adoção de pesticidas menos tóxicos, com fins de reduzir sua pegada hídrica e de carbono, principalmente, no município de Trairi.

Palavras-chave: Avaliação de ciclo de vida. Coco verde. Escassez hídrica. Mudança climática.

ABSTRACT

Coconut cultivation is an important economic activity for Brazil, with the Brazilian Northeast being mainly responsible for production. Due to the socioeconomic importance of this productive chain and the possible environmental impacts generated by its cultivation system, this work aims to quantify and evaluate the environmental impacts determining the water and carbon footprints of this crop. The primary data concerning the cultivation system were collected in the municipalities of Paraipaba, Trairi, Acaraú and Camocim. The footprints evaluated refer to 1 liter of coconut water and were calculated based on ISO 14046 standards for water footprint and ISO 14067 for carbon footprint. The impact category assessed for carbon footprint was climate change (IPCC, 2013 100a), while for water footprint the following categories were assessed: water scarcity (Aware method); toxicity (USETox method); and eutrophication (ReCiPe method). The secondary data on the production system indicated for a generic farm were collected in the literature, being a reference for this study. It was observed that the production of one liter of coconut water in Trairi obtained a higher water and carbon footprint than the reference. The main impacting processes for carbon footprint were related to field production and land use change. In the water footprint were irrigation (scarcity), use of toxic pesticides (toxicity), and production and emission of fertilizers (eutrophication). It is concluded that the cultivation of the green coconut of Ceará needs works aimed at improving efficiency in irrigation, the use of nitrogen fertilizers and the adoption of less toxic pesticides, in order to reduce its water and carbon footprint, mainly in the municipality of Trairi.

Keywords: Life cycle assessment. Green coconut. Water scarcity. Climate change.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas da ACV.....	27
Figura 2 - Cadeia de causa e efeito relacionando os usos da água aos impactos potenciais	33
Figura 3 - Fronteira tecnológica da produção de coco	36
Figura 4 - Localização das quatro fazendas em estudo	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Análise do consumo de água de cada fazenda em relação ao recomendado para cada região.....	48
Gráfico 2- Comparativo da categoria escassez hídrica	50
Gráfico 3 - Impacto na escassez hídrica a partir de fatores de caracterização mensais	51
Gráfico 4 - Comparativo da categoria toxicidade.....	52
Gráfico 5 - Comparativo da categoria ecotoxicidade	52
Gráfico 6 - Comparativo da categoria eutrofização de água doce.....	53
Gráfico 7 - Comparativo da categoria eutrofização marinha	53
Gráfico 8 - Comparativo da categoria mudança climática	54
Gráfico 9 - Análise de incerteza entre a fazenda referência e Acaraú.....	55
Gráfico 10 - Análise de incerteza entre a fazenda referência e Camocim.....	56
Gráfico 11 - Análise de incerteza entre a fazenda referência e Paraipaba.....	57
Gráfico 12 - Análise de incerteza entre a fazenda referência e Trairi	58
Gráfico 13 – Análise de dominância da categoria escassez hídrica	59
Gráfico 14 - Análise de dominância da categoria toxicidade.....	60
Gráfico 15 - Análise de dominância da categoria eutrofização.....	61
Gráfico 16 - Análise de dominância da categoria mudança climática	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Doses de adubos recomendadas para o coqueiro em diferentes fases	21
Tabela 2 – Estimativa da quantidade de água necessária na irrigação do coqueiro	22
Tabela 3 – Categorias de impacto.....	29
Tabela 4 – Potencial de aquecimento global	35
Tabela 5 – Inventário das fazendas estudada.....	44
Tabela 6 – Cálculo da necessidade hídrica da cultura do coqueiro por região.....	47
Tabela 7 – Resultados obtidos nas categorias de impacto para cada fazenda	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AWARE	Água Disponível Restante
FAOSTAT	Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
GEE	Gases do Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Painel Intergovernamental de mudanças climáticas
ISO	Organização Internacional para Padronização
MCTI	Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
OEC	Observatório da Complexidade Econômica
PAG	Potencial de Aquecimento Global

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 Geral.....	18
2.2 Específicos.....	18
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	19
3.1 A cultura do coqueiro anão	19
3.1.1 Produção de mudas	20
3.1.2 Implantação e produção no pomar.....	21
3.2 Impactos ambientais relacionados à agricultura	23
3.3 Avaliação de impacto ambiental.....	24
3.4 Avaliação do ciclo de vida (ACV)	25
3.4.1 Etapas da análise do ciclo de vida – ACV	26
3.4.1.1 Objetivos e escopo da ACV	27
3.4.1.2 Análise do inventário.....	27
3.4.1.3 Avaliação do impacto	28
3.4.1.4 Interpretação dos resultados	29
3.4.2 ACV de produtos agrícolas.....	30
3.5 Pegada hídrica.....	31
3.5.1 Cadeia de causa e efeito ambiental relacionada a pegada hídrica.....	32
3.6 Pegada de carbono	34
4 METODOLOGIA.....	36
4.1. Definição da fronteira do sistema e da unidade funcional	36
4.2 Análise do inventário	37
4.2.1 Coleta de dados.....	37
4.2.2 Cálculo das emissões e necessidade hídrica.....	38
4.3 Avaliação de impactos	39

4.4	Análise de incerteza	40
5	RESULTADOS	42
5.1	Inventários	42
5.2	Necessidade hídrica da cultura do coqueiro	47
5.3	Análise comparativa das fazendas.....	48
5.3.1	<i>Pegada hídrica</i>	49
5.3.1.1	<i>Escassez hídrica</i>	49
5.3.1.2	<i>Toxicidade</i>	51
5.3.1.3	<i>Eutrofização</i>	52
5.3.2	<i>Pegada de carbono</i>	54
5.3.2.1	Mudanças climáticas.....	54
5.4	Análise de incerteza	54
5.5	Análise de dominância nas fazendas com os piores desempenhos	58
5.5.1	<i>Pegada hídrica</i>	58
5.5.1.1	<i>Escassez hídrica</i>	58
5.5.1.2	<i>Toxicidade</i>	59
5.5.1.3	<i>Eutrofização</i>	60
5.5.2	<i>Pegada de carbono</i>	61
5.5.2.1	Mudança climática.....	61
6	DISCUSSÃO	63
7	CONCLUSÃO.....	65
	REFERÊNCIAS.....	66
	ANEXO A	70
	ANEXO B	78
	ANEXO C	92

1 INTRODUÇÃO

O Brasil esteve, nos últimos 30 anos, entre os dez maiores produtores mundiais de coco (FAOSTAT, 2017). Apesar do coco não estar entre as principais frutas exportadas pelo Brasil, esse comércio movimentou \$145 milhões para o Brasil, em 2016, representando 0,080% das exportações brasileiras (OEC, 2017). Também em 2016, a produção de coco brasileiro foi de 1,75 bilhão de frutos, distribuídos em quase 250 mil hectares. Sendo o Nordeste brasileiro responsável por 76,30% dessa produção e, portanto, é a maior região produtora. O Ceará contribuiu com 19,80% da produção nordestina, ficando atrás somente da Bahia (IBGE, 2017). Assim sendo, o Ceará se destaca no cenário brasileiro como um dos principais estados produtores de coco.

Analisando a produção cearense de 1990 a 2000 percebe-se que esta quase dobrou, conforme dados do IBGE, tendo um aumento aproximado de 99%, ao mesmo tempo em que a área plantada e a produtividade aumentaram, respectivamente, 25% e 60%. Esse crescimento se tornou possível pela reestruturação do setor do coco, bem como pelo incremento de tecnologia e ocupação de novos espaços, que são os perímetros irrigados, onde predomina o cultivo do coqueiro anão, visando à produção de coco verde. São quatro perímetros que se destacam na produção de coco no Ceará, que, em 2012, concentravam 99,5% de toda a produção cearense, sendo Curu-Paraipaba com 61,74%, Baixo Acaraú com 24,68%, Curu-Pentecoste com 9,00% e Araras Norte com 4,09%, conforme Cavalcante (2015).

De acordo com Martins e Jesus Júnior (2014), a cultura de coco no Brasil objetiva a produção de frutos para a agroindústria que manufatura óleo de coco, coco ralado e água de coco. Contudo, a comercialização de água de coco tem crescido nos últimos anos e apresenta ainda boas expectativas nos mercados interno e externo, devido a sua associação com qualidade de vida e saúde. Diante disso, a produção de coco no Ceará passa por uma renovação produtiva, ou seja, observa-se o ingresso de um pensamento capitalista na cocoicultura, a difusão dos coqueiros anão e híbrido, o distanciamento dos coqueirais do litoral - região histórica da produção de coco, e ainda a mudança do foco da produção, passando de coco seco para coco verde, objetivando o consumo de água (CAVALCANTE, 2015).

O coqueiro é uma cultura tipicamente tropical, ou seja, suas condições climáticas favoráveis situam-se entre 20°N e 20°S. O Ceará está dentro desse limite, porém é marcado por elevadas taxas de evaporação e precipitações irregulares, acarretando em déficits hídricos

sazonais. Esses déficits constituem o principal fator limitante da cocoicultura no Ceará. Desde 2012, o Ceará está enfrentando uma crise hídrica, registrando chuvas abaixo da média histórica em cerca de 800 mm com um valor médio de 521 mm (FUNCEME, 2016).

Dessa forma, é necessário avaliar os impactos ambientais relacionados ao uso da água na produção de coco no Ceará. Já que o coco é uma cultura que demanda um sistema eficiente de irrigação, assim como a aplicação de fertilizantes e pesticidas que ajudam no desenvolvimento do coqueiro (FERREIRA *et al.*, 1998).

Contudo, somente a avaliação das questões hídricas não é suficiente para determinar os impactos ambientais potenciais globais do produto em estudo. Visto que, a tomada de decisão deve ser considerada em termos mais abrangentes. É importante avaliar outras questões ambientais como o aquecimento global devido às mudanças climáticas causadas pelas emissões de gases do efeito estufa (ISO 14046, 2014). Dessa forma, o objetivo desse estudo é analisar como a produção de coco afeta as questões ambientais no estado do Ceará através das pegadas de carbono e hídrica.

Diante do exposto, para a realização desse trabalho investigou-se a produção de quatro fazendas localizadas nos municípios de Acaraú, Camocim, Paraipaba e Trairi. Assim como, foram levantados dados na literatura sobre o sistema de produção indicado para uma fazenda genérica localizada no estado do Ceará, servindo como referência para esse estudo. Portanto, foi possível comparar as pegadas hídrica e de carbono dos sistemas de cultivo característicos dos principais municípios cearenses produtores de coco com o sistema de cultivo ideal indicado na literatura.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Este estudo tem por objetivo quantificar as pegadas hídrica e de carbono da água de coco produzida no Ceará, de forma comparativa, considerando os sistemas de cultivo característicos dos principais municípios cearenses produtores de coco e o sistema de referência obtido na literatura.

2.2 Específicos

- Elaborar um inventário para cada fazenda avaliada, contendo as entradas e saídas da produção de coco. Assim como, um inventário de referência;
- Avaliar os impactos ambientais da cocoicultura, por meio das pegadas hídrica e de carbono;
- Identificar as etapas de produção que mais contribuem para os impactos ambientais;
- Sugerir alternativas para mitigar os impactos ambientais da produção de coco.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A cultura do coqueiro anão

A cultura do coqueiro é bastante favorável em territórios situados em regiões de clima tropical, onde as temperaturas são, em média, 27°C e sem grandes variações; é importante que a umidade relativa do ar seja maior que 60%, para não ser prejudicial ao crescimento da planta. O regime pluvial é imprescindível para o desenvolvimento dessa cultura, sendo ideal uma precipitação anual de 1.500 mm, com pluviosidades mensais maiores que 130 mm. O coqueiro também é extremamente exigente em luz, sendo necessária uma insolação de 2.000 horas anuais com, no mínimo, 120 horas por mês. O vento é favorável quando fraco e moderado (PASSOS, 2016).

No Brasil, a cultura do coco concentra-se principalmente no litoral do Nordeste, mas está se expandindo para as regiões Norte, Centro-Oeste, parte do Sudeste e Sul e para o semiárido nordestino. Na região Norte, a umidade atmosférica elevada contribui para o acometimento de doenças fúngicas; enquanto nas regiões Centro-Oeste e Sudeste as baixas temperaturas juntamente com a baixa umidade, restringem o desenvolvimento dessa cultura. No Nordeste, o coqueiro tem que tolerar as irregularidades pluviais e as elevadas taxas de evapotranspiração, que causam déficits hídricos durante a maior parte do ano, sendo o principal fator limitante nessa região (PASSOS, 2016).

A espécie de coqueiro é composta por duas variedades principais: a gigante e a anã. Esse estudo será direcionado a variedade anã. Visto que, tal variedade está em ascensão comercial no Brasil para produção de água de coco, que permite a sua utilização na agroindústria de alimentos e/ou do fruto *in natura*.

De acordo com Fontes (2007), o coqueiro anão apresenta desenvolvimento vegetativo lento, é precoce, pois inicia a produção com 2 a 3 anos em média. Pode atingir até 10 metros de altura com vida útil em torno de 30 a 40 anos, contudo os produtores começam o replantio aproximadamente aos 17 anos, pois a partir dessa idade a altura da planta prejudica a colheita. O coqueiro anão produz por volta de 150 a 200 frutos/planta/ano. Porém, é mais sensível ao ataque de pragas, como ácaro, e doenças foliares.

Os frutos do coqueiro anão para o comércio da água de coco devem ser colhidos, especialmente, entre o 6º e o 7º mês, depois da abertura natural da inflorescência. Visto que, é nesse período que os frutos apresentam os maiores pesos e produções de água de coco com

melhor sabor, pois nessa fase encontram-se valores mais elevados de frutose (FONTES, 2007).

3.1.1 Produção de mudas

A produção de coco inicia na seleção, preparo e posicionamento das sementes que irão gerar as mudas para o plantio. Na variedade anã, as plantas selecionadas para o fornecimento de sementes devem ter como características estar livres de pragas e doenças, tronco reto, número de folhas entre 30 e 35, e cachos com muitos frutos. Após essa seleção das plantas, as sementes devem ser colhidas por volta dos 11 ou 12 meses de idade, pois nessa idade os frutos estão completamente secos. Complementarmente, as sementes devem ser de tamanho médio, arredondadas, livres de pragas e doenças e que apresentem sinais de água em seu interior (FONTES, 2007).

Segundo Fontes (2007), o sistema tradicional de produção de mudas é composto por duas fases: o germinadouro e o viveiro. O primeiro consiste em deixar as sementes dispostas horizontalmente, cobertas com cerca de 2/3 da sua altura e cada canteiro deve ser preparado com 1,0 a 1,5 metro de largura e comprimento variável, enquanto as sementes devem ser separadas entre si por passagens de 0,5 a 1,0 metro de largura, para que se obtenha uma densidade próxima de 25 a 30 sementes por metro quadrado. Nessa fase, a muda permanece até atingir 15 a 20 centímetros de altura. Ademais, o material selecionado para a próxima fase depende da velocidade de germinação das sementes. Ou seja, sementes não germinadas em 120 dias devem ser descartadas.

No viveiro, o plantio das mudas obedece ao espaçamento de 60 x 60 x 60 cm em triângulo equilátero, resultando em 31.944 mudas por hectare. O plantio deverá ser realizado mantendo o coleto da planta ao nível do solo. As mudas a serem selecionadas devem contar com 15 a 20 centímetros de circunferência do coleto, com 7 a 8 folhas vivas e 1,0 a 1,2 metros de altura (FONTES, 2007).

A irrigação é de fundamental importância nessas fases. Recomendam-se quantidades equivalentes de água tanto no germinador quanto no viveiro, com regas no início da manhã e final de tarde. A irrigação é vital para o desenvolvimento da muda e recomendam-se 6 a 7 mm/dia, ou 60.000 a 70.000 L/ha/dia. No viveiro, também é importante o processo de adubação, sendo recomendado a utilização de 200 gramas, por planta, de uma mistura de NPK, fracionada de acordo com a idade da planta. No 1º mês, utilizam-se 30g, no 3º, 100g e

no 5°, 70g por planta. Com as seguintes proporções de nutrientes: 38% de ureia, 29,5% de superfosfato triplo e 32,5% de cloreto de potássio (FONTES, 2007).

3.1.2 Implantação e produção no pomar

De acordo com Fontes (2007), a área de plantio definitivo das mudas deve ser rigorosamente preparada. A manipulação inicia-se um mês antes da plantação, com a abertura das covas de dimensões entre 0,60m x 0,60m x 0,60m a 0,80m x 0,80m x 0,80m; preenche-se o terço inferior com material que favoreça a retenção de água, como a casca de coco alternada com camada de solo; o restante deve ser preenchido com solo de superfície e adubo orgânico, misturados homogeneamente ao fertilizante fosfatado. Recomenda-se o uso de 03 Kg de torta de mamona ou o equivalente em esterco ou outra fonte orgânica; como fonte de fósforo deve-se dar preferência ao superfosfato simples, com 800 gramas por cova. O espaçamento entre as covas deve ser de 7,5m x 7,5m x 7,5m, o que resulta em 205 plantas por hectares. A marcação da linha principal precisa seguir o sentido norte-sul, para conseguir o maior período de insolação às plantas. Inicia-se, então, o plantio das mudas junto ao período chuvoso, garantindo um suprimento de água às plantas.

Segundo Fontes (2007), o coqueiro apresenta produção o ano todo, em média obtêm-se 14 cachos por ano. O fruto maduro desprende-se do cacho e cai, embora a coleta de frutos caídos seja mais econômica, é comum a colheita trimestral. A variedade anã, em estudo, tem produtividade maior que a variedade gigante, implicando em um aumento na remoção de nutrientes do solo, os quais precisam ser repostos, pois são indispensáveis ao crescimento da planta (TABELA 1).

Tabela 1 - Doses de adubos recomendadas para o coqueiro em diferentes fases

Idade	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	g planta⁻¹ ano⁻¹		
0 a 1	600	160	600
2	900	200	1000
3	1200	400	1400
4	1500	600	2000

Fonte: adaptado de Fontes et. al. (2007).

Segundo Ferreira *et al* (1998), para que haja êxito em um programa de adubação o produtor tem que conhecer o solo em que a cultura será implantada, os aspectos básicos de nutrição, como a remoção, a função e os sintomas de deficiência dos nutrientes e, ainda,

responder cinco perguntas que facilitam o entendimento desse processo: quanto, quando, como, em que forma e qual a economicidade.

O coqueiro se adapta aos mais diversos tipos de solos, porém solos excessivamente argilosos e com camadas adensadas ou impermeáveis não são tolerados por essa cultura. Contudo, o coqueiro se adapta bem em solos arenosos que proporcionam melhor desenvolvimento radicular como latossolos, argissolos e neossolos (SOBRAL, 1998).

A determinação da necessidade de nutrientes do coqueiro, de acordo com Sobral (1998), é feita por meio de análises do solo e das folhas. Então, a adubação deve ser realizada em acordo com os resultados dessas análises e também para repor os nutrientes retirados pela cultura. A utilização de matéria orgânica é recomendada, já que além de fornecer nutrientes, pode aumentar a retenção de água e nutrientes no solo. Entretanto, não é possível suprir os requerimentos da planta apenas com fontes orgânicas.

A quantidade de água que o coqueiro necessitará depende de diversos fatores, tais como a idade da planta, o clima, o tipo de solo, o método de irrigação, o estado nutricional, entre outros. O coqueiro-anão, diferentemente do coqueiro-gigante, possui elevada taxa de transpiração, conseqüentemente consome mais água e, dadas as mesmas condições edafoclimáticas, o coqueiro-anão é o primeiro a apresentar os sintomas de estresse hídrico (NOGUEIRA et al., 1998). Na tabela 2 são apresentadas as quantidades aproximadas que deve ser aplicada na cultura do coqueiro anão. (AMORIM *et al.*, 2016).

Tabela 2 - Estimativa da quantidade de água necessária na irrigação do coqueiro

Idade da planta	Quantidade de água (L/planta/dia)	
	Lâmina líquida necessária (L)	Lâmina bruta (Lb, eficiência de 90%)
1 ano	19	21
2 anos	60	67
3 anos	144	160
4 anos	215	239
5 anos em diante	229	255

Fonte: Amorim et al., 2016.

Tendo em vista a alta demanda por água dessa cultura, regiões que sofrem com a escassez hídrica, como o semiárido nordestino, buscam aumentar a eficiência do uso da água na plantação. São escolhidos, portanto, sistemas de micro aspersão e gotejamento, pois se adaptam melhor aos grandes espaçamentos utilizados na cultura. Além disso, permitem aplicações frequentes e em baixos fracionamentos de fertilizantes via água de irrigação, também economizam energia e permitem a automação dessa atividade (NOGUEIRA *et al.*, 1998).

A cultura do coqueiro, assim como outras culturas, é atacada por diversas pragas e doenças que variam de importância dependendo da região (WARWICK, 1998). Essa situação constitui fator limitante para essa exploração, a qual ocasiona baixas produtividades, ou seja, a ação nociva de pragas e doenças pode ser notada desde a implantação da cultura, o que ocasiona um grande número de replantas, atraso no desenvolvimento vegetativo e consequente retardamento no início da produção, situação que agravasse ao passo que a planta atinge a fase adulta. Dessa forma, é necessário aplicar medidas de controle que evitem ou minimizem esse contratempo. Para cada espécie é recomendada medidas específicas, mas geralmente faz-se o controle a partir da aplicação de agrotóxicos (FERREIRA, 1998).

3.2 Impactos ambientais relacionados à agricultura

A agricultura consiste em manipular os ecossistemas naturais de forma que a produção de alimentos seja elevada ao máximo. Portanto, quanto mais sofisticada for a agricultura, mais deformado será os ecossistemas naturais (DREW, 1986).

As atividades agrícolas necessitam inicialmente do desmatamento de áreas nativas, mudando completamente a fauna e a flora locais, para atingir a produção desejada. E para impedir que a área desmatada volte à sua organização natural faz-se necessário a utilização de materiais orgânicos e inorgânicos externos assim como tecnologias mecanizadas, deixando a cultura totalmente protegida. Afora isso, nessas áreas há o predomínio de monoculturas, o que implica na perda da biodiversidade natural dos ecossistemas (DE DEUS; BAKONYI, 2012).

Em seguida, as lavouras transformam deliberadamente o equilíbrio natural do solo, sendo o horizonte cultivado superior a parte mais alterada, pois o remexer constante dessa camada impede o estabelecimento normal de horizontes químicos e físicos. Ou seja, a crescente mecanização das lavouras vem deteriorando a estrutura dos solos, pois aumenta a sua compactação e, por consequência, impede a drenagem e o desenvolvimento de raízes, dessa forma há o aumento do escoamento superficial, potencializando o processo natural de erosão. Em regiões áridas e semiáridas, práticas inadequadas de irrigação e fertilização pode causar a salinização dos solos até então férteis, o que pode conduzir à desertificação dessas regiões (DREW, 1986).

A agricultura exige ainda o suprimento de nutrientes para aumentar a produtividade, para isso utiliza-se, principalmente, fertilizantes artificiais a base de nitrogênio-fósforo-potássio (NPK). Dessa forma, esses nutrientes deixam de ser limitantes

para o desenvolvimento da cultura desejada, no entanto o uso em excesso de fertilizantes provoca a eutrofização de lagos e rios devido ao aporte de nutrientes nesses ambientes. A água de escoamento é o principal mecanismo de transporte tanto de nutrientes quanto de herbicidas e praguicidas, os quais são utilizados como tóxicos nas lavouras. Esses químicos têm provocado diversos efeitos colaterais indesejados para a saúde humana e para o ecossistema devido ao aumento da toxicidade, sendo as substâncias de desintegração mais lentas as que apresentam maior risco, como os praguicidas organoclorados – DDT (DREW, 1986).

Outro fator decisivo para o desenvolvimento da lavoura é a utilização de água para a irrigação. Conseqüentemente, esse consumo implica na redução do volume de água disponível, contudo consumos equivalentes de água podem causar diferentes impactos a depender das características da região, ou seja, se esta tem boa disponibilidade ou carência de água. Dessa forma, a água é fator limitante da irrigação e, conseqüentemente, da oferta de alimentos, portanto deve-se observar o correto manejo da água, evitando o seu consumo excessivo para que não haja escassez hídrica (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2017).

Complementarmente, há também atividades agrícolas responsáveis por causar mudanças climáticas, devido a emissão de gases do efeito estufa (GEE). Ou seja, são processos produtivos que são fontes de emissão desses gases como abertura de novos terrenos para a agricultura que reduzem a biomassa vegetal e o estoque de carbono no solo, queima da biomassa e de combustíveis fósseis e, ainda, a alteração do conteúdo de carbono e nitrogênio no solo (BARROS, 2017).

3.3 Avaliação de impacto ambiental

A avaliação de impacto ambiental é um instrumento extremamente eficaz para a prevenção do dano ambiental e para o desenvolvimento sustentável, atualmente é adotado por centenas de países, como Estados Unidos, Canadá, países da União Europeia e outros. A primeira vez em que esse termo foi formalizado aconteceu em 1969 através de uma lei aprovado no Congresso americano. No Brasil, a avaliação de impacto ambiental foi incorporada à legislação através da aprovação da lei da Política Nacional do Meio Ambiente em 1981, sendo fortalecida posteriormente, em 1988, no art. 225 da Constituição Federal (SÁNCHEZ, 2013).

Primeiramente, é importante definir os conceitos de impacto ambiental e aspecto ambiental para o melhor entendimento das questões discutidas nesse estudo. Impacto

ambiental se refere a qualquer alteração no meio ambiente e no meio social, favoráveis ou não, decorrentes das atividades humanas. Enquanto, aspecto ambiental, que foi introduzido pela ISO 14001, trata dos elementos de uma organização que podem interagir com o meio ambiente (SÁNCHEZ, 2013).

Portanto, a avaliação de impacto ambiental tem por finalidade considerar todos os impactos ambientais antes de se tomar alguma decisão que possa ocasionar uma degradação da qualidade ambiental significativa. É importante salientar que a avaliação de impacto ambiental é organizada de maneira que seja realizada uma série de atividades relacionadas logicamente. Geralmente, esse processo é regulamentado, definindo detalhadamente os procedimentos que devem ser seguidos. Uma das metodologias que dão informações e bases para negociação é a avaliação do ciclo de vida que será discutida no próximo tópico (SÁNCHEZ, 2013).

3.4 Avaliação do ciclo de vida (ACV)

A presente ordem social demanda sempre por mais matéria prima, exigindo em demasia das fontes naturais, para suprir a necessidade de bens e serviços da população. Esse ritmo de crescimento implica também em quantidades enormes de resíduos gerados. Dessa forma, percebeu-se que o desenvolvimento não sustentável acarretaria o colapso do meio ambiente. Nesse contexto, surgiu a necessidade de se pensar em formas de produção mais limpas (CHEHEBE, 1997).

Países da Europa e também os Estados Unidos começaram a estudar, após crises de produção, melhores formas de utilização de seus recursos naturais. Buscaram avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo de fontes energéticas esgotáveis, o que despertou o interesse de grandes grupos produtores em se enquadrar em certificações e rótulos ambientais concedidos com base em normas internacionais (CHEHEBE, 1997).

Nesse contexto, a Análise do Ciclo de Vida (ACV) surgiu como ferramenta de gestão e até de marketing, auxiliando na compreensão, controle e redução dos impactos oriundos do ciclo de vida de determinado produto.

A ACV é definida por Chehebe (1997) como a técnica de avaliação da trajetória de cada produto, ou seja, “do berço ao túmulo”, para analisar todas as etapas de produção e não apenas a fabricação do produto, consiste, portanto, na ideia de analisar a questão ambiental de forma holística. Dessa forma, estudos de ciclo de vida de produtos consideram

os processos de extração de matérias-primas, transporte, fabricação, consumo e descarte final do produto.

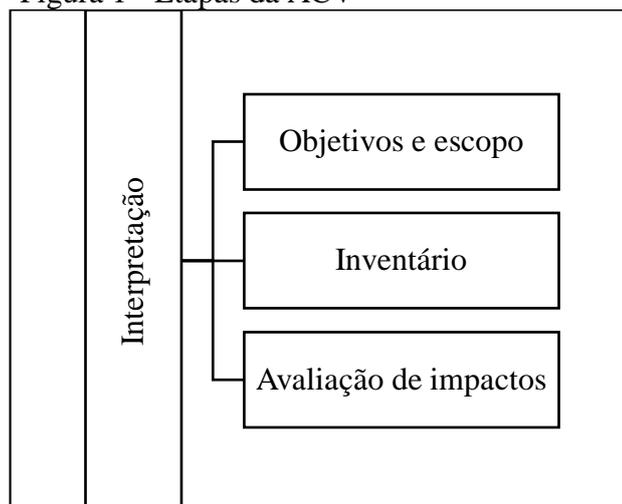
Seguindo essa ideia, a ACV pode ser utilizada com enfoque em gerenciamento e preservação dos recursos naturais, identificação de pontos críticos para otimizar o processo produtivo, desenvolvimento de novos serviços e produtos, definição dos parâmetros para rótulo ambiental, identificação dos impactos ambientais de um produto, e suporte à tomada de decisão dos produtores e consumidores (CHEHEBE, 1997).

A *International Organization for Standardization* (ISO) elaborou normas internacionais sobre a ACV em resposta aos anseios internacionais de harmonização das normas nacionais e regionais. Então, em 1997 foi publicada a ISO 14040, revisada em 2006, que trata das diretrizes para a análise do ciclo de vida. Em seguida formularam-se outras normas para complementar o estudo de ACV como a ISO 14025, que estabelece os princípios e especifica os procedimentos para desenvolver programas de declaração ambiental e declarações ambientais de Tipo III (são aqueles que listam as características ambientais de produtos ou serviços através da ACV); a ISO 14046 que dispõe dos requisitos e orientações do estudo de Pegada Hídrica; a ISO 14067 trata dos requisitos e diretrizes para estudos de Pegada de carbono (CHEHEBE, 1997).

3.4.1 Etapas da análise do ciclo de vida – ACV

A análise do ciclo de vida de produtos obedece às seguintes etapas: objetivo e escopo, inventário, avaliação de impactos e interpretação. Essas etapas são indicadas na Figura 1.

Figura 1 - Etapas da ACV



Fonte: Autora (2017).

3.4.1.1 *Objetivos e escopo da ACV*

A fase de objetivo e escopo consiste em definir a razão principal para o estudo, sua abrangência e limites, para que o estudo se torne gerenciável, prático, econômico, sem descuidar da confiabilidade.

É, também, nessa etapa que são definidos critérios importantes para o estudo, tais como a função do sistema que trata da definição clara das características do produto a ser modelado; a unidade funcional que mede o desempenho funcional do produto, ou seja, é um parâmetro para comparação entre sistemas de produtos distintos com funções equivalentes; o fluxo de referência que é o elemento quantitativo associado à unidade funcional; e, ainda, os requisitos de qualidade e metodologias de avaliação.

3.4.1.2 *Análise do inventário*

É nessa etapa em que ocorre a coleta de dados referentes ao produto em estudo, ou seja, é quando se realiza a quantificação de todas as variáveis, que correspondem à todas as entradas (matérias-primas, energia e materiais auxiliares) e saídas (produtos, coprodutos, resíduos e emissões) do ciclo de vida do produto, sendo essa tarefa é a que mais consome tempo e recursos da ACV. Dados de qualidade são obtidos por meio de medições locais (dados primários), no entanto, tais investigações detalhadas em alguns casos não são possíveis, fazendo necessário recorrer aos dados secundários encontrados na literatura.

Assegurando sempre que os requisitos de qualidade estabelecidos na primeira fase sejam obedecidos (CHEHEBE, 1997).

Segundo Chehebe (1997), os dados secundários podem ser obtidos de diversas fontes e devem ser organizados de forma a permitir uma análise seletiva. Dentro desses títulos as categorias individuais podem ser posteriormente detalhadas para satisfazer os objetivos de estudo. Por exemplo, as emissões para o ar que é caracterizada por lançamento de gases tipo monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de enxofre e outros, podem ser separadamente identificados. Essa modelagem ocorre utilizando equações obtidas na literatura.

Em determinados estudos pode se fazer necessário a realização da alocação que consiste na determinação da responsabilidade de cada um dos produtos de um sistema multifuncional sobre os impactos ambientais, a qual está associada à elevado grau de incerteza. A alocação pode ser com base em algumas propriedades físicas em que os impactos ambientais são alocados entre os co-produtos, por exemplo, baseados em suas massas, ou de acordo com os valores econômicos dos subprodutos (CHEHEBE, 1997).

3.4.1.3 Avaliação do impacto

Avaliação de impacto representa um processo qualitativo e quantitativo baseado nos resultados da análise de inventário, que propicia o entendimento e avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais avaliados.

A metodologia de ACV agrupa os impactos ambientais em dois grupos, os impactos de ponto médio (*midpoint*) que são os de mecanismos intermediários e os impactos de ponto final (*endpoint*) que são causados por um conjunto de impactos intermediários e podem ser entendidos como o dano ambiental final (ILCD, 2011).

Portanto, é nessa fase que se realiza a seleção das categorias, identificando os grandes focos de preocupação ambiental, em que as principais categorias são detalhadas na Tabela 3. Em seguida, pode-se classificar os dados entre as diversas categorias selecionadas, esses dados são, então, modelados de forma que possam ser expressos na forma de um indicador numérico para alguma categoria.

Tabela 3 - Categorias de impacto

Categorias de impacto	Descrição	Indicador (ilcd, 2016)	Método
Mudança climática	Liberação de CFCs, HFCs e HALONs na atmosfera	Potencial de aquecimento global (GWP)	IPCC (2006), 100 anos
Depleção de ozônio	Avalia a taxa de destruição da camada de ozônio na atmosfera	Potencial de depleção de ozônio	Potencial de depleção indicado pela Organização Mundial (WHO; UNEP, 2010), 100 anos
Toxicidade humana	Explica a toxicidade/efeito de uma substância química	Unidade tóxica comparativa para os seres humanos	Modelo USEtox (Rosenbaum et al., 2008)
Radiação ionizante	Descreve os danos à saúde humana relacionado com a liberação de material radioativo na atmosfera	Exposição humana a eficiência relativa do U^{235}	Modelo de efeito sobre a saúde humana desenvolvido por Dreicer et al. (1995) e Frischknecht et al., (2000)
Acidificação	Deposição atmosférica de substâncias inorgânicas no solo ou na água	Excesso acumulado	Modelo EUTREND (Seppälä et al., 2006, Posch et al., 2008)
Eutrofização	Deposição excessiva de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio no solo ou na água	Excesso acumulado	Modelo EUTREND (Seppälä et al., 2006, Posch et al., 2008)
Uso da terra	Reflete os danos aos ecossistemas causados pela ocupação e transformação da terra	Matéria orgânica do solo	Modelo baseado na matéria orgânica do solo (MilàCanals et al., 2002)
Depleção hídrica	Contabiliza a quantidade de água disponível	O uso de água relacionada com a escassez dos locais	CML 2002 (Guinée et al. 2002)
Esgotamento de recursos mineral, fóssil e renovável	Contabiliza a quantidade de recursos disponíveis	Escassez	Modelo para consumo de água em Ecoscarcity

Fonte: Adaptado de European Commission (2011).

3.4.1.4 Interpretação dos resultados

Por fim, a interpretação consiste na identificação e análise dos resultados obtidos nas fases de inventário, de acordo com o objetivo e o escopo previamente definidos para o estudo. Dessa forma, é possível identificar os principais problemas referentes a cadeia produtiva do produto em estudo.

Nessa etapa é importante realizar a checagem da integridade do estudo, ou seja, assegurar que as entradas, as saídas e os impactos potenciais previamente identificados representam, de forma adequada, as informações mais relevantes do estudo, oriundas das fases anteriores da ACV. Assim como, a análise de sensibilidade em que os efeitos cumulativos das variações nas qualidades dos dados, as estimativas realizadas e algumas

hipóteses e limitações impostas ao próprio modelo introduzem incertezas nos resultados da ACV.

Para se determinar como as incertezas dos dados e pressupostos se propagam nos cálculos e como afetaram a confiabilidade dos resultados da ACV, utiliza-se o método de simulação Monte Carlo, método estatístico que, segundo Goedkoop et al. (2013), consiste em tomar uma variável aleatória para cada valor dentro da faixa de incerteza especificada e recalcula os resultados, os quais são armazenados. Em seguida, o cálculo é repetido tomando-se amostras diferentes do intervalo de incerteza, e também este resultado é armazenado. Depois de repetir o procedimento, por exemplo, 1000 vezes, têm-se 1000 diferentes respostas. Estas respostas formam a distribuição de incerteza dos dados.

O próximo ponto é estimar o desvio-padrão geométrico, usando a matriz Pedigree. De acordo com Goedkoop et al. (2013), cada ponto de dados é avaliado com base em seis critérios: confiabilidade, integridade, correlação geográfica, tecnologia adicional e a incerteza básica (que depende do tipo de dados).

Enfim, os resultados devem ser relatados à audiência pretendida, de forma completa e precisa em um relatório final, como definido na fase do escopo. É necessário que sua elaboração possibilite a utilização dos resultados e sua interpretação esteja de acordo com os objetivos do estudo.

3.4.2 ACV de produtos agrícolas

Os produtos agrícolas também geram impactos ambientais, como foi discutido na seção 3.2, portanto, eles devem ser mensurados e caracterizados, visando aperfeiçoar a produção e minimizar os seus passivos ambientais. Esta é uma tendência global, inserir uma visão ecológica no manejo dos recursos naturais e produtivos, obedecendo ao desenvolvimento sustentável (CHEHEBE, 1997).

Diversos países já estão buscando resultados de estudos de ACV da produção de alimentos como fundamento para decisões estratégicas, táticas e operacionais. Almeja-se também a padronização dos procedimentos para a concepção do estudo, resultando em uma rede de trabalho sobre ACV (CHEHEBE, 1997).

Porém, a aplicação da ACV na produção agrícola torna-se ainda mais complexa e particular quando comparada à atividade industrial. Destacam-se algumas particularidades preponderantes como a definição da unidade funcional, influências das variações geográficas e climáticas, grande interferência dos consumidores e a estrutura da cadeia – com muitas

unidades produtivas de pequeno porte, implicando em problemas nas coletas de dados. Portanto, estudos de ACV direcionados à produção agrícola são recentes, em especial para sistemas produtivos de culturas permanentes (CHEHEBE, 1997).

No Brasil, os estudos sobre ACV de produtos agrícolas vêm crescendo nos últimos anos. Como exemplos dessa produção pode-se citar os trabalhos realizados por Figueirêdo *et al.* (2012) e Santos (2012) que estimaram uma pegada de carbono do melão de 710 e 709 kg CO₂-eq/t, respectivamente; Barros (2015) também calculou a pegada de carbono do melão, porém fazendo a análise comparativa dos sistemas conservacionista e convencional que obtiveram 647,82 e 756,90 kg CO₂-eq/t, respectivamente. Esses estudos concluíram que os processos de produção em campo e mudança de uso da terra foram os mais significativos na emissão de GEE. Enquanto Dias (2016) e Carneiro (2017) avaliaram as pegadas de carbono e hídrica da produção de manga, em que obtiveram 1,78 e 0,0678 kg CO₂-eq/kg de manga e 6,3 e 0,0264 m³ de água, respectivamente. Sendo os processos mais impactantes a produção em campo e de fertilizantes.

Entretanto, ainda são utilizadas bases de dados internacionais e modelos de caracterização calibrados para as regiões temperadas. É necessário, então, o fomento às pesquisas e trabalhos nessa área, desenvolvendo uma estrutura metodológica nacional que seja condizente com as particularidades ambientais, socioeconômicas regionais e locais, como clima, fatores de produção, sistemas produtivos, sistemas de gerenciamento, entre outros (CHEHEBE, 1997).

3.5 Pegada hídrica

O foco dos debates globais está sendo cada vez mais direcionado às questões de água devido à crescente demanda por este recurso, aumento da escassez hídrica e em muitos casos essa situação é agravada pela degradação da qualidade da água. Dessa forma, a avaliação da pegada hídrica é uma forma de analisar como as atividades humanas ou produtos específicos se relacionam com questões de escassez e poluição da água, para assim, propor soluções sustentáveis sob o ponto de vista hídrico (HOEKSTRA, 2011).

Segundo a ISO 14046 de 2014, a pegada hídrica é uma metodologia que quantifica os impactos potenciais em relação ao uso da água. Ou seja, estudos de pegada hídrica devem considerar a potencialidade de impactos ambientais devido às alterações relacionadas com a quantidade e a qualidade da água devido ao objeto de estudo. Dessa forma, a pegada hídrica é abrangente, considerando todos os impactos ambientais em todas as

etapas do ciclo de vida do produto relacionados ao meio ambiente, a saúde humana e aos recursos naturais. Essa definição difere da introduzida por Hoekstra, 2011 em que a pegada hídrica de determinado produto é o volume total de água usado em toda a sua cadeia de produção.

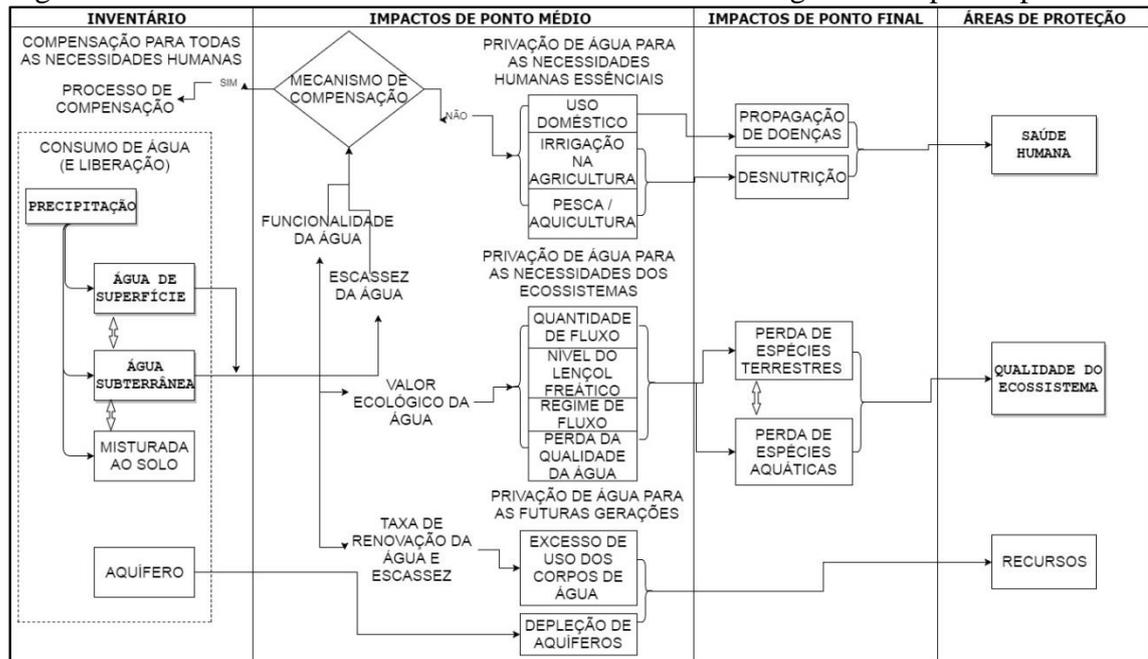
Considerando a amplitude da pegada hídrica e que o seu resultado não é restrito a uma simples categoria de impacto, mas sim a um conjunto de categorias de impactos relacionados a cadeia de causa e efeito dos usos da água faz-se necessário especificar claramente quais aspectos dessa cadeia serão avaliados (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2017). Além disso, os cálculos da pegada hídrica devem estar de acordo a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), ou seja, com as ISO 14040 e 14044 de 2006, portanto é necessário seguir as quatro fases da ACV, as quais são: definição do objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação do impacto e interpretação do resultado.

Portanto, as categorias de impactos avaliadas serão escassez hídrica, eutrofização de água doce e marinha, ecotoxicidade e toxicidade humana cancerígena e não cancerígena. Estes impactos estão relacionados com as atividades de irrigação, fertilização e uso de defensivos inerentes a produção agrícola.

3.5.1 Cadeia de causa e efeito ambiental relacionada a pegada hídrica

A cadeia de causa-efeito a seguir (FIGURA 2) relaciona o tipo de uso da água doce aos impactos potenciais nos níveis médio e final, e então, às áreas de proteção: saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos. Esses impactos podem ser relacionados à escassez de água, à funcionalidade da água, ao valor ecológico da água e à taxa de renovação da água, os quais são influenciados pela possibilidade de desenvolver mecanismos de compensação (KOUNINA *et al.*, 2012).

Figura 2 - Cadeia de causa e efeito relacionando os usos da água aos impactos potenciais



Fonte: Kounina *et al.*, 2012.

O modo como a saúde humana é afetada pelo consumo de água doce depende do nível de desenvolvimento econômico e de bem-estar da população (BOULAY *et al.*, 2011b, Bayart, 2008 apud KOUNINA *et al.* 2012), ou seja, se o nível de desenvolvimento econômico não for suficiente para custear atividades de compensação, o uso da água doce acarretará na privação de água para as necessidades humanas essenciais. O uso degradativo da água proporciona uma perda da sua funcionalidade para os usuários que precisam da água em um nível de qualidade superior ao liberado, assim como o uso consuntivo da água representa um impacto adverso, pois priva as pessoas de uma determinada quantidade de água. Esses fatores podem levar à desnutrição e à propagação de doenças, as quais estão interconectadas, visto que, a desnutrição pode tornar uma pessoa mais susceptível à propagação de doenças e, reciprocamente, algumas doenças entéricas podem afetar a capacidade de absorver nutrientes, contribuindo para a desnutrição (KOUNINA *et al.*, 2012).

Segundo Kounina *et al.*, 2012, o consumo de água também afeta os ecossistemas, como nas mudanças na quantidade de fluxo do rio, no nível do lençol freático, nos regimes de fluxo e na qualidade da água doce. Os impactos médios relacionados à privação de água doce que dependem da escassez de água e da qualidade da água ocasionam a mudança da diversidade de espécies nos ecossistemas aquático e terrestre. A proporção desses impactos depende do valor ecológico da água no ecossistema considerado.

Kounina et al., 2012 explicam que o consumo de água doce pode conduzir ao uso excessivo de corpos de água renováveis e/ou ao esgotamento das águas subterrâneas não renováveis. O uso excessivo de água renovável depende da taxa de renovação da água. Esses impactos de ponto médio afetam os fluxos de água e as reservas aquíferas, em última instância, afetam o estoque de recursos. Essa redução da água disponível afeta outras cadeias de causa-efeito ao aumentar a escassez de água local.

3.6 Pegada de carbono

Pegada de carbono é referente a quantidade de gases do efeito estufa (GEE) que é emitida durante as etapas de produção, uso e descarte final de um produto (PANDEY *et al.*, 2011). Portanto, assim como a pegada hídrica sua metodologia é baseada nas normas ISO para ACV e foi padronizada pela ISO 14067 de 2013.

Os GEE possuem a propriedade de conservar o calor sendo, portanto, responsáveis pela manutenção da temperatura do planeta. No entanto, as atividades humanas aumentam a concentração desses gases na atmosfera, causando o aumento da temperatura média da Terra. Na agricultura as principais atividades que contribuem para a emissão desses gases são mudança de uso da terra, preparo do solo, nutrição, e aplicação de defensivos (SANTOS, 2012). Portanto, estudos de pegada de carbono têm foco na categoria de impactos mudanças climáticas, por isso os resultados desses estudos ajudam a identificar as atividades que mais emitem GEE, possibilitando a definição de práticas de manejo que mitiguem essas emissões (BARROS, 2017).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) elaborou uma metodologia para calcular as emissões dos principais GEE lançados na atmosfera pelas atividades humanas, os quais são gás carbônico (CO₂), óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄). Dessa forma, a pegada de carbono é calculada multiplicando-se a somatória do produto de cada gás pelo seu potencial de aquecimento global (PAG) num período de 100 anos. Dessa forma, obtêm-se todas as emissões convertidas para a substância de referência que é o CO₂ equivalente (IPCC, 2007).

A ideia do cálculo da pegada de carbono está representada pela equação 1, a seguir, em que PC é a massa total de CO₂ equivalente obtida, M_{GEE} é a massa do gás emitido e PAG é o potencial de aquecimento global específico para cada gás, o qual foi definido pelo IPCC para horizontes de tempo de 20, 100 ou 500 anos como está representado na tabela 4.

$$(1) PC = \sum(M_{GEE} * PAG)$$

Tabela 4 - Potencial de aquecimento global

GEE	20 anos	100 anos	500 anos
	Kg/Kg CO ₂ eq		
CO ₂	1	1	1
CH ₄	72	25	7,6
N ₂ O	289	298	153

Fonte: IPCC, 2007.

4 METODOLOGIA

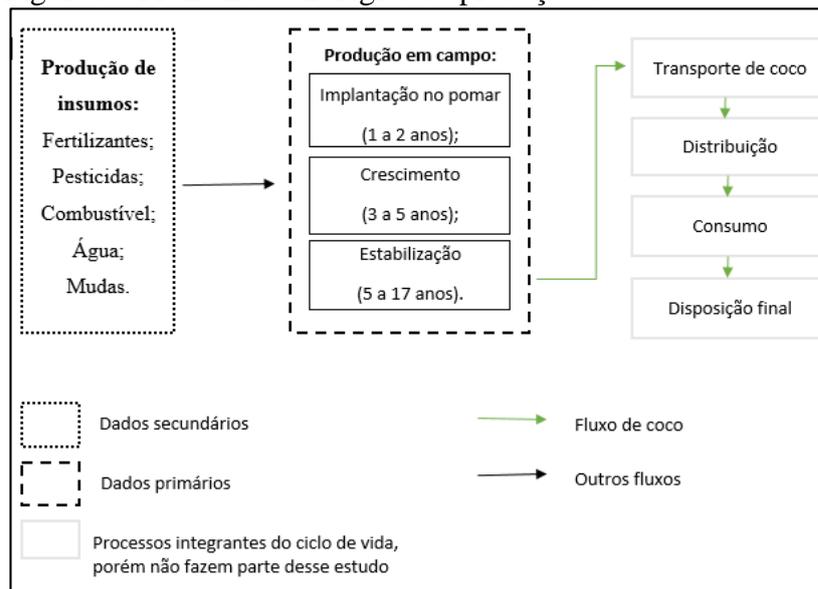
Esse estudo foi realizado com base na metodologia de ACV. Portanto, baseia-se nas normas ISO 14040 e 14044 (2006), considerando diferentes categorias de impacto relacionadas ao processo produtivo em estudo.

4.1. Definição da fronteira do sistema e da unidade funcional

A fronteira do sistema (FIGURA 3) abrange as etapas de produção de insumos e produção de coco no campo, que contempla as atividades de preparo do solo, plantio, tratos culturais, irrigação, adubação e controle fitossanitário. Já as etapas de transporte de coco, distribuição, consumo e disposição final não foram inventariados nesse estudo.

O processo de produção em campo foi dividido em três fases: fase de implantação (1 a 2 anos), em que não há produção; fase de crescimento (3 a 5 anos), na qual a produção é crescente; e fase de estabilização (5 a 17 anos), quando a produção estabiliza.

Figura 3 - Fronteira tecnológica da produção de coco



Fonte: Autora, 2017.

A unidade funcional determinada para medir o desempenho funcional do cultivo do coqueiro é de 1 litro de água de coco.

Nas quatro fazendas estudadas, a forma de produção é bastante semelhante, salvo algumas peculiaridades que serão tratadas em sequência. A irrigação, por exemplo, é realizada por microaspersores e acontece basicamente no período de estiagem, que corresponde aos

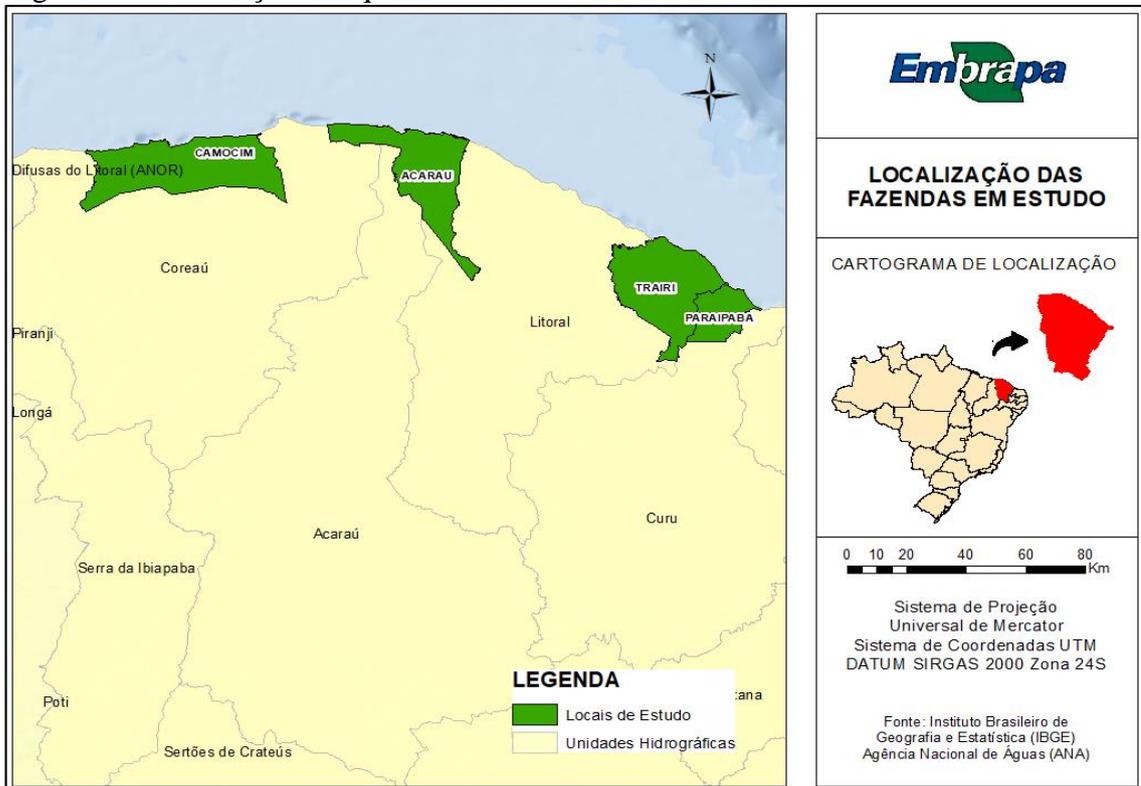
meses de junho a janeiro (8 meses ao ano), variando em quantidade em cada fazenda. No entanto, em Trairi mantém-se a fertirrigação, uma técnica de adubação que utiliza água para levar os nutrientes às plantas, a cada 6 dias durante a quadra chuvosa (fevereiro a maio).

4.2 Análise do inventário

4.2.1 Coleta de dados

O estudo foi desenvolvido no Ceará em quatro fazendas localizadas nos municípios de Acaraú, Camocim, Paraipaba e Trairi, totalizando uma amostra aproximada de 200 hectares. A figura 4 mostra a localização dos municípios, nos quais as fazendas estão inseridas em relação à sua bacia hidrográfica.

Figura 4 - Localização das quatro fazendas em estudo



Fonte: Autora, 2017.

Também foram levantados dados na literatura sobre o sistema de produção indicado para uma fazenda genérica, os quais foram obtidos no *site* da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) sobre sistemas de produção indicados para a cultura do

coqueiro (www.spo.cnptia.embrapa.br), onde foi obtido um inventário de referência para o estudo.

Os dados de insumos de cada fazenda foram alocados em três fases: implantação, crescimento e estabilização. Após o somatório dos dados, estes foram divididos por 17, a fim de compor um ano médio. No entanto, cada fazenda possui características próprias, resultando em muitas variações, por exemplo, a densidade de plantas variou de 133 até 180 plantas por hectare, fazendo necessário normalizar as quantidades de insumos para 1 litro de água de coco, o que foi feito mediante divisão dos valores médios anuais pela produtividade média dos 17 anos.

Os dados primários são referentes à produção em campo, obtidos por meio de aplicação de questionário (ANEXO A) aos produtores em visitas técnicas ou via correio eletrônico, obtendo-se informações sobre irrigação, fertilização, aplicação de defensivos, bem como dados morfoclimáticos de cada fazenda.

Os dados secundários foram utilizados, complementarmente, para as informações morfológicas e ecofisiológicas do coqueiro que foram usadas para o cálculo das emissões. Esses dados foram obtidos em Ferreira et al., 1998 e Fontes et al., 2016. No entanto, para os dados referentes à produção de insumos necessários ao cultivo foi utilizada a base de dados *Ecoinvent* (FRISCHKNECHT; JUNGBLUTH, 2007).

4.2.2 Cálculo das emissões e necessidade hídrica

Para a produção agrícola calculou-se os compostos que são comumente lançados ao meio ambiente devido as etapas de fertilização e aplicação de defensivos. As estimativas das emissões foram divididas em três compartimentos: ar, água e solo. Os modelos utilizados para o cálculo das emissões estão no anexo B.

As emissões para o ar devidas a mudança de uso da terra foram calculadas seguindo a metodologia do IPCC (2007) em que os dados referentes aos biomas foram obtidos no MCTI (2010). Considerou-se que 8% da biomassa retirada é colhida, 20% é queimada e 72% sofre decaimento (Nemecek *et al.*, 2016). As seguintes emissões para o ar, devidas a produção em campo, foram calculadas de acordo com Nemecek e Schnetzer (2011): i) amônia (NH₃) e dióxido de carbono (CO₂), relativo à aplicação de ureia; ii) óxidos de nitrogênio (NO_x); e, iii) óxido nitroso (N₂O). As emissões de dióxido de carbono (CO₂) pela aplicação de calcário foram de acordo com IPCC (2007).

Quanto às emissões para a água, foram utilizados os métodos SQCB-NO₃ (Emmenegger et al., 2009), para estimar o nitrato liberado por lixiviação, e Nemecek e Schnetzer (2011), para calcular o fósforo transportado por erosão para os rios.

Para o solo foram estimadas as emissões de metais pesados, os quais também foram calculados para as águas superficiais e subterrâneas, segundo Nemecek e Schnetzer (2011). As emissões de pesticidas, conforme o método conservador, representam a totalidade de ingrediente ativo que é lançado ao meio ambiente, considerando que este é totalmente emitido para o solo.

Complementarmente, calculou-se a necessidade hídrica do coqueiro, visto que, um suprimento adequado de água constitui principal exigência dessa cultura. A estimativa da quantidade água a ser aplicada foi realizada em duas etapas que são descritas a seguir.

A evapotranspiração da cultura (ET_c) representa o consumo real de água pela cultura e tem relação com as fases de desenvolvimento da cultura (K_c) que varia de 0,65 a 1,00; bem como com as condições climáticas (ET_o) de cada município, que foram agrupados em duas regiões (I – Acaraú e Camocim e II – Paraipaba e Trairi), conforme consta na equação 2 (MIRANDA; GOMES, 2006).

No entanto, deverá ser aplicada uma quantidade de água prevendo-se as perdas e a uniformidade de distribuição. Por isso, calculou-se a lâmina bruta, ou seja, a lâmina de água total que será aplicada, conforme a equação 3, considerando uma eficiência da irrigação localizada por microaspersão de 90% (MIRANDA; GOMES, 2006).

$$(2) ET_c = ET_o * K_c$$

$$(3) \text{Lâmina bruta} = \frac{ET_c}{\text{Eficiência}}$$

4.3 Avaliação de impactos

As categorias de impactos avaliadas na pegada hídrica são escassez hídrica, eutrofização de água doce, marinha, toxicidade humana cancerígena, não cancerígena, ecotoxicidade. E, na pegada de carbono, avalia-se apenas a categoria mudança climática. Estes impactos estão relacionados às atividades de irrigação, fertilização e uso de defensivos próprios da produção agrícola.

Existem diversos métodos desenvolvidos para avaliar as categorias de impacto em estudos de ACV. Contudo, como explicam BOULAY *et al.* (2015), ainda não há consenso quanto a estes métodos. Entretanto, a União Europeia forneceu um guia com recomendações de quais métodos seriam mais indicados para cada categoria de impacto.

Dessa forma, o método IPCC, 2013, avaliou o potencial de aquecimento global dos GEE com horizonte de 100 anos. O método USEtox foi utilizado como indicador, em nível *midpoint*, para a avaliação da toxicidade humana e da ecotoxicidade, utilizando fatores para impactos cancerígenos, não cancerígenos e impactos no ambiente aquático, o qual se baseia na evolução, exposição e efeitos das substâncias químicas (ROSENBAUM *et al.*, 2008). O ReCiPe, versão hierarquizada, também utilizado em nível *midpoint*, avaliou as substâncias que contribuem para a eutrofização, como os compostos nitrogenados e fosfatados (ILCD,2011). Por fim, o método AWARE avaliou os impactos relacionados com a disponibilidade de água, o que foi feito analisando o consumo hídrico de uma região em relação à sua disponibilidade hídrica (GGLCIAI, 2017).

Por meio do *site* www.wulca-waterlca.org/aware.html, obteve-se o arquivo com os fatores de caracterização do método AWARE, os quais são regionalizados e podem ser visualizados através do *Google Earth Pro*. O cálculo do impacto na escassez hídrica foi realizado de duas formas: i) a partir de fatores anuais, em que se multiplica o consumo médio anual pelo fator anual; e, ii) a partir de fatores mensais, em que para cada mês com irrigação multiplicou-se o consumo mensal pelo seu respectivo fator, de modo que o valor total do impacto na escassez foi o somatório dos impactos de cada mês. A tabela referente a esses cálculos encontra-se no ANEXO C.

A modelagem das categorias de impactos foi realizada no *software* de ACV, SimaPro versão 8.3.0.0, utilizando a base de dados do *Ecoinvent*.

4.4 Análise de incerteza

Utilizou-se a análise de incerteza na avaliação comparativa dos sistemas estudados para determinar se há diferença significativa entre as quatro fazendas produtoras e a fazenda de referência nas categorias de impacto avaliadas. Para tanto contou-se com o método de Monte Carlo com intervalo de confiança de 95%, o qual avalia 1000 ciclos de valores gerados para as variáveis de consumo e emissão; e com a Matriz Pedigree para calcular o desvio padrão das variáveis.

Portanto, se na análise de incerteza o percentual de vezes em que alguma das quatro fazendas estudadas resultar em um impacto maior que a referência em pelo menos 95% dos ciclos, implicará dizer que a referência é significativamente melhor que a fazenda comparada. Assim como a recíproca também é válida.

Para a realização da análise de incerteza da categoria escassez hídrica foi necessário desconsiderar os fatores de impacto do método AWARE, uma vez que este foi desenvolvido recentemente e uma parte dos cálculos ainda é realizada fora do *software*. Em razão disso, utilizou-se o método ReCiPe para depleção hídrica, ou seja, considerou-se apenas a soma do consumo de água de cada fazenda (dados de inventário) somente para a análise de incerteza.

5 RESULTADOS

5.1 Inventários

Os dados de entradas e saídas das fazendas em estudo estão resumidos na tabela 5, que consiste nos inventários das quatro fazendas estudadas e um inventário de referência, considerando um ano médio de produção, em um hectare, levando em conta a vida útil de um coqueiro anão que é aproximadamente de 17 anos.

A princípio, pôde-se notar que não há forte mecanização da produção nessas fazendas, pois a maioria das operações são realizadas manualmente por ser a opção mais econômica. Apenas duas operações agrícolas mecanizadas são comuns a quase todas as fazendas analisadas, a pulverização de defensivos para o controle de pragas e a roçagem para a remoção do mato que compete por nutrientes com a cultura principal.

A fertilização é realizada nessas fazendas manualmente, três vezes ao ano, variando apenas a quantidade e o fertilizante utilizado. Observou-se que, enquanto o composto à base de cama de frango é aplicado apenas em Camocim, o fertilizante orgânico à base de esterco de gado é o mais utilizado, visto que sua aplicação se deu nas fazendas em Acaraú, Paraipaba, Trairi e na referência. Entretanto, ao relacionar a fertilização orgânica com a produção de cada fazenda, percebeu-se que Paraipaba produziu mais, fazendo uso de menos fertilizante orgânico, adotando majoritariamente o composto inorgânico NPK 20-10-20 e o esterco foi utilizado apenas em caso de eventual queda na produção.

Em relação à aplicação de defensivos, notou-se o uso predominante de inseticidas em todas as fazendas. No entanto, em Acaraú aplicam-se complementarmente fungicidas e herbicidas. Além disso, na fazenda referência recomenda-se ainda o uso de formicidas. Essa prática é realizada sempre após as colheitas, as quais acontecem, aproximadamente, 9 vezes ao ano, seguindo-se, então, do envio dos cocos verdes para fábricas de envase de água de coco, etapa que não faz parte do escopo desse estudo.

Vale ressaltar que o uso de métodos alternativos, como extratos vegetais, no controle de pragas não é habitual nessas fazendas, exceto Camocim, que utiliza essencialmente óleo de coco para combater as pragas. Nota-se também que nessa fazenda há o predomínio de fertilizantes orgânicos, por visar à implementação de uma produção orgânica.

Em relação às emissões, a amônia é o gás emitido em maior quantidade para a atmosfera, devido ao uso de fertilizantes nitrogenados, enquanto os óxidos de nitrogênio e o dióxido de carbono estão associados à queima da biomassa e de combustível fóssil, assim

como a fertilização. Para a água, a emissão de nitrato e fósforo são mais preocupantes, pois são nutrientes limitantes em corpos hídricos. Acaraú foi responsável pela maior emissão de nitrato, em razão de sua maior aplicação de fertilizantes como esterco bovino e ureia. Enquanto na emissão de fósforo as emissões das fazendas em estudo ficaram abaixo da fazenda referência.

Observou-se que a quantidade de água para irrigação aplicada tem relação direta com a produção, ou seja, em Trairi a irrigação foi 88,15% menor que o recomendado na referência e, conseqüentemente, apresentou a menor média de produção, cerca de 56,25% abaixo da produção da fazenda referência.

Tabela 5 – Inventário das fazendas estudada

DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	ANO MÉDIO				
		REFERÊNCIA	ACARAÚ	CAMOCIM	PARAIPABA	TRAIRI
1. Produtividade						
Produção	Frutos/ha	23.032,35	32.647,10	18.055,00	37.731,46	10.077,90
Produção de água de coco	l/ha	6.909,71	9.794,12	8.233,08	11.319,44	3.023,37
2. Densidade						
Plantas	Pl/ha	205,00	173,00	180,00	181,43	133,33
2. Insumos						
2.1 Água						
Água	m³/ha	11.003,44	8.282,95	6.287,05	5.446,10	1.303,97
2.2 Fertilizantes						
Ácido fosfórico	kg/ha		24,00			
Bórax	kg/ha	7,53				
Calcário	kg/ha				32,02	
Calcário dolomítico	kg/ha		558,82	677,65		
Cloreto de potássio	kg/ha	448,59	352,94			348,22
Composto de frango	kg/ha			12.971,39		
Esterco	kg/ha	5.176,47	9.294,12		12,61	5.270,46
Fósforo natural	kg/ha			423,53		
Gesso	kg/ha			141,88		
Map	kg/ha		173,35			
Micronutrientes FTE - BR 12	kg/ha		45,59		19,21	
NPK 20-10-20	kg/ha				483,51	
Sulfato de cobre	kg/ha	14,41				
Sulfato de manganês	kg/ha	15,00				

DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	ANO MÉDIO				
		REFERÊNCIA	ACARAÚ	CAMOCIM	PARAIPABA	TRAIRI
Sulfato de zinco	kg/ha	18,18				
Superfosfato simples	kg/ha	373,76	7,53			147,44
Uréia	kg/ha	534,24	367,00			439,20
Westfol mature	kg/ha			11,53		
Westfol plus	kg/ha			5,23		
2.3 Defensivos						
Acaricida	l/ha				0,02	
Detergente	l/ha	19,76		25,87	1,31	2,65
Espalhante adesivo (extravon)	l/ha		0,45			
Formicida (isca)	l/ha	0,04				
Fungicidas	l/ha	0,25	0,44			
Herbicida	l/ha	2,33	0,09			
Inseticidas	kg/ha		0,72	0,15	1,23	
Inseticidas líquido	l/ha	0,40				0,21
Óleo algodão	l/ha	29,65				4,41
Óleo de coco	l/ha			73,91		
Óleo mineral	l/ha		1,90			
3. Mecanização						
Pulverizações mecânicas	a.a	2,71	6,77	6,77		7,94
Roçagem mecanizada	a.a	1,00	2,35	2,35	3,00	
4. Emissões						
4.1. Emissões para o ar						
Amônia (NH ₄)	kg/ha	239,34	389,21	912,61	5,17	196,00
Óxido nitroso (N ₂ O)	kg/ha	64,32	40,88	31,35	2,82	23,26
Óxidos de nitrogênio (NO _x)	kg/ha	5,99	7,60	4,30	1,17	5,53
Dióxido de carbono (CO ₂)	kg/ha	377,44	331,93	88,09	3,84	310,30

DISCRIMINAÇÃO	UNIDADE	ANO MÉDIO				
		REFERÊNCIA	ACARAÚ	CAMOCIM	PARAIPABA	TRAIRI
4.2. Emissões para a água						
Nitrato (NO ₃)	kg/ha	1.942,00	9.692,70	5.186,47	424,13	5.032,14
Fósforo	kg/ha	0,02700	0,01030	0,01132	0,00855	0,01108
Cádmio	kg/ha	0,00005	0,00004	0,00005	0,00004	0,00004
Cobre	kg/ha	0,00374	0,00377	0,00382	0,00291	0,00350
Zinco	kg/ha	0,02141	0,02100	0,03262	0,01237	0,02008
Chumbo	kg/ha	0,00081	0,00023	0,00050	0,00053	0,00042
Níquel	kg/ha	0,00043	0,00015	0,00027	0,00020	0,00014
Cromo	kg/ha	0,01917	0,01901	0,02141	0,02141	0,01662
4.3. Emissões para o solo						
Cádmio	kg/ha	0,003	0,002	0,007	0,002	0,001
Cobre	kg/ha	0,015	0,170	0,376	0,004	0,020
Zinco	kg/ha	0,079	0,082	2,926	0,015	0,068
Chumbo	kg/ha	0,030	0,002	0,017	0,026	0,010
Níquel	kg/ha	0,006	0,005	0,350	0,275	0,003
Cromo	kg/ha	0,006	0,008	0,993	0,026	-0,003
Pesticidas	kg/ha	3,015	1,250	0,152	1,250	0,207

Fonte: Autora, 2017.

5.2 Necessidade hídrica da cultura do coqueiro

A tabela 6 fornece uma estimativa da quantidade ideal de água a ser aplicada em produções de coco nas regiões I (Acará e Camocim) e II (Paraipaba e Trairi). Já o gráfico 1 mostra a comparação entre a quantidade utilizada na irrigação em cada fazenda (TABELA 5) com a quantidade ideal. Nota-se que em todas as fazendas a quantidade de água utilizada na irrigação está abaixo da necessidade do coqueiro, e, apesar de essa cultura ser resistente a situações de estresse hídrico, em casos extremos o coqueiro pode apresentar redução no crescimento, queda prematura das folhas, retardamento do início da produção, frutos imaturos e redução do tamanho dos que conseguem amadurecer, como acontece em Trairi.

Tabela 6 - Cálculo da necessidade hídrica da cultura do coqueiro por região

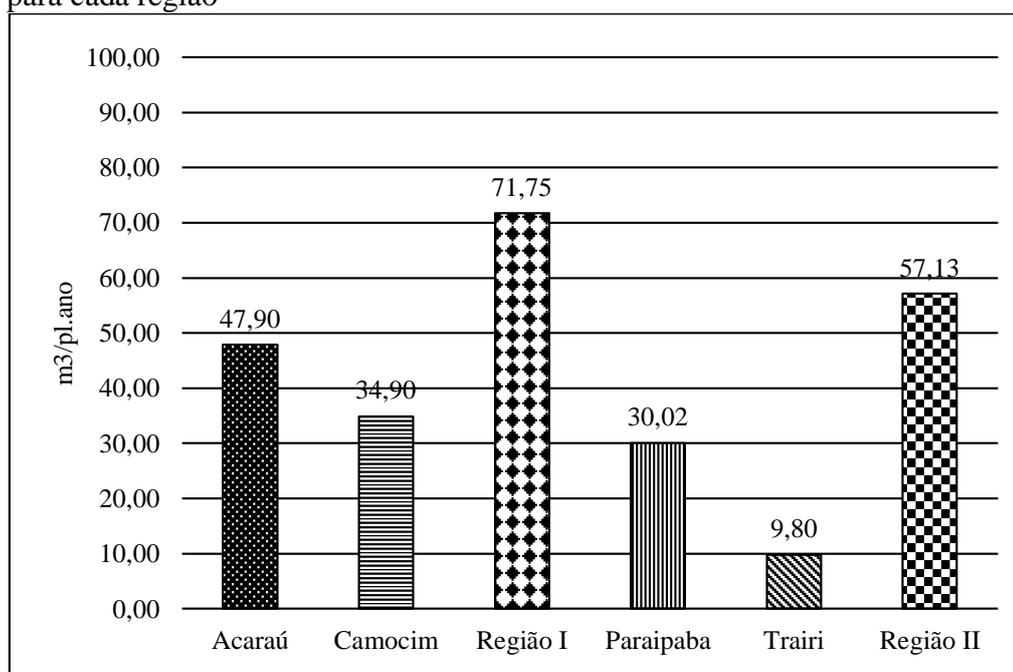
Idade da planta (ano)	ETo média (mm/dia)		Kc	ETc (mm/dia)		Eficiência Irrigação	Lâmina bruta (mm/dia)		Lâmina bruta* (m ³ /pl.ano)		
	I	II		I	II		I	II	I	II	
	Região**										
	I e II	I	II	I e II	I	II	I e II	I	II	I	II
1	5,7	4,5	0,65	3,7	2,9	90%	4,1	3,3	48,05	38,26	
2	5,7	4,5	0,85	4,8	3,9	90%	5,4	4,3	62,84	50,03	
3	5,7	4,5	1,00	5,7	4,5	90%	6,3	5,0	73,93	58,86	
Média (17 anos)				5,5	4,4		6,1	4,9	71,75	57,13	

*Considerando um hectare com 205 plantas e 240 dias (ou 8 meses) de irrigação.

**Região I – Acará e Camocim e II – Paraipaba e Trairi.

Fonte: Autora, 2017.

Gráfico 1 - Análise do consumo de água de cada fazenda em relação ao recomendado para cada região



Fonte: Autora, 2017.

5.3 Análise comparativa das fazendas

Realizou-se uma análise comparativa das pegadas hídrica e de carbono dos sistemas de produção de água de coco nas quatro fazendas em Acaraú, Camocim, Paraipaba, e Trairi, em relação à fazenda referência (Tabela 7). Pode-se perceber que o litro de água de coco que obteve maior impacto foi o produzido em Trairi, visto que, das 7 categorias avaliadas esta fazenda apresentou desempenho pior que a referência em 4 categorias, as quais foram eutrofização marinha, toxicidade humana cancerígena, não cancerígena e mudança climática.

Tabela 7 - Resultados obtidos nas categorias de impacto para cada fazenda

Categoria	Unidade	Referência	Acaraú	Camocim	Paraipaba	Trairi
		Por litro de água de coco				
Pegada hídrica						
Escassez hídrica	m ³ eq	20,13	3,13	2,82	15,37	14,79
Eutrofização de águas doces	Kg P eq	0,00018	0,00010	0,00060	0,00004	0,00031
Eutrofização marinha	Kg N eq	0,12	0,23	0,16	0,01	0,39
Toxicidade humana,	CTUh	8,1E-11	8,5E-11	7,5E-11	2,0E-11	2,5E-10

Categoria	Unidade	Referência	Acaraú	Camocim	Paraipaba	Trairi
		Por litro de água de coco				
câncer						
Toxicidade humana, não-câncer	CTUh	1,0E-11	9,4E-12	7,3E-12	2,1E-11	2,5E-11
Ecotoxicidade	CTUe	0,67	0,44	0,16	8,09	3,03
Pegada de carbono						
Mudança climática	Kg CO ₂ eq	3,65	2,03	2,30	0,63	5,30

Fonte: Autora, 2017.

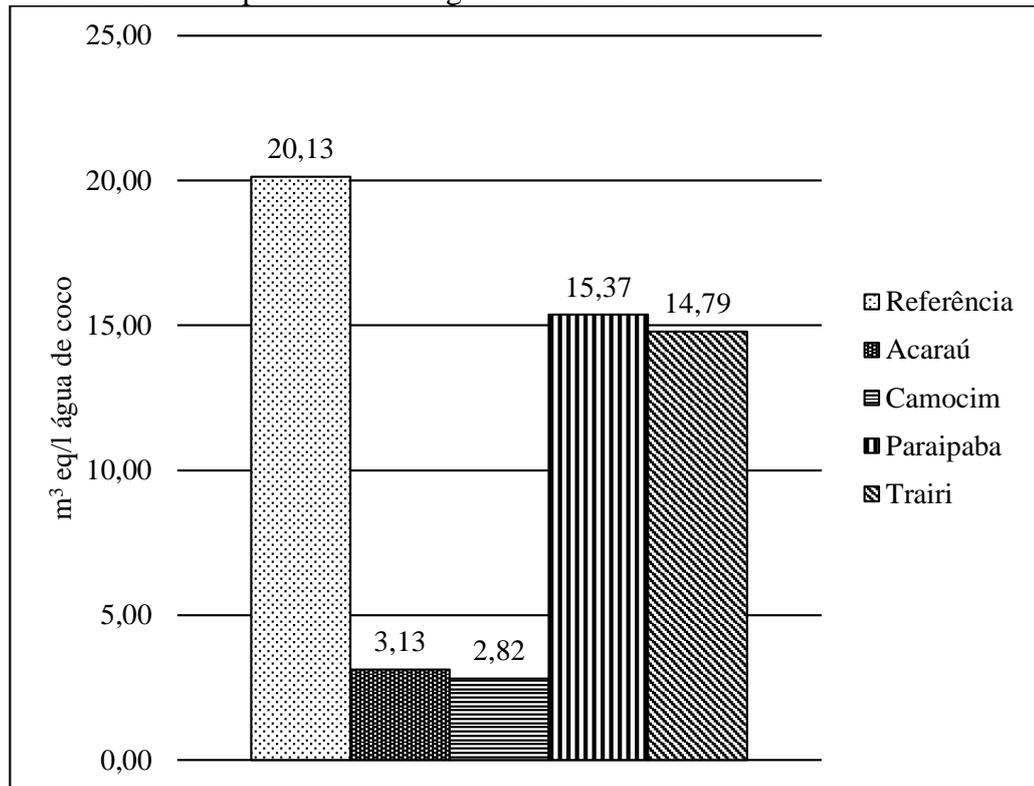
5.3.1 Pegada hídrica

5.3.1.1 Escassez hídrica

Ao comparar o impacto na escassez hídrica, nota-se que as fazendas analisadas apresentam impacto menor em relação à fazenda referência (GRÁFICO 2). Entende-se que essa situação é reflexo da crise hídrica que o Ceará enfrenta desde 2012.

Trairi e Paraipaba estão localizadas em bacias hidrográficas que têm maior fator de caracterização do método AWARE (TABELA 5), por isso o impacto dessas fazendas resultou em 14,79 e 15,37 m³ eq/l de água de coco, respectivamente, que correspondem, cada um, a pouco mais de 70% do impacto na escassez hídrica em relação à referência. Enquanto isso, Acaraú e Camocim, que estão em bacias hidrográficas com fator de caracterização menor, apresentaram impacto na escassez hídrica de 3,13 e 2,82 m³ eq/l de água de coco, respectivamente, correspondendo a 15,60% e 14% do impacto em relação à situação referência.

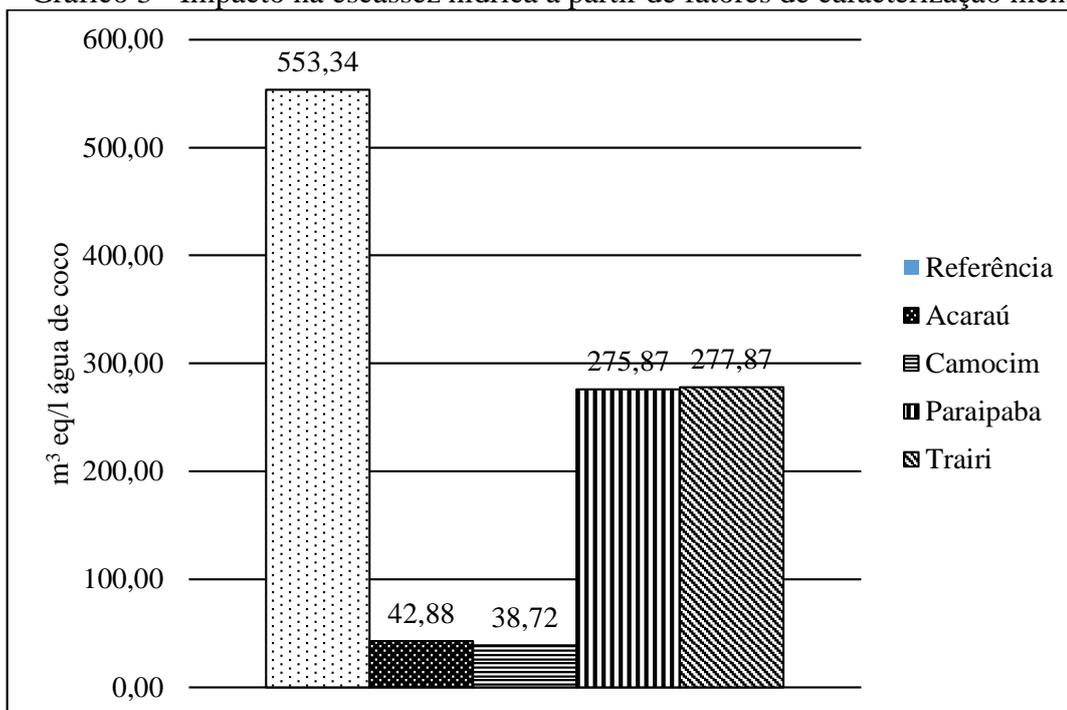
Gráfico 2– Comparativo da categoria escassez hídrica



Fonte: Autora, 2017.

Ao comparar o gráfico 2 com o 3, pode-se notar que a tendência das fazendas com os maiores impactos foi mantida, porém a magnitude do impacto foi muito superior. A exemplo disso, menciona-se que a fazenda referência teve o impacto aumentado em 95% em relação ao impacto calculado a partir de fatores anuais. Esse resultado é oriundo da perda de informações que qualquer agregação implica, depende do nível de agregação (no tempo e/ou espaço) e pode resultar em uma sobre ou subestimação do valor do fator de caracterização (GGLCIAI, 2017).

Gráfico 3 - Impacto na escassez hídrica a partir de fatores de caracterização mensais



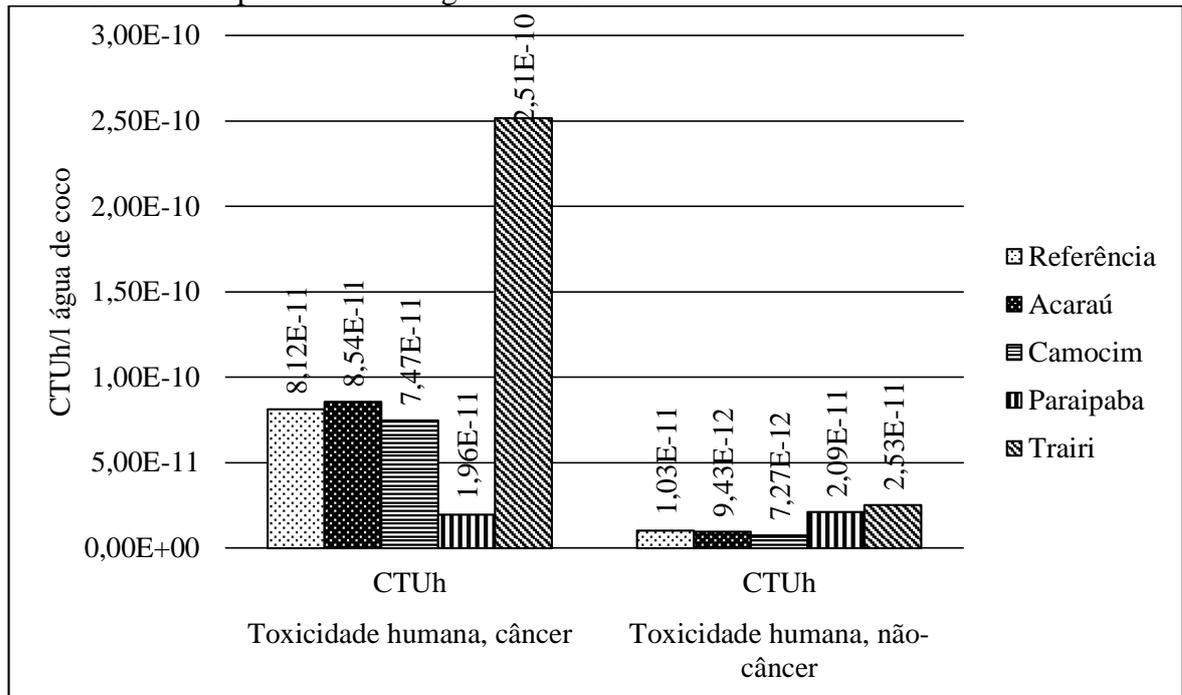
Fonte: Autora, 2017.

5.3.1.2 Toxicidade

Para a categoria toxicidade humana cancerígena, Trairi apresentou resultado muito superior às demais fazendas (GRÁFICO 4). Os principais agentes responsáveis por aumentar os indicadores nessa categoria são os metais pesados, decorrentes do uso de fertilizantes, e os pesticidas. Apesar de a fazenda em Trairi não apresentar elevada emissão de metais pesados ou pesticidas, como visto na tabela 5, a sua baixa produtividade fez que os indicadores nessa categoria aumentassem. Do mesmo modo, na categoria toxicidade humana não cancerígena e na ecotoxicidade (GRÁFICO 4), a fazenda em Trairi se destacou em relação à referência.

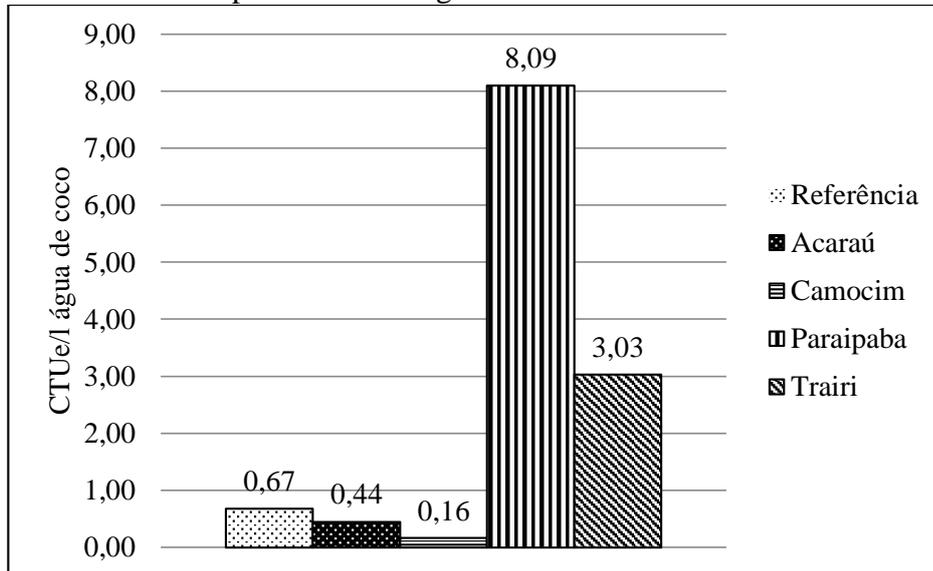
A fazenda em Paraipaba apresentou desempenho pior que a referência na categoria toxicidade humana não cancerígena. No entanto, isso ocorreu devido a maior aplicação de inseticidas em sua produção, conforme tabela 5, fazendo que Paraipaba se destacasse ainda na categoria ecotoxicidade (GRÁFICO 5).

Gráfico 4 - Comparativo da categoria toxicidade



Fonte: Autora, 2017.

Gráfico 5 - Comparativo da categoria ecotoxicidade



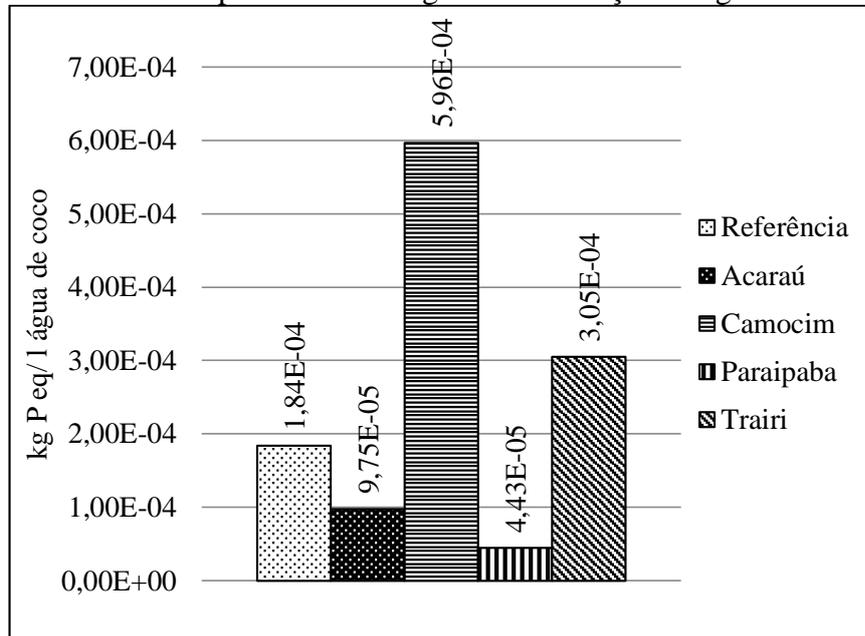
Fonte: Autora, 2017.

5.3.1.3 Eutrofização

No gráfico 6 está o resultado da comparação entre as fazendas na categoria eutrofização de água doce. Percebe-se que Camocim e Trairi registraram os piores desempenhos. Este fato está relacionado à grande quantidade de fertilizantes à base de fósforo utilizados nessas fazendas.

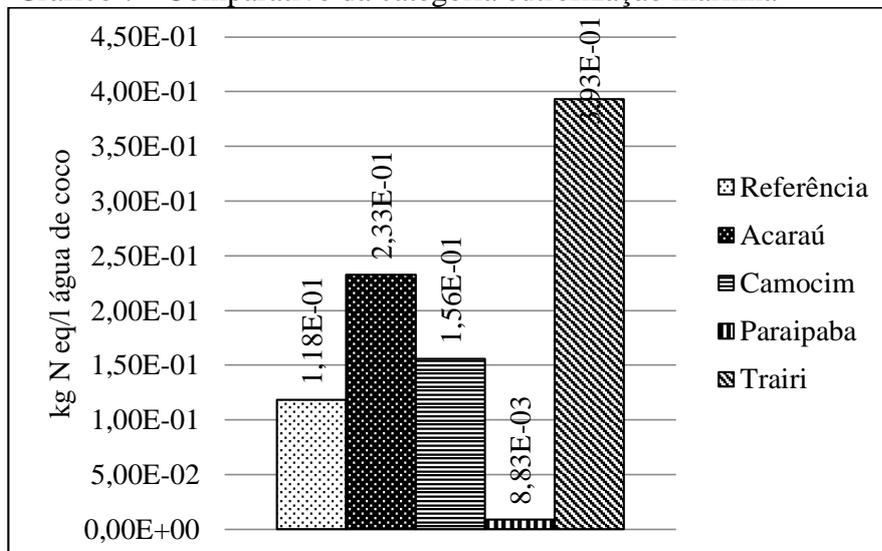
Em relação ao gráfico 7, na categoria eutrofização marinha, Acaraú, Camocim e Trairi mostraram ser piores que a referência. Esse resultado deve-se principalmente às maiores emissões de nitrato, decorrentes do uso demorado de fertilizantes nitrogenados nessas fazendas por causa da lixiviação.

Gráfico 6 - Comparativo da categoria eutrofização de água doce



Fonte: Autora, 2017.

Gráfico 7 - Comparativo da categoria eutrofização marinha



Fonte: Autora, 2017.

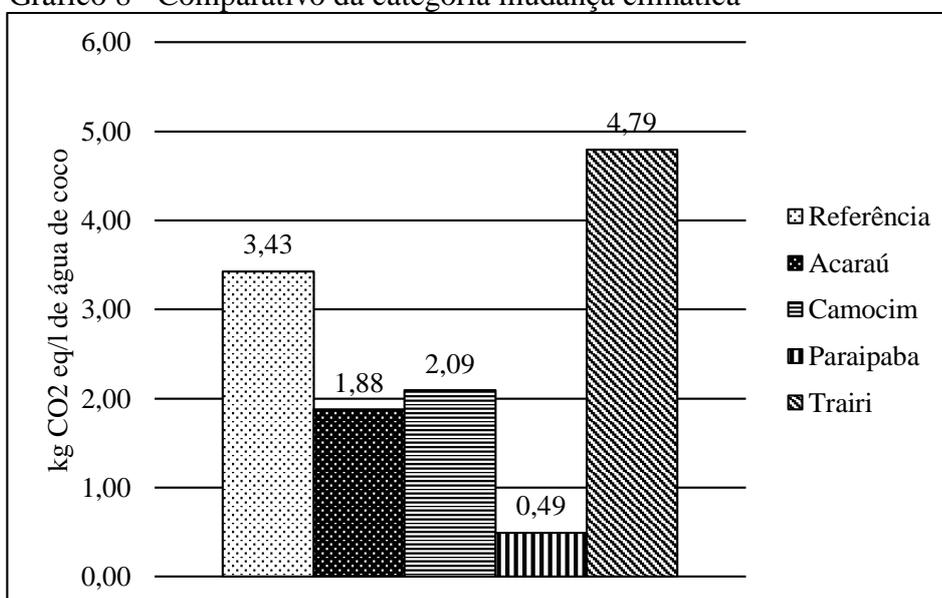
5.3.2 Pegada de carbono

5.3.2.1 Mudanças climáticas

Por fim, na categoria mudança climática, a fazenda em Trairi continuou apresentando desempenho pior que a fazenda referência e as demais fazendas analisadas com 4,79 kg CO₂ equivalente, como pode ser visto no gráfico 8. Apesar de a fazenda em Trairi não apresentar as maiores emissões de gás carbônico ou óxidos de nitrogênio, a sua baixa produtividade também fez que essa fazenda se destacasse nessa categoria.

Foi possível determinar ainda a pegada de carbono média da produção de coco no Ceará, que vale 2,31 kg CO₂ eq/l de água de coco.

Gráfico 8 - Comparativo da categoria mudança climática



Fonte: Autora, 2017.

5.4 Análise de incerteza

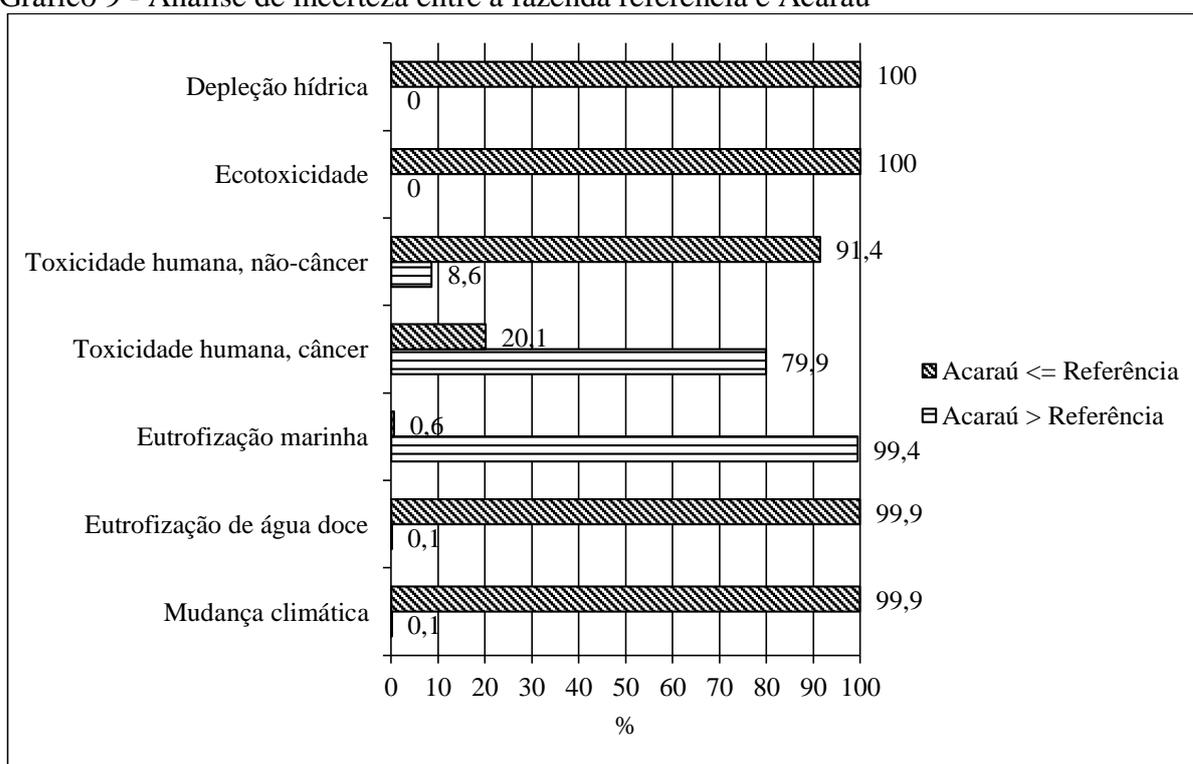
Para avaliar se a diferença observada entre os resultados de cada fazenda, em relação à fazenda de referência, é significativa ou não, realizou-se a análise de significância em todas as categorias estudadas: escassez hídrica, toxicidade humana cancerígena, não cancerígena, ecotoxicidade, eutrofização marinha, de água doce e mudança climática.

Na categoria escassez hídrica, considerou-se somente a depleção hídrica, a qual contabiliza o volume de água total usada em cada fazenda e não a relação entre o consumo e a disponibilidade hídrica da região. Os gráficos 9, 10, 11 e 12 mostram que o percentual de

vezes em que a fazenda referência apresentou impacto maior que as outras quatro fazendas, foi igual a 100%. Portanto, a fazenda referência é significativamente pior em termos de consumo hídrico em relação às demais.

O gráfico 9 mostra a análise realizada entre a fazenda em Acaraú e a fazenda referência, no qual se observa que apenas na categoria eutrofização marinha a fazenda em Acaraú apresentou desempenho significativamente pior que a referência, com um percentual maior que 99%. Enquanto isso, nas categorias toxicidade humana cancerígena e não cancerígena não houve diferença significativa.

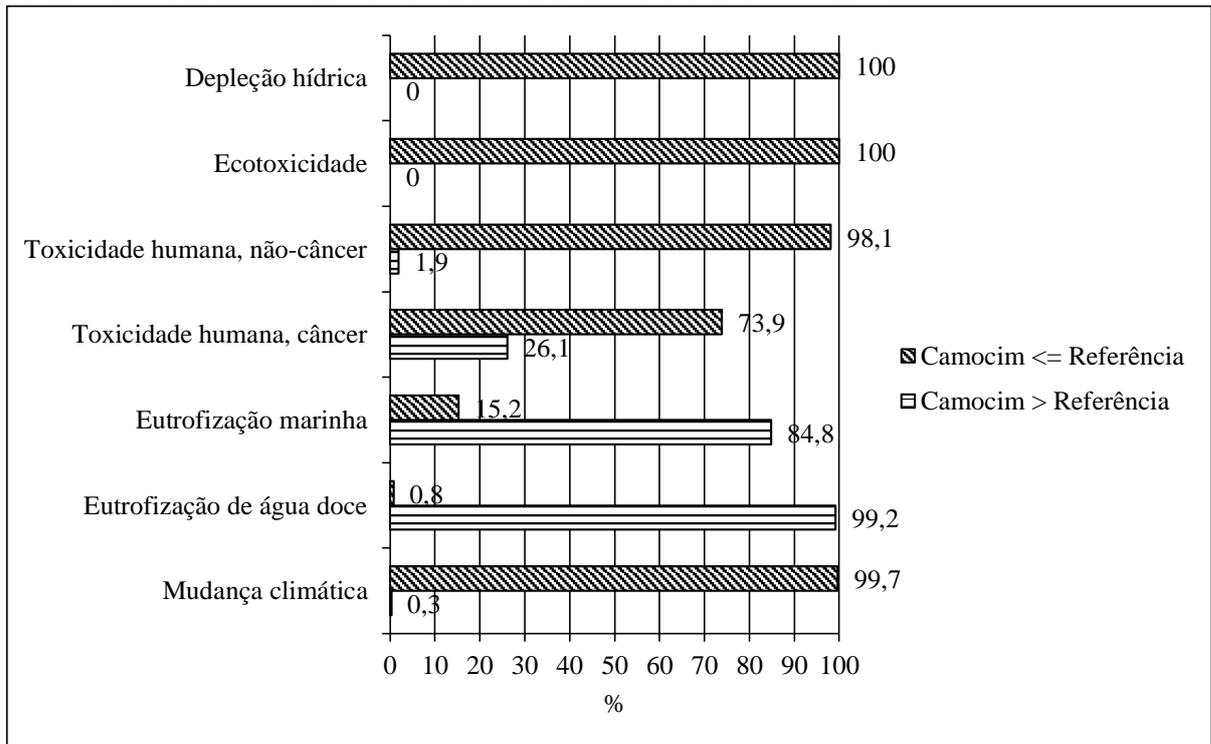
Gráfico 9 - Análise de incerteza entre a fazenda referência e Acaraú



Fonte: Autora, 2017.

Ao realizar a análise entre a fazenda em Camocim e a fazenda referência (GRÁFICO 10), observou-se que Camocim resultou em impacto superior à referência apenas na categoria eutrofização de água doce, com um percentual de vezes maior que 99%. No entanto, não houve diferença significativa entre Camocim e a fazenda referência na toxicidade humana cancerígena e na eutrofização marinha.

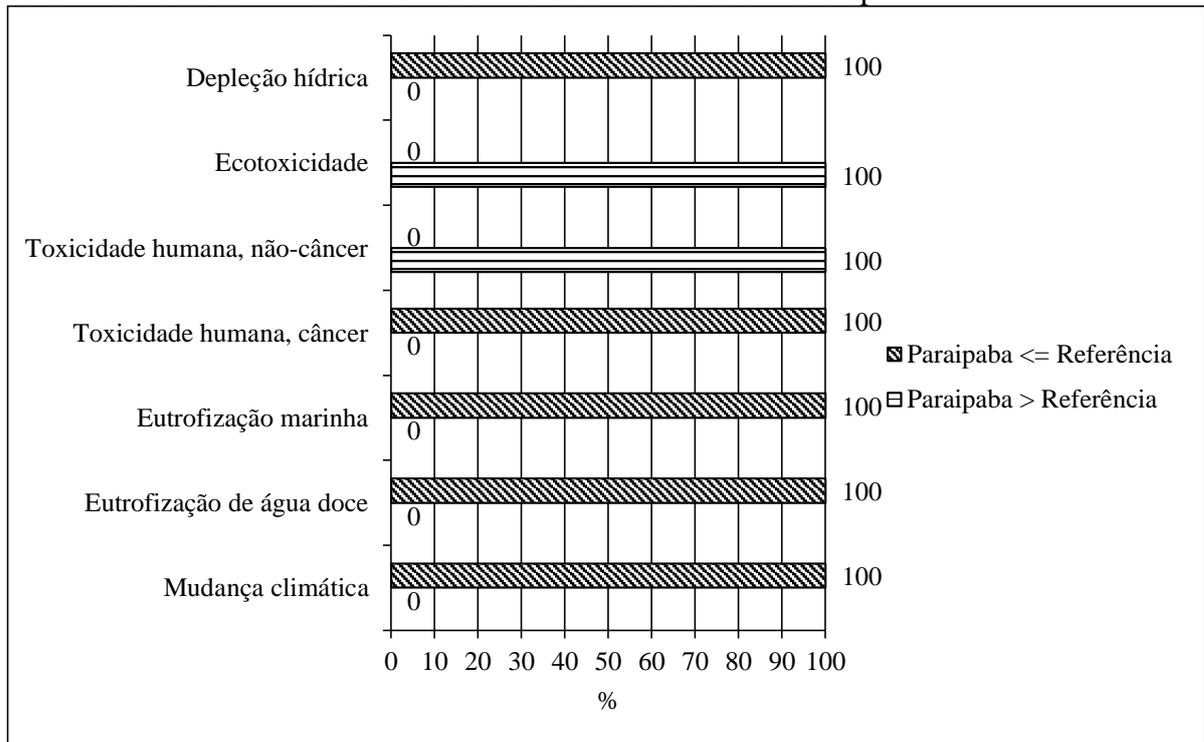
Gráfico 10 - Análise de incerteza entre a fazenda referência e Camocim



Fonte: Autora, 2017.

Em relação à fazenda referência, a fazenda em Paraipaba apresentou impacto superior, em 100% das vezes, nas categorias toxicidade humana não cancerígena e na ecotoxicidade, como pode ser visto no gráfico 11.

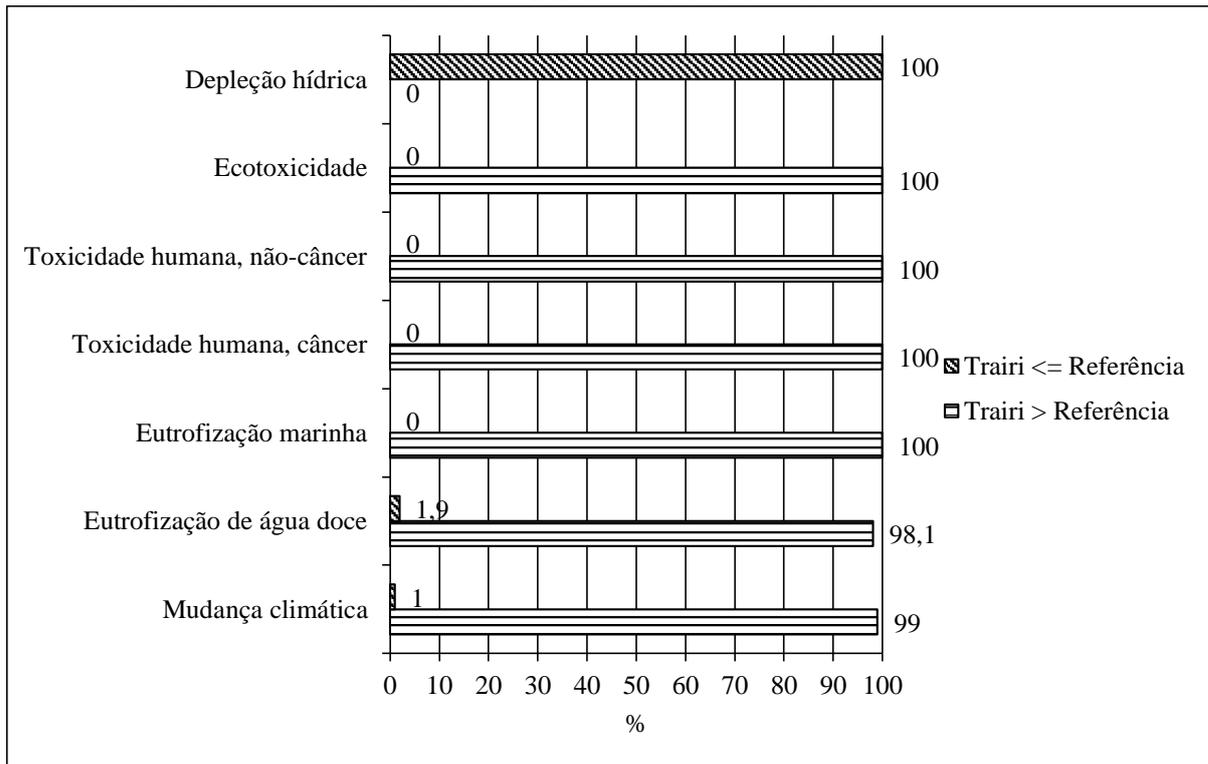
Gráfico 11 - Análise de incerteza entre a fazenda referência e Paraipaba



Fonte: Autora, 2017.

Por meio do gráfico 12 pode-se confirmar que a fazenda em Trairi obteve o pior desempenho ambiental em relação à referência em todas as categorias de impacto, exceto na escassez hídrica, fazendo que a mesma tenha as maiores pegadas hídrica e de carbono em comparação com as demais fazendas.

Gráfico 12 - Análise de incerteza entre a fazenda referência e Trairi



Fonte: Autora, 2017.

5.5 Análise de dominância nas fazendas com os piores desempenhos

Com o intuito de investigar os processos que mais contribuíram nos indicadores de cada categoria, realizou-se a análise de dominância nas fazendas que apresentaram os piores desempenhos em relação à fazenda de referência. Trairi destacou-se em todas as categorias, exceto em escassez hídrica; Paraipaba, nas categorias toxicidade humana não cancerígena e ecotoxicidade; Camocim, na categoria eutrofização de água doce; e, por fim, Acaraú na categoria eutrofização marinha

5.5.1 Pegada hídrica

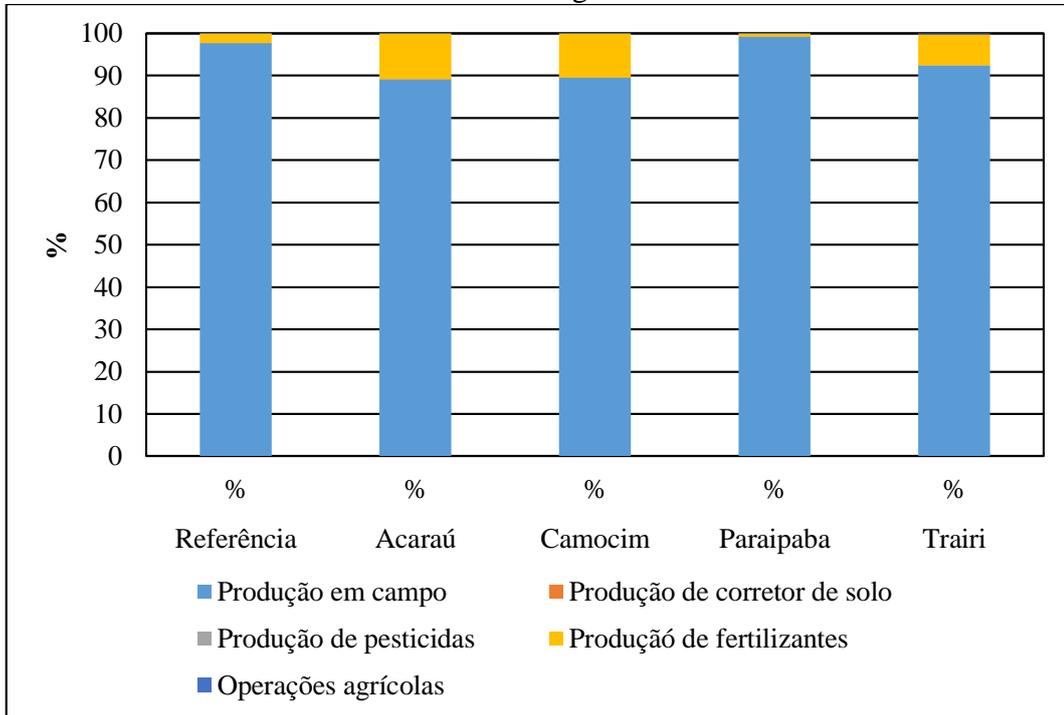
5.5.1.1 Escassez hídrica

Na categoria escassez hídrica, as quatro fazendas avaliadas apresentaram impacto menor que a referência. Apesar disso, resolveu-se analisar também os processos mais impactantes nessa categoria.

O coco é uma cultura perene e que necessita de um sistema eficiente de irrigação, dessa forma, o principal processo que mais contribuiu para a escassez hídrica foi a produção

em campo com pelo menos 89%, visto que é nessa etapa que há o uso de água para a irrigação, como mostra o gráfico 13.

Gráfico 13 – Análise de dominância da categoria escassez hídrica

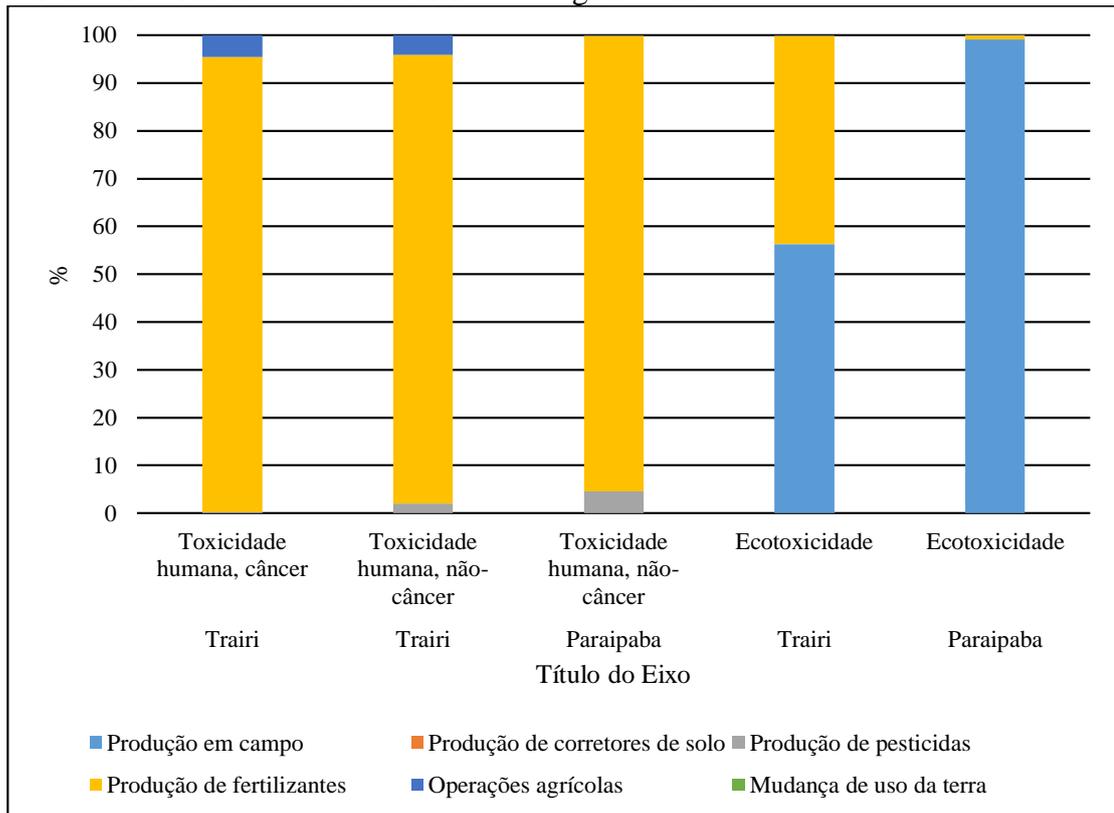


Fonte: Autora, 2017.

5.5.1.2 Toxicidade

No gráfico 14, pode-se verificar que para as categorias toxicidade humana cancerígena e não cancerígena o processo mais importante foi a produção de fertilizantes. Enquanto isso, na categoria ecotoxicidade, o processo mais significativo foi a etapa de produção em campo, devido, principalmente, ao uso de pesticidas classificados como extremamente tóxicos como os Cyprin, Agritoato, Klorpan e Abamex, de acordo com a Portaria nº 03/92 da Secretaria Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), ou medianamente tóxico como o Karate.

Gráfico 14 - Análise de dominância da categoria toxicidade

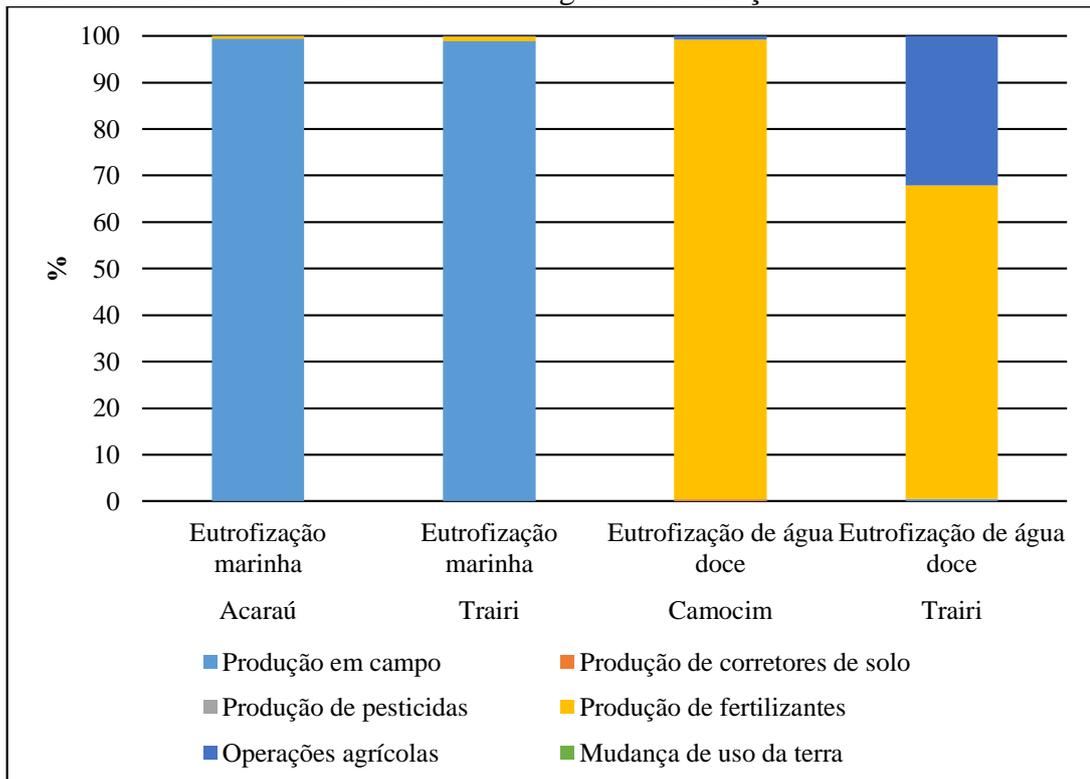


Fonte: Autora, 2017.

5.5.1.3 Eutrofização

Investigaram-se, também, os processos que mais contribuíram para os indicadores nas duas subcategorias da eutrofização e percebeu-se que para eutrofização marinha o processo mais significativo é a produção em campo de coco com quase 100% do impacto oriundo das fazendas em Acaraú e Trairi. Ou seja, é na etapa de produção agrícola que ocorre a emissão de compostos nitrogenados e, então, o transporte de nitrogênio para o ambiente marinho, onde esse é um nutriente limitante. Já com relação à categoria eutrofização de águas doces, em Camocim e Trairi, a produção de fertilizantes foi o processo que mais contribuiu para o impacto com pelo menos 67% (GRÁFICO 15).

Gráfico 15 - Análise de dominância da categoria eutrofização



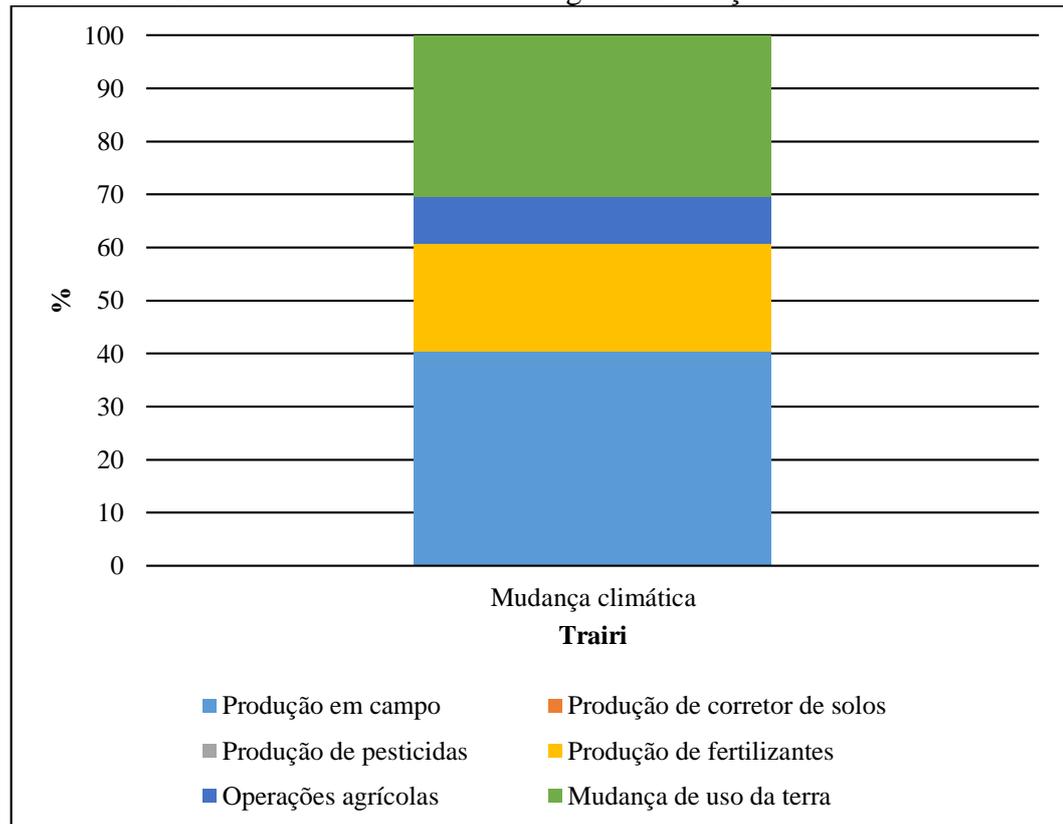
Fonte: Autora, 2017.

5.5.2 Pegada de carbono

5.5.2.1 Mudança climática

Por fim, os principais processos contribuintes na categoria de mudanças climáticas (GRÁFICO 16), em Trairi, foram a produção em campo com 40%, principalmente devido às emissões de óxido nitroso decorrentes da aplicação de fertilizantes nitrogenados; mudança de uso da terra com 30,40% devido a perda da biomassa vegetal e consequente redução do estoque de carbono do solo; e, a produção de fertilizantes com 20,30%.

Gráfico 16 - Análise de dominância da categoria mudança climática



Fonte: Autora, 2017.

6 DISCUSSÃO

As pegadas hídrica e de carbono da cultura do coqueiro podem ser reduzidas, mas para isso é necessário a implantação de atividades que minimizem os passivos ambientais dessa produção. Nessa perspectiva, buscou-se estudos que apresentem soluções para a redução dos impactos ambientais referentes ao ciclo de vida do coco e seus resultados são discutidos a seguir.

Para a redução da pegada de carbono, Vega, 2011, investigou oportunidades para a redução da emissão de carbono na produção de coco no contexto filipino. Dentre as oportunidades abordadas consta a análise de opções para mudança de uso do solo, em que a conversão de terras para o cultivo de coqueiros pode agravar ou melhorar as emissões de carbono, dependendo da categoria original do uso do solo. Pastagens e terras degradadas, quando convertidas em coqueirais, contribuem com uma redução estimada de carbono de 3,4 a 3,6 tC/h. Por outro lado, a conversão de florestas pode resultar em um aumento da emissão de carbono de cerca de 3,6 tC/ha.ano.

Quanto à pegada hídrica, notou-se que os principais impactos ambientais relacionados ao uso da água são decorrentes do uso de fertilizantes, por isso é necessário implementar práticas sustentáveis que contornem os contratempos da fertilização. Baloch *et al.*, 2014, sugerem o uso de resíduos orgânicos, biofertilizantes e fertilizantes inorgânicos em combinações adequadas para sustentar a produtividade do solo, aplicando o gerenciamento integrado de nutrientes (INM). A produção agrícola sustentável incorpora a ideia de que os recursos naturais devem ser usados para gerar aumento da produção e dos rendimentos, sem esgotar os recursos naturais. O uso em conjunto de fontes orgânicas e inorgânicas melhora a saúde do solo e ajuda a maximizar a produção, por ser um meio de fornecimento de nutrientes racional, realista e economicamente viável. A gestão integrada de nutrientes afeta em grande medida as características de crescimento e rendimento do coco.

A escassez hídrica é um dos principais problemas para culturas irrigadas como o coqueiro e, embora seja característica de climas semiáridos, onde se localiza o Ceará, existem técnicas que possibilitam o desenvolvimento adequado de culturas perenes sem agravar a crise nesses locais. Pensando nisso, Samuel e Mathew, 2014, analisaram o custo benefício do armazenamento de água no distrito de Kasaragod, no estado de Kerala (Índia) para descobrir se este é acessível aos agricultores. A referida proposta de armazenamento integra um sistema de micro-irrigação e piscicultura com o intuito de melhorar a produtividade de culturas de coco; desenvolver múltiplos sistemas de uso de água; e, o uso conjunto da água armazenada

com outros recursos da superfície ou águas subterrâneas. A partir do estudo em comento, concluiu-se com base nos custos e retornos anuais estimados que o armazenamento de água da chuva pode ser implementado como uma alternativa viável para o abastecimento convencional de água em projetos de irrigação.

Com estudos que consideraram também a fase agrícola foi possível a análise comparativa destes com a produção de água de coco no Ceará. Essa comparação foi realizada com dois estudos: Freire *et al.*, 2017, que considerou a produção do coco no Nordeste brasileiro; e Geehwala *et al.*, 2014, que avaliou o impacto na escassez hídrica de diferentes culturas, inclusive a do coqueiro, na Tailândia.

Freire *et al.*, 2017, indicaram um uso total de 760 m³ de água para irrigar uma planta durante os seus 17 anos de vida produtiva, ao longo do qual a planta produz uma média de 4950 kg de cocos. Enquanto no Ceará utiliza-se 542,80 m³ de água e apresenta uma produtividade de 3761,90 kg de coco, em média. As emissões provenientes dessa cultura ocorrem, em sua maioria, por causa da transformação da terra, que resulta em gases de efeito estufa, e uso de fertilizantes, que resulta na emissão de compostos nitrogenados e metais pesados, assim como no Ceará.

No estudo de Geehwala *et al.*, 2014, foi contabilizada a pegada hídrica azul da produção de coco que é referente ao volume total de água superficial ou subterrânea consumida durante a produção. Dessa forma, comparou-se a pegada hídrica azul média do coco do Ceará, 5179,20 m³/ha, com a da Tailândia, 5402 m³/há. Como as pegadas hídricas são próximas, pode-se concluir que as duas formas de produção utilizam quantidades de água semelhantes e que a escassez hídrica atual no Ceará é a responsável por reduzir a sua pegada, visto que a quantidade de água disponível não atende à quantidade de água requerida pelos coqueirais.

7 CONCLUSÃO

A fazenda em Trairi obteve as maiores pegadas hídrica e de carbono. Apesar de usar menos insumos em relação as demais fazendas avaliadas. O fornecimento de água para irrigação abaixo da necessidade hídrica do coqueiro fez cair seu rendimento, contribuindo com o aumento dos impactos ambientais.

Os processos que mais impactaram a pegada hídrica foram a produção em campo e produção de fertilizantes. Para a pegada de carbono, além desses dois processos, a mudança de uso da terra também contribuiu para elevar os indicadores dessa avaliação.

Esse estudo mostrou a importância de melhorar o desempenho ambiental na produção de coco no Ceará, começando pela melhoria da eficiência no uso de fertilizantes, na irrigação, assim como optar por pesticidas menos tóxicos. A fazenda de Camocim pode inspirar melhorias nas demais fazendas uma vez que busca a produção orgânica e, devido às suas boas práticas, resultou na menor pegada hídrica e de carbono.

REFERÊNCIAS

AMORIM, J. R. A.; MIRANDA, F. R.; NOGUEIRA, R. C.; RESENDE, S. R. Irrigação. In: FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S. **A cultura do coqueiro**. 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=7838#topodapagina>. Acesso em: 12 abr. 2017.

ARENA, N.; LEE, J.; CLIFT, R. **Life cycle assessment of activated carbon production from coconut shells**. Journal of cleaner production. 2016.

BALOCH, P. A.; RAJPAR, I.; TALPUR, U. A. **Effect of integrated nutrient management on nut production of coconut (Cocos nucifera L.) and soil environment - a review**. Science Technology and Development., 33 (1): 14-21. 2014

BARROS, V. S. **Pegada de carbono do melão produzido em sistemas convencional ou conservacionista**. Tese- Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Programa para obtenção do grau de Doutor em Agronomia: Fitotecnia, 2015.

BARROS, V. S.; SANTOS, T. L.; FIGUEIRÊDO, M. C. B.; SILVA, E. O.; SOUSA, J. A.; ARAGÃO, F. A. S. Pegada de carbono de produtos agrícolas: estudo de caso do melão Amarelo. In: FIGUEIRÊDO, M. C. B.; GONDIM, R. S.; ARAGÃO, F. A. S. **Produção de melão e mudanças climáticas**. – Embrapa, Brasília, 2017.

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**. 2015.

CARNEIRO, J. M. **Avaliação das pegadas de carbono e hídrica da produção de manga no submédio do vale do são fancisco**. Monografia – Universidade Federal do Ceará, Curso de Engenharia Ambiental, 2017.

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.

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

DE DEUS, R. M.; BAKONYI, S. M. C. **O impacto da agricultura sobre o meio ambiente**. Rev. Elet. Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. v. 7, n. 7, p. 1306-1315, mar-ago, 2012.

DIAS, A. F., **Pegadas de carbono e hídrica da manga em sistemas conservacionistas de produção**. Dissertação – Universidade Estadual do Ceará, Mestrado Acadêmico em Recursos Naturais, 2016.

DREW, D. P. **Processos interativos homem-meio ambiente**. Tradução de João Alves dos Santos; revisão de Suely Bastos. – São Paulo: DIFEL, 1986.

EMMENEGER, M. F. **Sustainability quick check for biofuels**. Intermediate background report. Agroscope Reckenholz-Tänikon, Dübendorf, 2009.

EUROPEAN COMMISSION, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. **Characterization factors of the ILCD recommended Life Cycle Impact Assessment methods**. Database and Supporting Information. First edition. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2011.

FAOSTAT, Food And Agriculture Organization Of The United Nations. **Quantidade da produção de coco por país**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 25 out. 2017.

FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. – 2. Ed. ver. e apm. – Brasília: Embrapa-SP1; Aracaju: Embrapa-CPATC, 1998.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; BARROS, V. S.; SANTOS, T. L.; GONDIM, R. S.; MATSUURA, M. I. S. F.; UGAYA, C. M. L. Pegada hídrica de produtos agrícolas: estudos de caso do melão Amarelo. In: FIGUEIRÊDO, M. C. B.; GONDIM, R. S.; ARAGÃO, F. A. S. **Produção de melão e mudanças climáticas**. – Embrapa, Brasília, 2017.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; CROEZE, C.; POTTING, J.; BARROS, V.B.; ARAGÃO, F.A.S.; GONDIM, R.S.; SANTOS, T.L.; BOER, I.J.M. **The carbon footprint of exported Brazilian yellow melon**. *Journal of Cleaner Production*. 2012.

FONTES, H. R., FERREIRA, J. M. S., SIQUEIRA, L. A. **Sistema de produção para a cultura do coqueiro**. Aracaju: Embrapa – Tabuleiros Costeiros, 2007. 63p.

FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S. **A cultura do coqueiro**. 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=7838#topodapagina>. Acesso em: 05 jul. 2017.

FREIRE, A. L. F.; ARAÚJO JÚNIOR, C. P.; ROSA, M. F.; ALMEIDA NETO, J. A.; FIGUEIRÊDO, M. C. B. **Environmental assessment of bioproducts in development stage: the case of fiberboards made from coconut residues**. *Journal of cleaner production*. 2017.

FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N. **Ecoinvent: overview and methodology**. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007.

FUNCEME, Fundação cearense de meteorologia e recursos hídricos. **Calendário das chuvas no estado do Ceará**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/23-monitoramento/meteorol%C3%B3gico/406-chuvas-di%C3%A1rias>>. Acesso em: 10 out. 2017.

GHEEWALA, S. H.; SILALERTRUKSA, T.; NILSALAB, P.; MUNGKUNG, R.; PERRET, S. R.; CHAIYAWANNAKARN, N. **Water footprint and impact of water consumption for food, feed, fuel crops production in thailand.** Water. 2014.

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

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

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.

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

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.** 2012.

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.

MATA, A. P.; BARRADAS, C. A. A.; NETO, G. M. F.; SOUZA, L. L. I.; FERRY, R. V.; WAGNER, W. L. **Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Rio de Janeiro, v. 30, n. 1, p. 1-81, jan 2017.

MILÀ I CANALS, L.; VIGON, B.; WANG, F. **Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators.** UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2017.

MIRANDA, F. R.; GOMES, A. R. M. **Manejo da irrigação Coqueiro-Anão.** Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza/CE, 2006.

NEMECEK, T.; SCHINETZER, J. **Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems.** Zurich, 2011.

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

NOGUEIRA, L. C.; NOGUEIRA, L. R. Q.; MIRANDA, F. R. Irrigação do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil.** – 2. Ed. ver. e apm. – Brasília: Embrapa-SP1; Aracaju: Embrpa-CPATC, 1998.

OECD, The Observatory of Economic Complexity. **Destinos da exportação de coco.** Disponível em: https://atlas.media.mit.edu/pt/visualize/tree_map/hs92/export/bra/show/0801/2016/. Acesso em: 18 out. 2017.

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

PASSOS, E. E. M. Exigências climáticas do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil.** – 2. Ed. ver. e apm. – Brasília: Embrapa-SP1; Aracaju: Embrapa-CPATC, 1998.

PROCÓPIO, S. O.; FONTES, H. R. Manejo de plantas daninhas. In: FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S. **A cultura do coqueiro.** 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=7838#topodapagina>. Acesso em: 12 abr. 2017.

ROSENBAUM, R. K. **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, v. 13, n. 7, p. 532, 2008.

SAMUEL, M. P.; MATHEW, A. C. **Improving water use efficiency by integrating fish culture and irrigation in coconut based farming system: a case study in Kasaragod district of Kerala (India).** Int. J. Agric. & Biol. Eng. 2014.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTOS, T. L. **Pegada de carbono do melão cantaloupe.** Monografia – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental, 2012.

SOBRAL, L. F. Nutrição e adubação do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil.** – 2. Ed. ver. e apm. – Brasília: Embrapa-SP1; Aracaju: Embrapa-CPATC, 1998.

VEGA, E. V. **Cleaner Production Opportunities for Improvement of Carbon Saving in the Production of Coconut Biodiesel.** International Journal of Chemical and Environmental Engineering. V. 2, No.5. 2011.

WARWICK, D. R. N.; LEAL, E. C.; RAM, C. Doenças do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil.** – 2. Ed. ver. e apm. – Brasília: Embrapa-SP1; Aracaju: Embrapa-CPATC, 1998.

WULCA. **Consciente.** Disponível em: <<http://www.wulca-waterlca.org/aware.html>>. Acesso em: 25 nov. 2017.

ANEXO A

QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PRODUTORES

1. Informações gerais
Fazenda:
Localização:
Contato (Nome e fone):
Data:
Cultura/ Variedade:
Data de início do cultivo no área:
Vegetação anterior na área (Floresta primária, floresta secundária, área agrícola, pasto):
2. Informações sobre pomar
Nº plantas/ha:
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 da área			
Adubação de fundação			
Instalação do sistema de irrigação			
Aração			
Gradagem			
Subsolagem			
Roçagem			
Fertilização anual			
Aplicação de defensivos			
Colheita			
5. Água e energia			
Ano	Água (L/pl.dia)	Período de Irrigação (Nº. de dias no mês)	Energia elétrica da irrigação (Kwh/mês)
1			
2			
3			
4			
5			

Ano de produção estabilizada						
6. Defensivos						
Ano	Nome comercial do produto	Tipo (inseticida, fungicida, acaricida, herbicida, nematocida etc.)	Unidade (kg ou L/ha.ano)	Quantidade média aplicada (kg/ha.ano)	% princípio ativo	Etapa do cultivo (preparo do solo, plantio, fertirrigação, tratos culturais, colheita)
1						
2						
3						
4						

Ano de produção estabilizada			

7. Fertilizantes minerais

Ano	Nome do produto	Etapa do cultivo (preparo do solo, plantio, fertirrigação, tratos culturais, colheita)	Quantidade média (kg/ha.ano)
1			
2			



8. Adubos Orgânicos

Ano	Tipo de material orgânico (composto, estrume, biosólido)	Quantidade(pl ou kg/há.ano)	% Umidade	% NPK	Fonte (caprino, ovino, camade frango, esterco de gado, composto)
1					
2					
3					
4					
5					

6

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

ANEXO B

EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA ESTIMAR AS EMISSÕES

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

1.1 Mudança de Biomass (MCT, 2010b)

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

Onde:

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

De acordo com o Inventário Nacional de Gases do Efeito Estufa (MCT, 2010), os valores de C para as fisionomias do bioma Caatinga que ocorrem na região estudada são 14,9 tC.ha⁻¹ (Savana Estépica Arborizada – Ta, Savana Estépica Parque – Tp e Savana Estépica Gramíneo-lenhosa – Tg) e 38 tC.ha⁻¹ (Savana Estépica florestada - Td). O valor estimado para **avAgri** é 0,70 tC.ha⁻¹ para a cultura do coqueiro anão. Esta estimativa foi feita, baseando-se na medida da matéria seca e carbono total de três plantas de coqueiro escolhidas aleatoriamente.

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

1.2 Mudança de Carbono no solo (MCT, 2010)

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

$$fc(t) = fUT * fRG * fl$$

Onde:

- **Es** = emissões líquidas de carbono pelo solo (tCO₂.ano⁻¹.L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- **A** = área (ha. ano⁻¹. L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- **C solo** = estoque de Carbono no solo da área, na associação solo-vegetação (tC.ha⁻¹);
- **fc (t)** = fator de alteração de carbono num tempo *t* (adimensional):
 - **fUT** = fator de alteração de carbono relacionado à mudança de uso da terra (adimensional);
 - **fRG** = fator de alteração de carbono relacionado ao regime de gestão (adimensional).
 - **f** = fator de alteração de carbono relacionado às entradas de matéria orgânica (adimensional).

Segundo o Inventário Nacional Brasileiro de emissões de GEE (MCT, 2010), o valor de **C_{solo}** varia na região estudada, e pode ser: 2,42 KgC/m² em solos com alta atividade de argila, 2,58 kgC/m² em solos com baixa atividade de argila (latossolos), 2,09 kgC/m² em outros solos. As emissões de CO₂ pela mudança no solo foram calculadas para cada tipo de solo, e a média dos resultados foi utilizada.

Os fatores **fUT**, **fMG**, **f** e **fc**, para áreas agrícolas, são, respectivamente, 1,00; 1,09; 0,95. Em áreas florestais, **fc** é 1,0.

1.3 Emissões de CO₂, N₂O, CH₄, NO_x, e CO pela queima da biomassa (IPCC, 2006)

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

Onde:

- **Emissões – Gee** = emissões de gás pela queima da biomassa (Kg GEE. ano⁻¹.ha⁻¹);
- **A** = área queimada (há.ano⁻¹);
- **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).

Segundo IPCC (2006), $M_b * C_f$ para savana tropical é 6,00 t.ha⁻¹. Os valores de G_{ef} para CO₂, N₂O, CH₄, NO_x, e CO são 1613, 0,21, 2,3, 3,9 e 65, respectivamente.

1.4 Emissões de N₂O e NO_x por mineralização da matéria orgânica de resíduos vegetais

a) Emissões diretas

$$\text{Entradas N} - \text{N}_2\text{O} = ((F_{SN} + F_{ON} + F_{RV} + F_{SOM}) * EF1) * \frac{44}{28}$$

Onde:

- **Entradas N-N₂O** = emissões de N₂O pelo solo (Kg N₂O. ano⁻¹. L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- F_{SN} = quantidade de N em fertilizantes sintéticos aplicados (Kg N. ano⁻¹. L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- F_{ON} = quantidade de N em fertilizantes orgânicos aplicados (Kg N.ano⁻¹. L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- F_{RV} = quantidade de n nos resíduos vegetais (Kg N.ano⁻¹. L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- F_{SOM} = quantidade de N mineralizado pela mudança de uso da terra (Kg N.ano⁻¹. L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- **EF1**= fator de emissão (Kg N⁻¹), segundo o IPCC (2006), é igual a 0,01.

No tocante as emissões devido a mudança de uso da terra, os fatores F_{SN} , F_{ON} , F_{RV} são considerados nulos. Dessa forma, durante a produção em campo essa emissão é calculada novamente.

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

Onde:

- F_{SOM} = quantidade de N mineralizado no solo devido a mudança no uso do solo (Kg N.ano⁻¹. L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- ΔC_{solo} = quantidade de C perdida pela mudança no uso do solo (tC);
- A = área submetida à mudança de uso do solo (de Floresta para agricultura, ver item 1.2) (ha. ano⁻¹.L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- $R = C:N$ = razão da matéria orgânica do solo. Segundo o IPCC (2006), esta é igual a 15, na mudança de uso do solo de floresta para área agrícola.

b) Emissões indiretas por lixiviação e runoff

A diferença entre a quantidade de chuva e o potencial de evaporação na área é maior que a capacidade de retenção de água pelo solo (pouco arenoso). Dessa forma, realizou-se o cálculo das emissões indiretas pela fuga e lixiviação.

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

Onde:

- $N-N_2O$ = quantidade de N₂O produzida pela fuga se lixiviação das adições de N no solo (kg N. ano⁻¹. L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- F_{SN} = quantidade de N em fertilizantes sintéticos aplicados (kg N. ano⁻¹. L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- F_{ON} = quantidade de N em fertilizantes orgânicos aplicados (kg N.ano⁻¹. L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- F_{RV} = quantidade de n nos resíduos vegetais (kg N.ano⁻¹. L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- F_{SOM} = quantidade de N mineralizado pela mudança de uso da terra (kg N.ano⁻¹. L de água de coco, ou fruto, ou muda⁻¹);
- $Frac_{leach-(H)}$ = fração de nitrogênio mineralizado que é perdido por lixiviação ou runoff, que é igual a 0,3;
- EF_5 = Fator de emissão (kg N)⁻¹. De acordo com o IPCC (2006), $EF = 0,0075$.

Novamente, anulam-se os fatores relativos a fase de produção de coco (F_{SN} , F_{ON} e F_{RV}), que serão tratados posteriormente.

c) Emissões indiretas de óxidos de nitrogênio NO_x pela mineralização da matéria orgânica (NEMECEK; SCHNETZER, 2011)

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

- $\text{NO}_x - \text{min}$ = emissão de NO_x pela mineralização da matéria orgânica pela mudança no uso do solo ($\text{Kg NO}_x \cdot \text{ha}^{-1}$ ou $\text{L água de coco}^{-1}$);
- $\text{NO}_2 - \text{min}$ = emissão de NO_2 pela mineralização da matéria orgânica pela mudança no uso do solo ($\text{Kg NO}_x \cdot \text{ha}^{-1}$ ou $\text{L água de coco}^{-1}$), que já foi calculado no item 'a';

2 Emissões relativas à produção agrícola em campo

2.1 Emissões de NH_3 para o ar pelo uso de fertilizantes nitrogenados (Modelo Agrammon - Nemecek; Schnetzer, 2011)

$$\text{NH}_3 - N_{\text{min}} = \sum_{i=1}^N (m_{\text{ferti}_i} * EF_i) * \frac{17}{14}$$

Onde:

- $\text{NH}_3 - N_{\text{min}}$ = a quantidade de amônia emitida pelo uso de fertilizantes nitrogenados minerais ($\text{kg NH}_3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$);
- m_{ferti_i} = a massa do fertilizante nitrogenado do tipo i aplicada na região j ($\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$);
- EF_{i_j} = o fator de emissão para o fertilizante nitrogenado do tipo i ($\text{kg NH}_3 \cdot \text{kgN}^{-1}$).

Os fatores de emissão são diferentes para cada tipo de fertilizante nitrogenado utilizado. Utilizou-se os valores da tabela 2.6 (p.8, Nemecek; Schnetzer, 2011). A emissão total de amônia para o ar pelo uso de fertilizantes minerais será o somatório das emissões pelo uso de cada fertilizante, calculado individualmente.

2.2 Emissões de NO_3^{2-} para águas subterrâneas

A equação seguinte é uma adaptação de Emmenegger *et al.* (2009) do modelo desenvolvido por Willigen (2000) para o cálculo do $\text{NO}_3^{2-}\text{-N}$ lixiviado para águas subterrâneas.

$$\text{NO}_3^{2-} - N = \left[21.37 + \frac{P}{c * L} (0,0037 * S + 0,0000601 * N_{org} - 0,00362 * U) \right]$$

Onde:

- $\text{NO}_3^{2-} - N$ = o nitrato perdido por meio da lixiviação ($\text{kg N.Kg produto}^{-1}$);
- P = a precipitação anual e irrigação (mm.yr^{-1});
- c = o conteúdo de argila do solo (%);
- L = a profundidade da raiz da cultura (m);
- S = a necessidade de Nitrogênio pela cultura (Kg N.ha^{-1});
- N_{org} = o conteúdo de nitrogênio orgânico no solo (%);
- U = o nitrogênio captado (Kg N.ha^{-1}).

P é calculado pela soma da precipitação anual da região com a irrigação aplicada à cultura. O conteúdo médio de argila (c), foi considerado o principal tipo de solo da região: Neossolos (3,5%). Segundo a Passos *et al.* (1998), a profundidade da raiz do coqueiro é aproximadamente 0,60m.

A necessidade de nitrogênio (S) pode ser calculada pela seguinte equação:

$$S = f + s * c_N^s + m * c_N^m$$

Onde

- S = a necessidade de Nitrogênio pela cultura (Kg N.ha^{-1});
- f = o N proveniente de fertilizantes minerais (Kg N.ha^{-1});
- s = a quantidade de fertilizante orgânico líquido (lodo) ($\text{m}^3 \text{lodo.ha}^{-1}$);
- c_N^s = a concentração de nitrogênio no lodo ($\text{kg N.m}^3 \text{lodo}$);
- m = a quantidade de fertilizante orgânico sólido (estrupe) ($\text{Kg estrupe.ha}^{-1}$);
- c_N^m = a concentração de nitrogênio no estrupe ($\text{kg N.kg estrupe}^{-1}$).

Relembrando que neste estudo não se aplicam os valores de s e c_N^s , pois não se utilizam fertilizantes orgânicos líquidos.

O nitrogênio orgânico (N_{org}) pode ser calculado pela seguinte equação:

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

Onde:

- N_{org} = o conteúdo de nitrogênio orgânico no solo (%);
- C_{org} = o conteúdo de carbono orgânico (%);
- V = o volume de solo ($m^3 \cdot ha^{-1}$);
- D_b = a densidade em volume (kg/m^3);
- $r_{C/N}$ = a relação carbono, nitrogênio (adimensional);
- r_{Norg} = a relação de N_{org} para N_{Tot} (adimensional).

Segundo Emmenegger *et al.* (2009), é necessário que se conheça o conteúdo de carbono orgânico (C_{org}) em percentual, para isso, converte-se o conteúdo de carbono orgânico total, geralmente dado para $3000m^3$ de solo, assumindo uma densidade em volume, média, de 1,3 ton por metro cúbico de solo:

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

Onde:

- C_{org} é o conteúdo de carbono orgânico (%);
- C_{org}^{EMPA} é o conteúdo de carbono orgânico dado segundo metodologia do EMPA (ton $C_{org}/3000m^3$).

O valor de C_{org}^{EMPA} para o clima tropical seco é de 34 ton $C_{org}/3000m^3$. (USDA,1999 *apud* EMMENEGGER *et al.* 2009). O valor de V assumido é $5000m^3$, o que significa que são considerados os 50 cm superiores do solo. D_b é considerado $1300 kg/m^3$,

baseado no *SQB report* (EMMENEGGER *et al.*, 2009). $r_{C/N}$ é considerada igual a 11 (BATJES 2008; SCHEFFER 2002; EGGLESTON *et al.* 2006 *apud* NEMECEK e SCHNETZER, 2011). r_{Norg} expressa a relação de C_{org} e N_{Tot} , assume-se que seu valor seja 0,85 (SCHEFFER, 2002 *apud* NEMECEK e SCHNETZER, 2011).

O nitrogênio captado (U) é calculado pela equação a seguir:

$$U = Unit_uptake * y$$

Onde:

- U = o nitrogênio Captado (Kg N.ha⁻¹);
- $Unit_uptake$ = a unidade Captada (Kg N.ton produto⁻¹);
- y = o rendimento da cultura (ton produto.ha⁻¹).

Algumas fontes já expressam o valor total de nitrogênio captado pela cultura em um hectare, como é o caso de Sobral *et al.* (1998). Segundo esta, 100 plantas de coqueiro captam 32,1 kg N.

2.3 Emissões pela lixiviação de fosfato para águas subterrâneas

A lixiviação do fósforo será desconsiderada nos estoques por causa de sua baixa mobilidade nos solos brasileiros. Segundo Novais e Smyth (1999), o fósforo, escasso na maioria dos solos brasileiros, apresenta mecanismos de fixação, transformação, com irreversibilidade restrita, em fósforo não lixiviável.

2.4 Emissões pelo escoamento do fosfato para águas superficiais

Desconsidera-se a perda de P por escoamento nas águas, uma vez que P não se dissolve na água sob condições de solo brasileiras (ver item anterior).

2.5 Emissões de fosfato para águas superficiais por meio da erosão pela água

$$P_{er} = S_{er} * P_{sc} * F_r * F_{erw}$$

Onde:

- P_{er} = a quantidade de P emitida para rios por meio da erosão (kg P.ha^{-1});
- S_{er} = a quantidade de solo erodido (kg .ha^{-1});
- P_{sc} = o conteúdo de fósforo no solo superior (kg P.ha^{-1});
- F_r = o fator de enriquecimento para P (-). Este fator considera a ocorrência de que as partículas do solo erodidas contém mais P do que o solo médio;
- F_{erw} = a fração de solo erodido que atinge o rio. Foi usado o valor médio de 0,2.

Adotou-se o valor médio de $P_{sc} = 0.00095 \text{ Kg P.kg solo}^{-1}$. O valor médio de 1,86 para F_r foi utilizado (WILKE & SCHAUB 1996 *apud* NEMECEK E SCHNETZER, 2011). Utilizou-se $F_{erw} = 0,2$.

A Quantidade de Solo Erodido ($A = S_{er}$) pode ser calculada pela Equação Universal de Perda de Solo (USLE) (WISCHMEIER e SMITH, 1978 *apud* EMMENEGGER *et al.*, 2009), expressa por:

$$A = R * k * LS * c_1 * c_2 * P_{ra}$$

Onde:

- $A = (S_{er})$ é o potencial perda de solo anual em longo prazo (t. (ha.ano)^{-1});
- R = o fator de erosividade ($\text{MJ mm (ha. h.ano)}^{-1}$);
- k = o fator de erodibilidade (t h (MJ.mm)^{-1});
- LS = o fator de inclinação;
- c_1 = o fator de produção (colheita);
- c_2 = o fator de cultivo;
- P_{ra} = o fator de ação.

Segundo Emmenegger (2009), para as características da cultura, tipo de solo da região de produção, e tipo de cultivo da área em estudo, têm-se: $k = 0,026 \text{ t h (MJ.mm)}^{-1}$, $c_2 = 0,25$ e $P = 0,25$. O valor de c_1 foi obtido de acordo com Ontario Ministry of Agriculture (2013), e é de 0,1 para árvores frutíferas.

Segundo Renard and Freimund (1994) *apud* Emmeneger *et al.* (2009), há uma relação entre o fator de erosividade e a média anual que pode ser calculado pela equação seguinte (EMMENEGER *et al.*, 2009):

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

Onde:

- R = o fator de erosividade (MJ mm (ha. h.ano)⁻¹);
- P = a precipitação anual (mm.ano⁻¹), que é calculada:

$$P = \text{precipitação} + \text{irrigação} * 0.1$$

Para regiões onde não há uma distribuição da precipitação ao longo do ano (por exemplo: região em que há no mínimo um mês em que a precipitação média corresponde a 15% da precipitação média anual), recomenda-se a correção do fator de erosividade. Logo, pela equação a seguir corrigida têm-se o fator final de erosividade (R'):

$$R' = 0.1 * R$$

Onde:

- R' = o fator final de erosividade (MJ mm (ha. h.ano)⁻¹);
- R = o fator de erosividade calculado (MJ mm (ha. h.ano)⁻¹).

O fator de declive é calculado com base na equação original descrita por Wischmeier e Smith (1978) *apud* Emmeneger *et al.* (2009):

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

Onde:

- **LS** = o fator de declive (adimensional);
- **L** = o comprimento do declive (m);
- **S** = o declive (%).

Nesse estudo, considerou-se **L**= 100m, tendo em vista que a área de estudo é de 1 hectare (100mx100m), e considerou-se **S**= 1%.

2.6 Emissão de N₂O para o ar devido a aplicação de fertilizantes e resíduos vegetais (NEMECEK; SCHNETZER, 2011)

$$N_2O = \frac{44}{28} * (0,01(N_{tot} + N_{cr}) + 0,01 * \frac{14}{17} * NH_3 + 0,0075 * \frac{14}{62} * NO_3^-)$$

Onde:

- **N₂O** = emissão de óxido nitroso (Kg N₂O.ha⁻¹);
- **N_{tot}** = nitrogênio total aplicado na forma de fertilizantes minerais ou orgânicos (Kg N.ha⁻¹);
- **N_{cr}** = nitrogênio presente nos resíduos vegetais (Kg N.ha⁻¹);
- **NH₃** = emissão de amônia para o ar (Kg NH₃.ha⁻¹) – calculado em ‘2.1’;
- **NO₃⁻** = emissão de nitrato (Kg NO₃⁻.ha⁻¹) – calculado em ‘2.2’.

2.7 Emissão de NO_x devido a aplicação de fertilizantes nitrogenados (NEMECEK *et al.*, 2015)

$$NO_x = 0,021 * N_{fert}$$

Onde:

- **NO_x** = quantidade de óxidos de nitrogênio emitida para o ar (Kg NO_x.ha⁻¹);
- **N_{fert}** = quantidade total de nitrogênio aplicado na forma de fertilizantes (Kg N. ha⁻¹).

2.8 Emissão de CO₂ fóssil pela aplicação de calcário (IPCC, 2006)

$$CO_2 - lime = m_{calcário} * EF1 + m_{cal.dolomítico} * EF2$$

Onde:

$CO_2 - lime$ = emissão de CO_2 fóssil para o ar ($Kg CO_2.ha^{-1}$);

$m_{calcário}$ = massa de calcário aplicada ($Kg.ha^{-1}$);

$EF1$ = fator de emissão para o calcário, igual a 0,12 $Kg CO_2-C/Kg$;

$m_{cal.dolomítico}$ = massa de calcário dolomítico aplicada ($Kg. ha^{-1}$);

$EF2$ = fator de emissão para o calcário dolomítico, igual a 0,13 $Kg CO_2-C/Kg$.

2.8.1 Emissão de CO_2 devido a aplicação de ureia como fertilizante (IPCC, 2006)

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

Onde:

- **Emissões C- CO_2** = emissões de CO_2 pela aplicação de uréia ($Kg CO_2.ano^{-1}.ha^{-1}$);
- **M**= massa de uréia ($Kg N.ano^{-1}.ha^{-1}$);
- **EF**= fator de emissão, que corresponde a 1,570 $Kg CO_2/Kg N$, segundo Nemecek & Schnetzer (2011), p. 19.

2.9 Emissões de Metais Pesados

Segundo Nemecek e Schnetzer (2011), três tipos de emissões devem ser considerados no cálculo das emissões de metais pesados: pela lixiviação, pela erosão e para o solo.

2.9.1 Emissões pela lixiviação (para águas subterrâneas)

$$M_{leach i} = m_{leach i} * A_i$$

Onde:

- $M_{leach i}$ = as emissões, relacionadas à agricultura, do metal pesado i ($mg.ha^{-1}.ano^{-1}$);
- $m_{leach i}$ = a quantidade média emitida do metal pesado i ($mg.ha^{-1}.ano^{-1}$);
- A_i = o fator de alocação para o compartilhamento das entradas totais do metal pesado i pelo uso de insumos agrícolas (adimensional).

Os valores das quantidades médias de metal pesado lixiviado ($m_{leach\ i}$) para águas subterrâneas são expresso no trabalho de Wolfensberger e Dinkel (1997), *apud* Nemececk and Schnetzer (2012).

Já o Fator de Alocação (A_i) pode ser calculado pela seguinte equação:

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

Onde:

- A_i = o fator de alocação para o compartilhamento das entradas totais do metal pesado i pelo uso de insumos agrícolas (adimensional);
- $M_{agro\ i}$ = entrada total do metal pesado pela produção agrícola ($\text{mg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$), incluindo fertilizantes, sementes e pesticidas;
- $M_{deposition\ i}$ = entrada total do metal pesado pela deposição atmosférica ($\text{mg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$).

Os valores das quantidades médias de metal pesado depositado ($M_{deposition\ i}$) foram levantados por Freieimuth (2006) *apud* Nemececk and Schnetzer (2012).

2.9.2 Emissões pela erosão (para águas superficiais)

$$M_{erosion\ i} = c_{tot\ i} * B * a * f_{erosion} * A_i$$

Onde:

- $M_{erosion\ i}$ = as emissões, relacionadas à agricultura, do metal pesado por meio da erosão ($\text{kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$);
- $c_{tot\ i}$ = o conteúdo total de metal pesado no solo (kg/kg);
- B = a quantidade de solo erodido, segundo Oberholzer *et al.* (2006) ($\text{kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$);
- a = o fator de acumulação: 1,86, segundo Prasuhn (2006) (adimensional);
- $f_{erosion}$ = 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 = o fator de alocação para o compartilhamento das entradas totais do metal pesado i pelo uso de insumos agrícolas (adimensional).

Os valores de metais pesados presentes no solo ($C_{tot i}$) podem variar segundo o tipo de uso da terra. Keller & Desaulles (2001) *apud* Nemececk and Schnetzer (2012) levantou os principais valores para áreas de campos permanentes, terras aráveis e cultivo intensivo.

2.9.3 Emissões para o solo

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

$$M_{soil i} = (\sum inputs_i - \sum outputs_i) * A_i$$

Onde:

- $M_{soil i}$ = as emissões para o solo;
- $\sum inputs_i$ = o somatório de todas as entradas de metais pesados (kg.(ha.ano)⁻¹);
- $\sum outputs_i$ = o somatório de todas as saídas de metais pesados (kg.(ha.ano)⁻¹);
- A_i = o fator de alocação para o compartilhamento das entradas totais do metal pesado i pelo uso de insumos agrícolas. (adimensional).

2.10 Emissões de pesticidas para solos agrícolas

Segundo Nemececk and Schnetzer (2012), as emissões de pesticidas para o solo devem ser calculadas considerando todos os produtos utilizados na produção agrícola, e considerando que toda quantidade de produto utilizada se torna emissão para o solo. Todos os produtos 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 C

CÁLCULO DO IMPACTO NA ESCASSEZ HÍDRICA A PARTIR DE FATORES DE CARACTERIZAÇÃO MENSAIS

Fazenda	Água de irrigação(m3)	Produção (litros de água de coco)	Consumo hídrico (m3/litro de água de coco)	FC Aware (m3 eq/m3)												Impacto Escassez Hídrica (m3 eq/litro de água de coco)
				jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
Acaraú	1035,4	816,18	1,27	3	0,8	0,3	0,2	0,3	1	2	2,9	4,3	5,8	7,4	7,4	42,88
Camocim	785,88	686,09	1,15	3	0,8	0,3	0,2	0,3	1	2	2,9	4,3	5,8	7,4	7,4	38,72
Paraipaba	605,12	943,29	0,64	100	19,2	4,1	1,2	1	1,4	2,8	6,6	18,7	100	100	100	275,52
Trairi	163,00	251,95	0,65	100	19,2	4,1	1,2	1	1,4	2,8	6,6	18,7	100	100	100	277,87
Referência	1375,43	575,81	2,39	51,5	10	2,2	0,7	0,65	1,2	2,4	4,75	11,5	52,9	53,7	53,7	553,34

CÁLCULO DO IMPACTO NA ESCASSEZ HÍDRICA A PARTIR DE FATORES DE CARACTERIZAÇÃO ANUAIS

Fazenda	Água de irrigação (m3)	Produção (litros de água de coco)	Consumo (m3/litro de água de coco)	FC Aware (m3 eq/m3)	Impacto Escassez Hídrica (m3 eq/litro de água de coco)
Acaraú	8282,95	9794,12	0,8457	3,30	2,7908
Camocim	6287,05	8233,08	0,7636	3,30	2,5200
Paraipaba	5446,1	11319,44	0,4811	31,70	15,2518
Trairi	1303,97	3023,37	0,4313	31,70	13,6721
Referência	11003,44	6909,71	1,5925	12,35	19,6669

