

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA-UFBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ZOOTECNIA

**PRODUÇÃO, BENEFICIAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DA TILÁPIA DO
NILO PRODUZIDA EM TANQUE-REDE: UMA AVALIAÇÃO
ENERGÉTICA E AMBIENTAL**

LÍVIA PAOLA SILVA PETROSKI

SALVADOR - BAHIA
JUNHO - 2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ZOOTECNIA

**PRODUÇÃO, BENEFICIAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DA TILÁPIA DO
NILO PRODUZIDA EM TANQUE-REDE: UMA AVALIAÇÃO
ENERGÉTICA E AMBIENTAL**

LÍVIA PAOLA SILVA PETROSKI
MÉDICA VETERINÁRIA

SALVADOR - BAHIA
JUNHO - 2022

LÍVIA PAOLA SILVA PETROSKI

**PRODUÇÃO, BENEFICIAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DA TILÁPIA DO
NILO PRODUZIDA EM TANQUE-REDE: UMA AVALIAÇÃO
ENERGÉTICA E AMBIENTAL**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

Área de concentração: Produção de Monogástrico.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Vítor Oliveira Vidal
Coorientador: Prof. Dr. Diego Lima Medeiros

**SALVADOR - BAHIA
JUNHO - 2022**

Petroski, Livia Paola Silva.

Produção, beneficiamento e distribuição da tilápia do Nilo produzida em tanque-rede: uma avaliação energética e ambiental / Livia Paola Silva Petroski. - 2022.

104 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Vítor Oliveira Vidal.

Coorientador: Prof. Dr. Diego Lima Medeiros.

Tese (doutorado) - Universidade Federal da Bahia, Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia, Salvador, 2022.

1. Zootecnia. 2. Aquicultura - Aspectos ambientais. 3. Peixes - Criação. 4. Tilápia (Peixe) - Criação. 5. Ciclo de vida do produto - Aspectos ambientais. 6. Desenvolvimento sustentável. 7. Impacto ambiental. I. Vidal, Luiz Vítor Oliveira. II. Universidade Federal da Bahia. Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia. III. Título.

CDD - 639.3774

CDU - 639.37


**PRODUÇÃO, BENEFICIAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DA
TILÁPIA DO NILO PRODUZIDA EM TANQUE-REDE: UMA
AVALIAÇÃO ENERGÉTICA E AMBIENTAL**

Livia Paola Silva Petroski


Tese defendida e aprovada para obtenção do grau de
Doutor em Zootecnia

Salvador, 06 de junho de 2022

Comissão examinadora:

 Documento assinado digitalmente
LIVIA PAOLA SILVA PETROSKI
Data: 2022.06.06 10:50:36 -0300
Verifique em: <https://verificacao.br.br>


Dr. Luiz Vitor Oliveira Vidal
UFBA
Orientador / Presidente

 Documento assinado digitalmente
CARLOS ROBERTO FRANKO
Data: 22/06/2022 14:55:13 -0300
Verifique em: <https://verificacao.br.br>

Dr. Carlos Roberto Franke
IIFRA

 Documento assinado digitalmente
CARLOS EDUARDO COPATTI
Data: 22/06/2022 08:23:50 -0300
Verifique em: <https://verificacao.br.br>

Dr. Carlos Eduardo Copatti
UFBA

 Documento assinado digitalmente
LUCIANO BRITO RODRIGUES
Data: 2022.06.27 11:55:09
Verifique em: <https://verificacao.br.br>

Dr. Luciano Brito Rodrigues
UESB

Guilherme
Wolff Bueno

Assinado de forma digital
por Guilherme Wolff Bueno
Data: 2022.06.27 11:55:09
-03'00'

Dr. Guilherme Wolff Bueno
UNESP

AGRADECIMENTO

A Deus, pela vida e por todas as graças concedidas.

A minha família, que sempre me apoiou e incentivou nos estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Vitor Oliveira Vidal, pela orientação, correções minuciosas, confiança, apoio e motivação neste trabalho inovador.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Diego Medeiros, pela orientação, ideias iluminadas nos momentos de dúvidas, enorme colaboração na análise dos dados, valiosas explicações sobre ACV e disponibilização do software *SimaPro* 8.0; pelas disciplinas de ACV, colaboração na escrita e minuciosas correções do texto. Muito obrigada, sem a sua ajuda seria quase impossível a realização deste trabalho.

À banca de qualificação, Prof. Dr. Carlos Copatti, Prof. Dr. Luciano Rodrigues e Dra. Bartira Guerra, pelas valiosas colaborações.

Aos amigos e amigas do LASOA, em especial a Eduardo, Calil e Bruno, pelas colaborações nos trabalhos.

Ao programa de Pós-Graduação em Zootecnia, aos professores e colegas, pelas amizades e pelos conhecimentos compartilhados.

Aos colegas da Rede de Tecnologias Limpas (TECLIM), do Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial (PEI) da UFBA pelos ensinamentos e parceria.

Aos colegas da área, que formam a Rede ACV-BA, e à comunidade de pesquisadores, nos âmbitos regional e nacional, que realizam eventos para trocar experiências e fortalecer as redes de trabalho.

À ACV Brasil, em nome da *Pré Sustainability*, pela licença do software Simapro, utilizado na pesquisa.

A FAPESB/CAPES pela bolsa de estudo que me permitiu a dedicação a este trabalho.

Aos amigos, colegas e pessoas que de alguma maneira contribuíram com minha formação.

Estamos a destruir o planeta
e o egoísmo de cada geração não se preocupa em perguntar
como é que vão viver os que virão depois.
A única coisa que importa é o triunfo do agora.
É a isto que eu chamo a “cegueira da razão”.

José Saramago, 1998.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Inventário da produção de 1 tonelada (Mg) por ração utilizada na produção da tilápia do Nilo.	43
Tabela 2 - Inventário de primeiro plano (portão-a-portão) da produção de 1 kg de alevino de tilápia do Nilo.	44
Tabela 3 - Inventário de primeiro plano (portão-a-portão) da produção de 1 tonelada (Mg) da tilápia do Nilo por cenário avaliado.	466
Tabela 4 - Categorias de aspecto e impacto ambiental utilizadas neste estudo.....	488
Tabela 5 - Comparação do desempenho de 1 tonelada (Mg) de peixe nas categorias de ocupação de área, consumo de água, demanda energética, aquecimento global, acidificação e eutrofização deste estudo com a literatura relevante.	566
Tabela 6 - Inventário de primeiro plano da produção de 1 tonelada (Mg) de tilápia do Nilo despescada.	777
Tabela 7 - Inventário de primeiro plano do beneficiamento e distribuição de 1 tonelada (Mg) de tilápia do Nilo por tipo de corte.....	788
Tabela 8 - Inventário de primeiro plano da produção de farinha de peixe e óleo de peixe a partir de 1 Mg de coprodutos da tilápia do Nilo beneficiada.	80
Tabela 9 - Categorias de aspecto e impacto ambiental utilizadas no estudo.....	81
Tabela 10 - Análise de sensibilidade do desempenho energético e ambiental de 1 tonelada (Mg) de tilápia do Nilo beneficiada e distribuída em diferentes cortes, 1 Mg de farinha de peixe e 1 Mg de óleo de peixe com os procedimentos de alocação de critério de corte (subdivisão de processo) (CC), alocação econômica (AE) e alocação mássica (AM).	899

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma operacional do beneficiamento do peixe para a obtenção do filé de tilápia.	20
Figura 2 - Fluxograma operacional do processamento da farinha e óleo de peixe.	233
Figura 3 - Fases de uma ACV.	244
Figura 4 - Análise do Inventário – Coleta dos dados	266
Figura 5 - Estrutura geral de um método de análise de impacto e dano ambiental.	277
Figura 6 - Sistema de produto da tilápia do Nilo produzida em tanque-rede.	422
Figura 7 - Comparação do consumo de ração e tempo de produção de 1 tonelada (Mg) de tilápia do Nilo.	50
Figura 8 - Comparação e contribuição do desempenho de 1 tonelada (Mg) da tilápia do Nilo de diferentes tamanhos nas categorias de ocupação de área (a), consumo de água (b), demanda energética (c), aquecimento global (d), acidificação (e) e eutrofização (f).	51
Figura 9 - Análise de sensibilidade do desempenho de 1 tonelada (Mg) da tilápia do Nilo de 600g e 2000g, para perdas no consumo de ração e diferentes fornecedores de insumos da ração, no cenário base e cenários propostos (F1 e F2) nas categorias de ocupação de área (a), consumo de água (b), demanda energética (c), aquecimento global (d), acidificação (e) e eutrofização (f).	533
Figura 10 - Sistema de produto da tilápia do Nilo beneficiada e distribuída para o mercado varejista.	55
Figura 11 - Comparação e contribuição do desempenho de 1 tonelada (Mg) da tilápia do Nilo beneficiada e distribuída em diferentes cortes nas categorias de ocupação de área, consumo de água, aquecimento global, demanda energética, acidificação e eutrofização.	844
Figura 12 - Comparação e contribuição do desempenho de 1 tonelada (Mg) da tilápia do Nilo beneficiada e distribuída em filé (T1200g-F) com a análise de sensibilidade da etapa de distribuição em diferentes distâncias e modais de transporte nas categorias de ocupação de área (a), consumo de água (b), demanda energética (c), aquecimento global (d), acidificação (e) e eutrofização (f).	877

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLASE SÍMBOLOS

A	Ano
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação Ambiental do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
BOD	Biochemical Oxygen Demand
CH ₄	Metano
Cl ⁻	Cloreto
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
COD	Chemical Oxygen Demand
DOC	Dissolved Organic Carbon
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Eq	Equivalente
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
G	Unidade Mássica Grama
GEE	Gás de Efeito Estufa
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISSO	International Organization for Standardization
J	Joule
K	Kilograma
L	Unidade Volumétrica Litro
M	Mega, E+6
m ³	Metro cúbico
N	Nitrogênio
N ₂ O	Óxido Nitroso
Na	Sódio
NBR	Norma Brasileira
NH ₃	Amônia
NH ₄ ⁺	Amônio
NMVOC	Non-Methane Volatile Organic Compounds
NO ₃ ⁻	Nitrato
NOX	Óxidos de Nitrogênio
Nr	Nitrogênio reativo
OMS	Organização Mundial da Saúde (WHO, em inglês)
ONU	Organização das Nações Unidas (UN, em inglês)
P	Fósforo
P	Peça
pH	Potencial Hidrogeniônico
PO ₄ ³⁻	Fosfato
SO ₂	Dióxido de Enxofre
t	Tonelada ou Megagrama (Mg)
TECLIM	Rede de Tecnologias Limpas
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UNEP	United Nations Environment Programme

SUMÁRIO

	Página
Resumo.....	12
Abstract.....	13
Introdução Geral.....	12
1 Revisão de Literatura Geral.....	17
1.1 Piscicultura Sustentável.....	17
1.2 Produção de Tilápia do Nilo em Tanques-rede.....	19
1.3 Beneficiamento da Tilápia do Nilo	19
1.4 Farinha e Óleo de Peixe.....	21
1.5 Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida.....	23
1.6 Avaliação do Ciclo de Vida na Piscicultura	29
2 Referências Bibliográficas.....	32

CAPÍTULO 01 - O peso ao abate influencia o desempenho energético e ambiental da piscicultura: produção de tilápia do Nilo em tanque-rede

1 Introdução	40
2 Métodos	41
2.1 Definição do Escopo.....	41
2.2 Inventário do Ciclo de Vida.....	43
2.3 Categorias Avaliadas	47
2.4 Análise de Sensibilidade.....	48
3 Resultados	49
3.1 Aspectos e impactos ambientais	49
3.2 Análise de Sensibilidade.....	53
4 Discussão	56
5 Conclusão	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
6 Agradecimentos	62

Referências Bibliográficas.....	63
7 Apêndice.....	67

CAPÍTULO 02 – TILÁPIA DO NILO beneficiada em cortes do tipo eviscerada, posta e filé: o desempenho energético e ambiental

1 Introdução	74
2 Métodos	75
2.1 Definição do Escopo	75
2.2 Inventário de Ciclo de Vida	76
2.3 Categorias Avaliadas	80
2.4 Análise de Sensibilidade.....	82
3 Resultados	83
3.1 Análise de Sensibilidade.....	86
4 Discussão	90
5 Conclusão	92
6 Agradecimentos	93
7 Considerações Finais	94
Referências Bibliográficas.....	96
8 Apêndice	94

RESUMO

Este estudo contempla a análise da produção da tilápia do Nilo, seguindo a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O objetivo da tese foi avaliar o desempenho ambiental na produção da tilápia do Nilo em diferentes tamanhos, desde a alevinagem, recria, engorda, beneficiamento (em filé, posta e tilápia eviscerada) e transformação final dos resíduos do beneficiamento em farinha e óleo de peixe, por meio da quantificação dos impactos ambientais potenciais, ao longo de seu ciclo de vida, aplicando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), foram identificados os pontos críticos, possibilidades de correção e incremento da sustentabilidade desta etapa da piscicultura. No capítulo 1, o fluxo de referência foi 1 tonelada (Mg) de peixe. O inventário de primeiro plano considerou as produções de ração e as etapas de alevinagem e produção de peixe a partir da recria e engorda em tanque-rede, enquanto o inventário de segundo plano considerou a produção dos demais insumos materiais e energéticos, transporte, infraestrutura e tratamento de resíduos. As categorias avaliadas foram a ocupação de área, consumo de água, demanda energética, aquecimento global, acidificação e eutrofização. No Capítulo 2, o fluxo de referência foi 1 tonelada (Mg) de peixe beneficiado e distribuído. O sistema de produto de primeiro plano contém o inventário das etapas de produção da tilápia do Nilo em tanque-rede, beneficiamento em frigorífico e distribuição para o mercado varejista, enquanto o sistema de produto de segundo plano contém o inventário da produção dos demais insumos materiais e energéticos, transporte, infraestrutura e tratamento de resíduos. As categorias avaliadas foram a ocupação de área (OA), consumo de água (CA), demanda energética (DE), aquecimento global (AG), acidificação (AC) e eutrofização (EU). O cenário com tilápia do Nilo com maior massa teve maior impacto em todas as categorias analisadas. A ração foi o principal contribuidor das categorias de demanda energética, consumo de água e ocupação de área, enquanto a criação de peixe apresentou a maior contribuição da eutrofização, acidificação e aquecimento global. A produção de 1t de peixe beneficiado demandou as seguintes quantidades de tilápia do Nilo: 1,3t no T1200g-E, 2,4t no T1200g-P e 3,3t no T 1200g-F. A carga ambiental da tilápia do Nilo beneficiada e distribuída com o tipo de corte eviscerado (T1200g-E) foi 18 000m².ano em OA, 54m³ em CA, 107 000MJ em DE, 14 500kgCO₂eq em AG, 133kg SO₂eq em AC e 127 PO₄³⁻eq em EU, enquanto estes valores aumentaram de 33 a 34% naquela em posta (T1200g-P) e 137 a 143% naquela em filé (T1200g-F). A etapa de produção da tilápia do Nilo apresentou a maior carga ambiental nas categorias avaliadas (97 a 99%). Diante disso, podemos concluir que os peixes menores é uma estratégia para reduzir o impacto ambiental da tilapicultura, sendo recomendável a produção de peixes de tamanho menor como 600g a 900g.

Palavras-chave: Aquicultura. Tilápia do Nilo. Avaliação do Ciclo de Vida. Beneficiamento. Farinha de Peixe. Nexo Água-Energia-Alimento.

ABSTRACT

This study includes the analysis of Nile tilapia production, following the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. The objective of the thesis was to evaluate the environmental performance in the production of Nile tilapia in different sizes, from nursery, rearing, fattening, processing (in fillet, steak and gutted tilapia) and final transformation of the processing residues into fish meal and oil. , through the quantification of potential environmental impacts, throughout its life cycle, applying the Life Cycle Assessment (LCA), critical points, correction possibilities and increased sustainability of this stage of fish farming were identified. In chapter 1, the reference flow was 1 ton (Mg) of fish. The foreground inventory considered the feed production and the stages of hatching and fish production from the rearing and fattening in cages, while the background inventory considered the production of other material and energy inputs, transport, infrastructure and waste treatment. The categories evaluated were area occupation, water consumption, energy demand, global warming, acidification and eutrophication. In Chapter 2, the reference flow was 1 ton (Mg) of processed and distributed fish. The foreground product system contains the inventory of the Nile tilapia production stages in net cage, processing in a slaughterhouse and distribution to the retail market, while the background product system contains the production inventory of the other material inputs and energy, transport, infrastructure and waste treatment. The categories evaluated were area occupation (AO), water consumption (AC), energy demand (ED), global warming (GW), acidification (AC) and eutrophication (EU). The scenario with Nile tilapia with greater mass had the greatest impact on all categories analyzed. Feed was the main contributor to the categories of energy demand, water consumption and area occupation, while fish farming presented the greatest contribution from eutrophication, acidification and global warming. The production of 1t of processed fish required the following quantities of Nile tilapia: 1.3t in T1200g-E, 2.4t in T1200g-P and 3.3t in T1200g-F. The environmental load of Nile tilapia processed and distributed with the type of eviscerated cut (T1200g-E) was 18 000 m². year in AO, 54 m³ in AC, 107 000 MJ in ED, 14 500kgCO₂eq in GW, 133kgSO₂eq in AC and 127 PO₄³⁻-eq in EU, while these values increased from 33 a 34% in steak (T1200g-P) and 137 to 143% in fillet (T1200g-F). The Nile tilapia production stage presented the highest environmental burden in the evaluated categories (97 to 99%). Given this, we can conclude that smaller fish is a strategy to reduce the environmental impact of tilapia farming, for a more sustainable fish farming is the production of fish of smaller size like 600g to 900g.

Key-words: Aquaculture. Nile Tilapia. Life Cycle Assessment. Processing. Fishmeal. Fish Oil. Water-Energy-Food Nexus.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A demanda de alimento é influenciada pelo aumento populacional, padrão de consumo e perdas de alimento. Projeta-se o dobro da demanda de alimento de 2009 em 2050 (FUKASE; MARTIN, 2017). A adoção de dietas saudáveis deve considerar a sustentabilidade ambiental (FAO, 2020). A proteína animal é um dos principais componentes na dieta humana, embora apresente as maiores contribuições nos impactos ambientais dos alimentos (POORE; NEMECEK, 2018). Dessa forma, deve-se identificar fontes de proteína animal com menor impacto ambiental.

A tilápia é a espécie de peixe mais criada no Brasil, com 219,33 mil toneladas despescadas em 2015, representando 45,4 % do total da produção nacional e faturamento de R\$ 1,2 bilhões, representando 38,4 % do faturamento da produção de peixes no país (IBGE, 2015).

O aumento médio anual do consumo mundial de proteína animal oriunda do pescado foi 3,1 % de 1961 a 2017, enquanto o das demais fontes de proteína foi 2,1 % (FAO, 2020). O consumo mundial *per capita* de pescado aumentou de 9 kg em 1961 para 20 kg em 2017 (FAO, 2020). A produção de pescado oriunda da captura estabilizou desde a década de 1980, enquanto, a aquicultura contribuiu para o aumento da produção de pescado e representou 46 % da produção mundial em 2017 (FAO, 2020). No entanto, a expansão da aquicultura causa impactos ambientais como escassez hídrica, aquecimento global, acidificação e eutrofização (DIANA, 2009), entre outros impactos.

Os peixes são constituintes da dieta humana em vários países, sendo uma fonte de proteína de alta qualidade, comparável ao ovo, à carne e ao leite (GONÇALVEZ; PASSOS, 2003). O músculo do pescado pode conter de 60 a 85 % de umidade e de 0,3 a 1,0 % de carboidratos (BOMBARDELLI, *et al.*, 2005)

De forma geral, a carne do pescado apresenta uma proporção de proteína bruta em torno de 15 a 22 %, valores estes semelhantes àqueles de carnes bovinas e de aves. Apesar da semelhança em termos de conteúdo de proteína, a carne de peixe apresenta coeficientes de digestibilidade de 90 a 98 %, os quais são superiores aos das carnes bovinas e de aves. Essa característica se dá devido à presença maior da fração miofibrilar, que apresenta maior digestibilidade que as fibras do tecido conectivo. A fração do tecido conectivo em

peixes é baixa, representando 3 % e, esse fato, contribui para a elevada digestibilidade, uma vez que esse tecido é de difícil digestão mesmo em peixes (BOMBARDELLI, *et al.*, 2005).

Com relação à composição da carne do pescado no que diz respeito à gordura, esta apresenta de 0,6 a 36 % de lipídeos, em que os ácidos graxos mais frequentes são os de cadeia longa. Na sua maioria, esses ácidos graxos apresentam de 14 a 22 átomos de carbono, com um alto grau de insaturação, contendo 4 a 6 ligações duplas (OGAWA, 1999a). Essa composição apresenta grandes vantagens nutricionais, uma vez que esses são a maior fonte de ácidos graxos poliinsaturados benéficos ao organismo humano, da série ômega – 3, tais como o eicosapentóico (EPA) (GONÇALVEZ; PASSOS, 2003) e alfa – linolênico (LNA) e, da série ômega – 6, como o docosahexaenóico (DHA) (BOMBARDELLI *et al.*, 2005)

O Brasil vem ocupando papel importante no aumento da produção aquícola no contexto internacional. Essa expansão gerou muitos benefícios econômicos, mas também grandes preocupações em decorrência dos seus impactos ambientais. Neste contexto, torna-se imprescindível o estabelecimento de requisitos para uma produção sustentável.

Nos últimos anos, introduziu-se o conceito de “piscicultura sustentável” ou “piscicultura responsável” para designar a forma desejável de se produzir sem degradar o meio ambiente, gerando lucros e benefícios sociais. A piscicultura sustentável envolve, necessariamente, três componentes: a produção lucrativa, a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento social (BORGES *et al.*, 2013; AUBIN *et al.*, 2009).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método padronizado internacionalmente que quantifica todas as emissões e recursos consumidos no ciclo de vida de um produto, processo ou serviço. Dessa forma, a ACV é utilizada para estimar os impactos das produções e emissão de poluentes sobre o meio ambiente e a saúde, considerando aspectos relacionados ao esgotamento de recursos associados a bens ou serviços (IBICT-CNI; 2014). A ACV é a metodologia mais utilizada para medir a sustentabilidade e os impactos ambientais causados pela produção, transformação e fabricação de um produto (ROSS *et al.*, 2013; FET *et al.*, 2010; VÁRQUEZ-ROWE *et al.*, 2013).

Atualmente, existem muitas publicações de ACV sobre pesca, aquicultura e processamento de pescados, como o trabalho de Abdou *et al.* (2018) e o de Poore e

Nemecek (2018), porém nenhuma das publicações incluíram a cadeia de produção completa desde a alevinagem, o cultivo, o processamento do pescado e o beneficiamento dos resíduos do processamento do pescado em farinha e óleo de peixe. Isso mostra uma lacuna na literatura. Sendo assim, estudar estas fases ajuda a obter uma visão completa do ciclo de vida da aquicultura, processamento do pescado e o beneficiamento dos resíduos deste processamento, possibilitando indicar os pontos de melhorias no sistema para uma produção mais sustentável.

Objetivo Geral

Avaliar o desempenho energético e ambiental na produção da tilápia do Nilo em diferentes tamanhos, desde a alevinagem, recria, engorda, beneficiamento (em filé, posta e tilápia eviscerada) e transformação dos coprodutos do beneficiamento em farinha e óleo de peixe, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Objetivos Específicos

- Quantificar aspectos e impactos da produção da tilápia do Nilo em diferentes tamanhos;
- Quantificar aspectos e impactos do beneficiamento da tilápia do Nilo (em diferentes cortes como filé, posta e tilápia eviscerada);
- Quantificar os aspectos e impactos da transformação dos coprodutos do beneficiamento em farinha e óleo de peixe;
- Analisar a sensibilidade dos resultados obtidos para apoiar a tomada de decisão.

Hipótese

Existe variação do impacto ambiental em diferentes tamanhos de tilápia do Nilo ao abate;

Existe variação do impacto ambiental no beneficiamento dos diferentes cortes de tilápia do Nilo.

1 Revisão De Literatura Geral

1.1 Piscicultura Sustentável

O termo aquicultura sustentável ganha dimensão num mundo onde produzir, sem esgotar os recursos naturais produtivos, sem prejudicar e danificar o meio ambiente, tornar-se política e socialmente a melhor opção de produção. Converter resíduos e desperdícios em novas matérias-primas, ser eficiente na utilização dos recursos hídricos e energéticos, assegurar o bem-estar animal, utilizar o conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico e pôr estes assuntos em prática nas várias explorações são ferramentas chaves para conseguir uma aquicultura competitiva e sustentável (RABASSÓ; HERNÁNDEZ, 2015).

A sustentabilidade ambiental é conceituada como o gerenciamento e a conservação da base dos recursos naturais e a orientação tecnológica e institucional, de modo que assegure a contínua satisfação das necessidades humanas para as gerações presente e futura (MERINO *et al.*, 2010).

De acordo com IBICT e CNI (2014), a piscicultura sustentável deve favorecer a dimensão social, que engloba a oferta de emprego, salário justo e a inserção da comunidade no mercado de trabalho, respeitando a cultura local. A dimensão ambiental está relacionada com o uso racional dos recursos naturais. Enquanto a dimensão econômica engloba o princípio de economia ecológica e a geração de recursos financeiros.

A quantificação de nitrogênio, fósforo e as emissões de sólidos depositados nos viveiros de produção são baseados na diferença entre a quantidade de nutrientes fornecida e a assimilada pelos peixes na alimentação (AUBIN *et al.*, 2009). Segundo Montanhini Neto e Ostrensky (2015), para produzir uma tonelada de tilápias são lançados no ambiente aproximadamente 1 040 kg de matéria orgânica (MO), 45 kg de nitrogênio (N) e 14 kg de fósforo (P). As perdas ambientais de nitrogênio e fósforo por tonelada de tilápia, utilizando rações comerciais disponíveis no Brasil, provaram ser de duas a dez vezes

maiores que as dos relatos na literatura, e ainda maior do que os resultados obtidos em laboratório. Alves e Baccarin (2005) relataram que 66 % do P do arraçamento intensivo em fazendas de peixes vão para o sedimento, 11 % ficam dissolvidos na água e 23 % são incorporados no peixe em cultivo. Geralmente o P é excretado em formas solúveis e em partículas: as formas solúveis consistem de P orgânico e PO_4^{3-} , que afetam diretamente a qualidade da água, enquanto a forma de partículas sedimenta-se no fundo dos lagos e reservatórios ou acumula-se no sedimento (CANALE *et al.*, 2016). A fração de deposição de MO na tilápia do Nilo é de 22 %, sendo o restante eliminado no meio ambiente, 18 % na perda da alimentação e a fração indigerível 37 %. Para o N, a fração de deposição na tilápia do Nilo é de 35 %, sendo o restante eliminado no meio ambiente, sendo 18 % na perda da alimentação, a fração indigerível 13 % e a excreção solúvel de 33 %, sendo mais de 80 % da excreção de nitrogênio pelos peixes realizada na forma de amônia (MONTANHINI NETO; OSTRENSKY, 2015)

A poluição decorrente dos efluentes não tratados provoca a acidificação e eutrofização dos corpos d'água. A acidificação é causada pela liberação de substâncias ácidas, decorrentes da decomposição de matéria orgânica em ambientes aquáticos sem oxigênio, e é quantificada pela concentração de dióxido de enxofre, o que ocasiona redução do pH do meio aquático. A eutrofização é causada pela emissão de nutrientes, principalmente os compostos de nitrogênio e fósforo, advindos de fontes externas como a ração, de fontes internas como as excretas dos peixes e os resíduos de plantas nos viveiros. Estes nutrientes contribuem para o aumento da concentração de nutrientes na água e promovem o crescimento excessivo de algas e plânctons, que interferem na dinâmica de gases do meio, ocasionando mortalidade dos peixes em função da redução do oxigênio dissolvido na água (MACEDO; SIPAÚBA-TAVARES, 2010; RABASSÓ; HERNÁNDEZ, 2015).

Os peixes produzidos em tanques-rede possuem acesso restrito ao alimento natural disponível no ambiente. Assim, a ração utilizada no cultivo deve ser nutricionalmente completa, suprimindo todas as necessidades nutricionais dos peixes, aliando o conhecimento e a utilização de nutrientes de forma estratégica, como a utilização de rações com menor carga poluente, caracterizadas pela alta digestibilidade dos nutrientes, aceitabilidade da ração, pelo balanço adequado dos nutrientes, estabilidade dos pletes de ração e tamanho compatível com a capacidade de ingestão pelos organismos aquáticos (SANTOS, 2012).

1.2 Produção da tilápia do Nilo em Tanques-Rede

Os tanques-redes são considerados sistemas superintensivos, apresentando baixo custo de investimento na fase da implantação e proporciona alta produtividade. Entretanto, o custo de produção é elevado devido a que a alimentação dos peixes depende quase exclusivamente de rações (PELLETIER; TYEDMERS, 2010). Os peixes confinados têm acesso restrito ao alimento natural disponível no ambiente.

As rações utilizadas na produção aquícola devem suprir as exigências nutricionais das espécies, proporcionar quantidades mínimas de excedentes de nutrientes, minimizando impactos ambientais sobre os sistemas de criação e os ecossistemas aquáticos (ABDOU *et al.*, 2017).

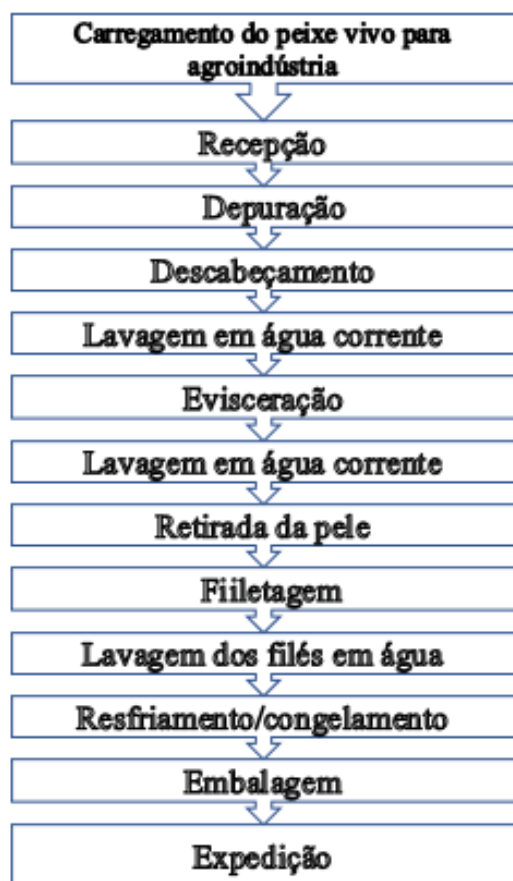
A produção de peixes em tanques-rede possui vantagens como o aproveitamento de ambientes aquáticos existentes, menor investimento inicial (60 % a 70 % menor do que viveiros escavados), menor variação dos parâmetros físico-químicos da água durante a criação, facilidade de movimentação e relocação dos peixes, maior facilidade de despesca dos peixes para venda, intensificação da produção, facilidade de observação dos peixes, redução do manuseio dos peixes e menor quantidade de energia do que os demais sistemas de produção, devido à ausência de bombas de água, filtros e aeradores (AUBIN *et al.*, 2009)

Segundo Aubin *et al.* (2009) algumas das sugestões para reduzir os impactos ambientais na produção em tanque-rede são a limitação de carga de nutrientes, reduzindo a alimentação por meio de rações balanceadas; a avaliação da densidade dos peixes; a redução da utilização da produção primária líquida e a redução da eutrofização.

1.3 Beneficiamento Da Tilápia do Nilo

A etapa de beneficiamento considera a entrada dos peixes na unidade de processamento, incluindo os estágios de depuração, lavagem, descama, evisceração, filetagem, pesagem, embalagem, congelamento e armazenamento. Ao longo do processamento há o consumo de energia elétrica e água, a geração de resíduos sólidos e efluentes (PEREIRA, 2011), de acordo com a Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma operacional do beneficiamento do peixe para a obtenção do filé de tilápia.



Fonte: Adaptado de Pereira (2011).

O principal produto oriundo da produção de tilápia é o filé, superando a tilápia fresca e a posta. Apesar de o filé de tilápia congelado ser o principal produto encontrado nas redes de varejo, há também disponibilidade de outros cortes e produtos. Encontra-se tilápia fresca resfriada, tilápia congelada com pele (cortes especiais para churrasco), bolinhos, *nuggets*, pratos prontos, dentre outros produtos processados (SCHULTER; VIEIRA FILHO, 2017).

O rendimento em filés depende de variáveis do tipo massa e composição corporal, sexo, características anatômicas (relação cabeça/tronco), método e grau de mecanização

na filetagem e destreza do operador. Diferentes parâmetros são adotados na literatura sobre o rendimento de filé em relação ao peso bruto e, em geral, o rendimento do filé varia de 28 % a 33 %, enquanto as demais partes representam 36 % de cabeça e vísceras, 8 % de pele, 22 % de ossos (PEREIRA, 2011).

Dentre os principais impactos ambientais, como a eutrofização, acidificação, aquecimento global, da cadeia produtiva atribuível à produção e ao beneficiamento de peixe, a produção de peixe causa mais impacto ambiental que o beneficiamento e a embalagem. As entradas de energia para beneficiamento contribuem com 23 % de demanda de energia acumulada, 21 % do potencial de aquecimento global e 14 % de potencial de acidificação, enquanto a embalagem apenas 7 %, 3 % e 1 % para esses impactos, respectivamente (PELLETIER; TYEDMERS, 2010).

A quantidade de água necessária para processamento de um quilograma de peixe em filé é estimada em 5,36 L (SOUZA *et al.*, 2008; THRANE *et al.*, 2009). A média de consumo de eletricidade durante o processamento foi de 0,09 KWh/kg de peixe processado (ROCHA *et al.*, 2010).

Thrane *et al.* (2009) estudaram dois casos de fábricas de processamento de peixes na Dinamarca, para implantar a “Produção Mais Limpa” no processamento dos peixes. Um dos principais problemas ambientais no processamento da tilápia do Nilo são as frequentes emissões de matéria orgânica em corpos hídricos.

O transporte dos peixes e das suas vísceras a seco (a água é retirada do peixe e dos coprodutos após o beneficiamento) favorece a economia de água, reduz a quantidade de matéria orgânica no efluente e os coprodutos dos peixes podem ser utilizados na produção de farinha e óleo de peixe. Os coprodutos dos peixes se tornam mais secos e valorizados, pois menos energia é necessária para a evaporação durante a fabricação de farinha de peixe. Outra solução é o desenvolvimento de máquinas para evisceração a seco (THRANE *et al.*, 2009).

1.4 Farinha e Óleo de Peixe

De acordo com Barange *et al.* (2009), mais de dois terços da captura anual do pescado não estão sendo utilizados para o consumo humano. Assim, a utilização racional

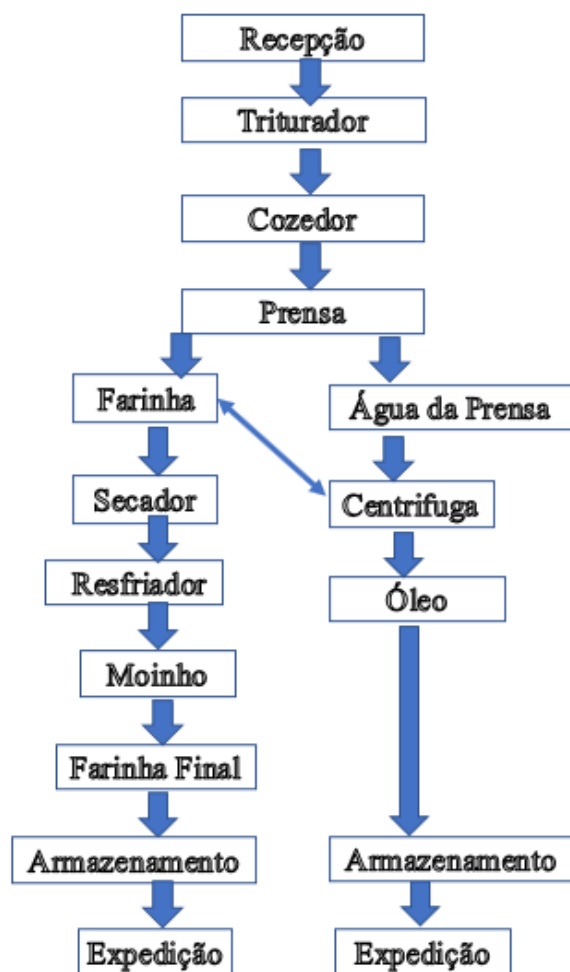
dessas sobras é um importante fator econômico para gerar novos produtos e minimizar o impacto negativo ao ambiente. Deve-se prevenir que essas sobras entrem em estágio de deterioração. Algumas formas mais usuais de aproveitamento de coprodutos são a fabricação de farinha e óleo de peixe.

A farinha de peixe é um ingrediente com alto teor de proteína, a qual é usada na produção de ração para os peixes e em outras indústrias de ração animal (DEUTSCH *et al.*, 2007; DE SILVA; TURCHINI, 2008). A farinha de peixe é produzida a partir de pequenos peixes de várias regiões do mundo (por exemplo, anchova, sardinha, arenque) (BARANGE *et al.*, 2009; CHAVEZ *et al.*, 2003).

O óleo e a farinha de peixe são usados tradicionalmente como fonte proteica e lipídica, respectivamente, para as formulações de rações animais. No entanto, esta escolha causa uma dependência da aquicultura pelos produtos da pesca, o que compromete a sustentabilidade da produção aquícola (DEUTSCH *et al.*, 2007). Apesar destas condicionantes, a farinha e óleo de peixe continuam sendo utilizados, pois são a fonte alimentar com maior aceitabilidade pelo peixe cativo, devido à sua enorme semelhança com os seus alimentos naturais, bem como devido às boas palatibilidades e digestibilidades destas farinha e óleo, que, por outro lado, proporcionam um rápido desenvolvimento do pescado produzido, contém um perfil adequado de aminoácidos e minerais essenciais e são uma fonte rica em ácidos graxos poliinsaturados de cadeia longa, elementos estes essenciais ao desenvolvimento do peixe (DEUTSCH *et al.*, 2007; DE SILVA; TURCHINI, 2008).

A farinha de peixe é um pó castanho obtido após o cozimento, prensagem, secagem e moagem de peixe cru essencialmente fresco e de subprodutos derivados do processamento do pescado. O óleo de peixe resulta da extração de um líquido, constituído por água, óleo e sólidos (proteína solúvel), durante a prensagem do peixe (SILVA, 2014). O processo de fabricação de farinha e óleo de peixe são visualizados na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma operacional do processamento da farinha e óleo de peixe.



Fonte: Adaptado de Silva (2014).

A farinha de peixe artesanal pode ser obtida de forma simples contendo até 60 % de proteína através da secagem e moagem do pescado inteiro, ou dos coprodutos da filetagem, na forma de farinha, visando essencialmente a alimentação animal como fonte proteica (SILVA, 2014). A produção da farinha de peixe resolve um problema ambiental e representa uma fonte adicional de renda para o piscicultor.

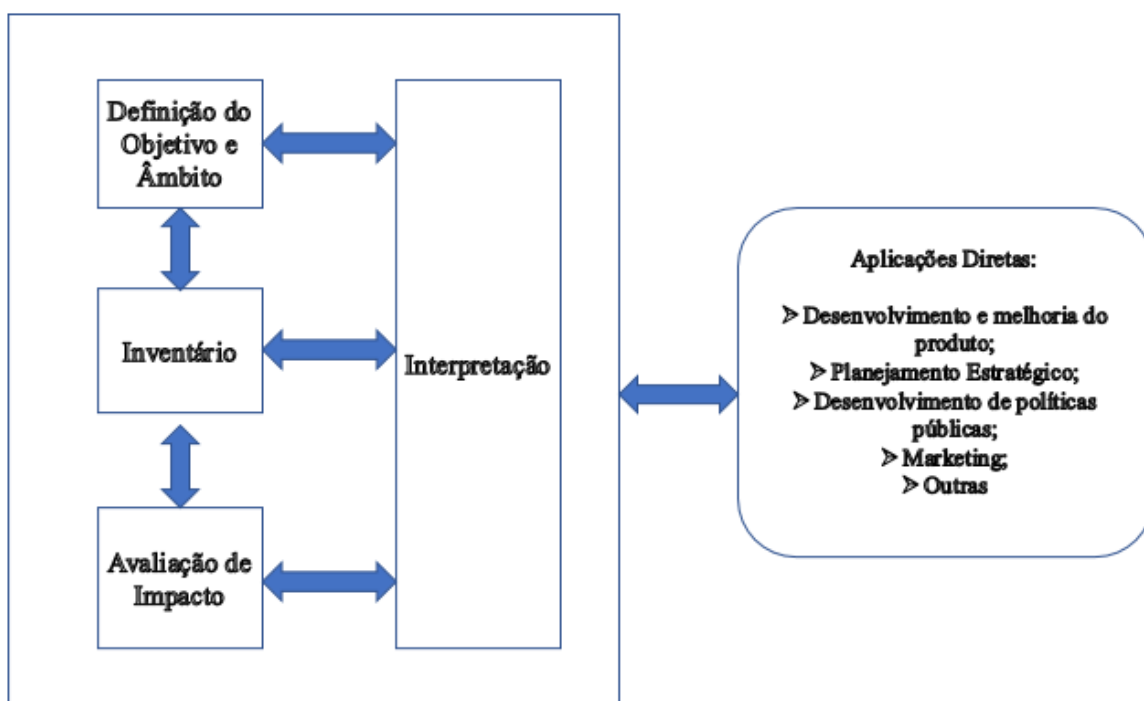
1.5 Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida

Segundo a ISO 14040 (2006) a ACV é uma técnica de avaliação de aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um sistema de produto através da:

- a) Compilação de inventário de insumos e emissões no sistema produtivo;
- b) Avaliação potencial dos impactos ambientais associados aos insumos e emissões;
- c) Interpretação dos resultados da análise do inventário e da análise do impacto em relação aos objetivos do estudo.

O ciclo de vida refere-se ao conjunto de processos que vão desde a fabricação até o fim de vida de um determinado produto ou serviço, sendo caracterizado pela expressão “desde o berço até ao túmulo”. A norma ISO 14040 (2006) caracteriza a ACV como sendo a compilação, interpretação das entradas e saídas (de materiais e energia) e cálculo dos potenciais impactos ambientais associados à produção, consumo e gerenciamento de materiais após o uso de um determinado produto ou serviço. Há uma interpretação contínua dos dados e resultados obtidos em cada uma das fases da metodologia da ACV. As fases da ACV incluem: Objetivo e Escopo, Inventário, Avaliação de Impacto e Interpretação, como se pode observar na Figura 3.

Figura 3 - Fases de uma Avaliação Ciclo de Vida.



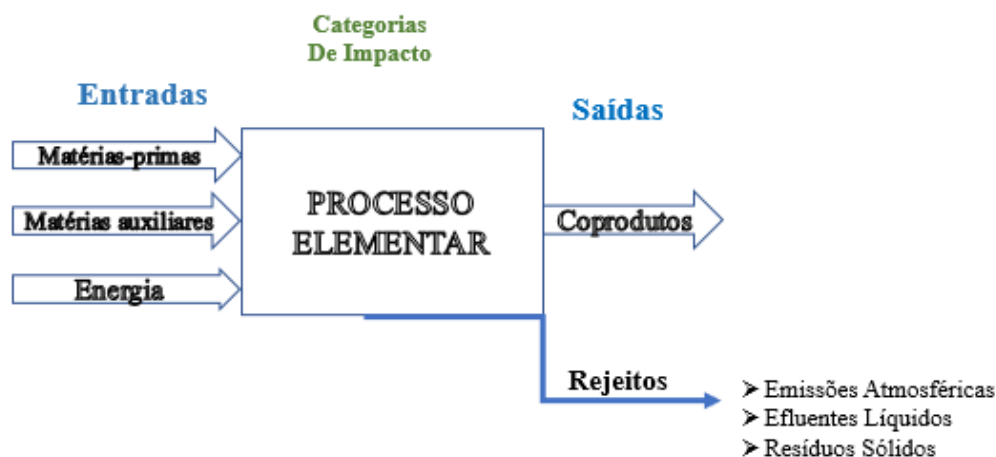
Fonte: Adaptado da ABNT, 2001.

A fase 1 consiste na definição de objetivos e do sistema de trabalho, que é realizada de modo a identificar o objetivo, o contexto e as fronteiras da investigação. Na definição do sistema do trabalho são especificados os seguintes parâmetros: unidade funcional (sendo esta a unidade mínima que expressa uma quantidade de produto/serviço usada para reportar o impacto ambiental final; sistema do produto a ser estudado e seus limites/fronteiras; procedimentos de alocação (para os casos em que o mesmo processo dá origem a vários coprodutos distintos); categorias de impacto a serem consideradas e metodologia de avaliação de impactos a usar; requisitos de recolha e qualidade dos dados; limitações da análise; revisão crítica e formato do relatório.

A fase 2 consiste na análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) que identifica e quantifica as entradas e saídas (de materiais e energia) do sistema de produto com o meio ambiente, dentro dos limites estabelecidos na fronteira do sistema como a extração de recursos naturais, emissões de gases, descargas de efluentes líquidos e resíduos sólidos para o meio ambiente (ISO, 2006a; ISO, 2006b). A definição dos limites do sistema de produto tem como objetivo identificar a relação do sistema de produção com o ambiente e com os outros sistemas circundantes de modo a limitar o sistema de produção aos processos que contribuem de forma significativa para as categorias em estudo (ISO, 2006a; ISO, 2006b).

A análise de ICV é a fase mais trabalhosa, uma vez que consiste na coleta e organização de dados associados ao ciclo de vida. As tarefas que a integram são a identificação das entradas e saídas do sistema de produto. As entradas incluem, por exemplo, a energia, água, materiais, matérias-primas, enquanto as saídas incluem os produtos e coprodutos, emissões para a água, ar, solo e resíduos sólidos. Os dados do sistema de produção estudado devem ser priorizados ao invés dos dados das bases de dados de inventários disponíveis em softwares, como se pode observar na Figura 4.

Figura 4 - Análise do inventário – coleta dos dados



Fonte: Adaptado de IBICT, CNI (2014).

A fase 3 consiste na avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), em que são avaliados os potenciais efeitos humanos e ambientais da utilização dos recursos ambientais, energéticos e outros identificados no inventário. Esta fase pressupõe a realização de fases obrigatórias (classificação e caracterização) e opcionais (normalização e ponderação). A classificação consiste na seleção de categorias de impacto, enquanto a caracterização pressupõe a avaliação da magnitude dos potenciais impactos associados ao inventário. A normalização reporta os potenciais impactos ambientais, de modo que estes possam ser comparados a um local geográfico comum (ISO, 2006a; ISO, 2006b). A AICV é utilizada para estimar o potencial de impacto que afeta a escassez de recursos naturais, saúde humana e equilíbrio ecológico proveniente da extração de recursos naturais e emissões para o ambiente, identificados na fase de ICV (MEDEIROS, 2019).

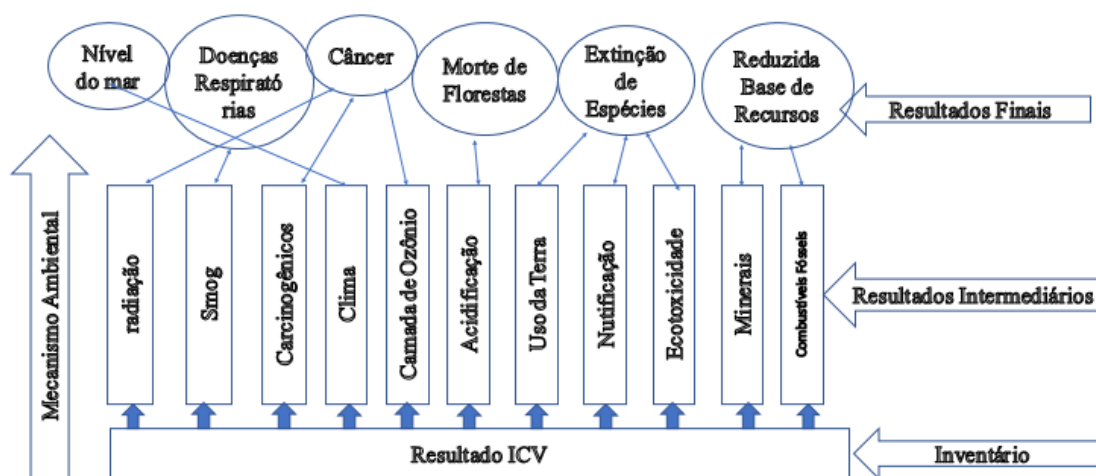
A fase 4 consiste na interpretação que deverá ocorrer em simultâneo com todas as fases anteriores (ISO, 2006a; ISO, 2006b). Esta inclui: identificação dos pontos significativos com base nos resultados da fase de análise de ICV e avaliação da consistência da informação usada. A fase de Interpretação da ACV combina a análise do inventário e avaliação de impacto com o objetivo e o escopo definidos no estudo, visando alcançar conclusões e recomendações. A Interpretação do ciclo de vida é uma técnica sistemática para identificar, quantificar, verificar e avaliar informações dos resultados do ICV e AICV, e comunicá-las efetivamente (MEDEIROS, 2019).

Os modelos de impacto ambiental (ponto médio) apresentam menos incerteza quando comparados àqueles de dano ambiental (ponto final) (HAUSCHILD *et al.*, 2013), porém, quanto menor a quantidade de categorias para se interpretar, mais simples é a tomada de decisão (MEDEIROS, 2019) para uma produção mais sustentável.

Os indicadores Midpoint e Endpoint, respectivamente, procuram analisar as emissões de substâncias e/ou extrapolações de recursos naturais com o uso de indicadores de categoria de ponto médio (ex. acidificação, mudanças climáticas) e de ponto final (ex. danos à saúde, danos a qualidade do ecossistema), intrinsecamente relacionados ao produto ou atividade em estudo (GOEDKOOP *et al.*, 2009).

Os indicadores correspondentes a cada categoria ambiental definida podem se enquadrar em um dos estágios entre os resultados numéricos do inventário e os resultados finais (nos quais o efeito ambiental ocorre) na corrente de causa e efeito, como mostrado na Figura 5 (SAADE *et al.*, 2014).

Figura 5 - Estrutura geral de um método de análise de impacto e dano ambiental.



Fonte: Adaptado de Saade *et al.* (2014).

Esta etapa representa, portanto, o cálculo dos resultados dos indicadores de cada categoria de impacto e dano ambiental. O uso de modelos de caracterização torna-se necessário para derivar os fatores de caracterização que possibilitam avaliar a magnitude dos impactos potenciais de cada uma das substâncias em uma determinada categoria. Em suma, os fatores de caracterização, associados aos seus respectivos modelos, expressam os impactos ambientais potenciais de emissões (inventário do ciclo de vida) em relação a

uma referência (qualidade potencial), para cada uma das categorias de impacto e/ou de danos (SOUZA, 2010).

Diferentes ferramentas computacionais contemplam bibliotecas de inventários, como o Simapro, Gabi, Open LCA, entre outras. As categorias analisadas neste estudo são: ocupação de área, consumo de água, demanda energética, aquecimento global, acidificação e eutrofização.

Ocupação de área corresponde à superfície do solo usado diretamente (como terras ocupadas por lagoas) e indiretamente (como as terras utilizadas para cultivar alimentos para os peixes), é expressa em m^2 a (FRISCHKNECHT *et al.*, 2007). A categoria consumo de água corresponde ao total de água que é desviada ou bombeada a partir de um rio para um sistema de produção, e é expressa em m^3 (HUIJBREGTS *et al.*, 2017).

A demanda energética considerou a energia primária (FRISCHKNECHT *et al.*, 2004) utilizada no sistema de produto da tilápia do Nilo. O método de demanda de energia acumulada considera os insumos energéticos incorporados e eficiências de conversão de energia primária (PELLETIER; TYEDMERS, 2010). Mudança climática é expressa em quilograma de “dióxido de carbono equivalente” (CO_2eq), a qual avalia o impacto das emissões de gases de efeito estufa (como CO_2 , CH_4 e N_2O) sobre a capacidade da atmosfera de absorver a radiação infravermelha (IPCC, 2013).

A acidificação se refere à redução do pH a partir das emissões de SO_2 , NH_3 , NO_3 e NO_x no solo e na água e é expressa em quilograma de “dióxido de enxofre equivalente” (SO_2e) (GUINÉE *et al.*, 2001). Eutrofização é o potencial de impacto que os níveis de nutrientes, o nitrogênio e o fósforo, e a demanda química de oxigênio associado com as emissões ocasionam no meio ambiente e é expressa em quilogramas de “fosfato equivalente” (PO_4eq) (GUINÉE *et al.*, 2001).

No contexto da AICV, a regionalização consiste na especificidade espacial de um determinado impacto e suas características, que envolvem variações expressivas nos impactos entre diferentes regiões geográficas (SOUZA, 2010). A regionalização da AICV é utilizada para especificar o espaço em estudo na modelagem de impactos. Este é o caso de categorias de impacto que não são globais, tais como acidificação, eutrofização, uso da terra e toxicidade. A AICV geralmente utiliza condições diferentes daquelas em estudo

para a avaliação de efeitos potenciais, especialmente em categorias de impacto regionais e locais (SOUZA, 2010).

Características geográficas regionais, incluindo condições bióticas e abióticas, tais como tipo de vegetação, condições climáticas e morfologia têm recebido maior relevância na definição de unidades de escala de resolução espacial. Este aspecto justifica a utilização de modelos de caracterização regionalizados (SOUZA, 2010).

Após a conclusão da ACV, os dados resultantes podem ser utilizados em um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) para corrigir o impacto dos processos no meio ambiente, a partir do planejamento e implementação de medidas de proteção e recuperação ambiental. A adoção de melhoria contínua nas práticas ambientais em empresas e em atividades rurais combina benefícios ecológicos e financeiros, a exemplo do rótulo de produtos ambientalmente corretos que é uma estratégia de marketing para agregar valor ao produto final (ABNT, 2001; ELER; MILLANI, 2007).

Os consumidores estão mais atentos e observam o quanto um determinado segmento produtivo adota práticas de produção socio ambientalmente corretas. Desta forma, a ACV na área de produção de alimentos de origem vegetal e animal fornece dados de desempenho ambiental de cada sistema produtivo, para subsidiar as escolhas mais favoráveis por parte dos consumidores (ELER; MILLANI, 2007; WILFART *et al.*, 2013).

1.6 Avaliação do Ciclo de Vida na Piscicultura

A maioria dos autores que realizam ACV em aquicultura utiliza os métodos IPCC 100 anos (AUBIN *et al.*, 2009), o CML2 baseline (AUBIN *et al.*, 2009; AVADI *et al.*, 2015; MUNGKUNG *et al.*, 2013; YACULT *et al.*, 2016) e o ReCiPe (AUBIN *et al.*, 2009; AVADI *et al.*, 2015). Com base neste e em outros autores foram escolhidos os métodos, modelos e categorias a serem analisadas.

A ACV da piscicultura deve expressar os potenciais impactos ambientais de diferentes aspectos da produção (espécies produzidas, tamanhos de abate, sistema de alimentação, tipos de rações), sistemas de produção (tanque-rede, viveiros escavados,

raceway) e gestão técnica (extensivo, semi-intensivo, intensivo, densidades) (AUBIN, *et al.*, 2009).

Estudos de ACV da aquicultura aponta que a maior contribuição para os impactos ambientais é causada pela alimentação dos peixes. WILFART *et al.* (2013) estudaram a ACV de viveiros com policultivos e encontraram 10,5kg de SO₂eq/tonelada de peixe, na qual o maior contribuinte para a acidificação foi a alimentação (65%), seguida pelo uso de energia (18%).

Aubin *et al.* (2009) estudaram a ACV em três fazendas de peixe e três sistemas de produção intensiva: truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*), em viveiros de água doce, na França; o robalo (*Dicentrarchus labrax*), em tanques-rede marinhos na Grécia, e pregado (*Scophthalmus maximus*), em um sistema de recirculação à beira-mar na França. As duas principais diferenças dos três sistemas de produção foi o uso de alimentação e uso de energia. As emissões de nitrogênio e fósforo no corpo hídrico representam mais de 90% do impacto da eutrofização de cada fazenda. No sistema da truta e sistemas de robalo, a produção de alimentos foi a principal contribuinte para as mudanças climáticas e acidificação. Nestes sistemas, a variação dos impactos ambientais oriunda principalmente da taxa de conversão alimentar. Os resultados do referido estudo indicam que o robalo em sistema de tanques-rede foi menos eficiente do que o sistema de truta em viveiros e apresentou um nível de potencial eutrofização 65% maior.

A categoria de uso do solo que quantifica a área em (m² a) é utilizada para avaliar a produção de peixe e insumos (ROSS *et al.*, 2013). Os resultados encontrados por Wilfart *et al.* (2013) e Ross *et al.* (2013) apontam que a maior contribuição do uso do solo foi a produção de ingredientes da ração que demandam extensas áreas de cultivo de grãos. A redução do impacto de uso do solo é alcançada pela racionalização da alimentação na piscicultura (reduzindo desperdícios de ração) e uso de ingredientes da ração que demandem menor extensão de terra.

Um experimento utilizando tilápia do Nilo para avaliar o desempenho de produção desta espécie com o uso de alimentadores automáticos verificou que o ganho de peso pode ser promissor. O experimento foi realizado no Brasil nos períodos de outono e inverno. A temperatura média de 23°C estava abaixo da temperatura ideal para esta espécie que pode variar entre 27 °C e 32 °C. A conversão alimentar foi de 1,40 para a taxa

de frequência de alimentação baixa (uma vez a cada dois horas) e 1,04 para a alta (uma vez por hora). O uso de alimentadores automáticos resultou na economia de 360kg de alimentos para cada tonelada de peixe produzido, contribuindo para a sustentabilidade na produção da tilápia (SOUSA *et al.*, 2012).

De acordo com Pelletier e Tyedmers (2010) os impactos ambientais da produção são maiores do que nas etapas de beneficiamento e distribuição de peixes. Ademais, Thrane (2006) afirma que a aquicultura é a etapa do ciclo de vida com o maior impacto em comparação com aquele do beneficiamento e a distribuição.

Pelletier e Tyedmers (2010) consideraram o rendimento do filé de 37%. O processamento de peixe em filés gera mais perdas em comparação com peixes eviscerados. Dessa forma, a indústria de beneficiamento de peixe gera uma considerável quantidade de resíduos e não disponibiliza de tecnologia adequada para transformar resíduos em produtos de maior valor agregado, na qual apenas a metade dos coprodutos de peixe é aproveitada (STEVANATO *et al.*, 2007; RODRIGUES *et al.*, 2016).

No processo de beneficiamento do peixe, um dos pontos mais críticos que gera impacto ambiental é a limpeza do frigorífico, que constituiu cerca de 40% do consumo total de água. Uma solução é a remoção física de resíduos de peixe com o uso de raspadores e ar comprimido, assim como a pré-imersão de pisos e equipamentos de beneficiamento para aumentar tempo de contato com agentes de limpeza (THRANE *et al.*, 2009).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR: Gestão Ambiental** – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001.

ALVES, R. C. P.; BACCARIN, A. E. Efeitos da produção de peixes em tanques-rede sobre sedimentação de material em suspensão e de nutrientes no Córrego da Arribada (UHE Nova Avanhandava), baixo rio Tietê. *In*: NOGUEIRA, M.G.; HENRY, R.; JORCIN, A.(Org.). **Ecologia de reservatórios: impactos potenciais, ações de manejo e sistemas em cascata**. São Carlos: Rima, p.329-347, 2005.

AUBIN, J. *et al.* Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, p. 354-361, 2009.

AVADI, A. *et al.* Comparative environmental performance of artisanal and commercial feed use in Peruvian freshwater aquaculture. **Aquaculture**. v. 435, p.52–66, 2015.

BARANGE, M. *et al.* Current trends in the assessment and management of small pelagic fish stocks. *In*: CHECKLEY, D.; ROY, C.; OOZEKI, Y.; ALHEIT, J. (Eds.), **Climate Change and Small Pelagic Fish Stocks**. Cambridge University Press, 2009.

BOMBARDELLI, R. A.; SYPERRECK, M. A.; SANCHES, E. A. Situação atual e perspectivas para o consumo, processamento e agregação de valor ao pescado. **Arq. ciên. vet. Zool**, v. 8, n. 2, p. 181-195, 2005.

BORGES, A. F.; *et al.* Desempenho Ambiental da Piscicultura na Amazônica Ocidental Brasileira. **Gl. Sci Tecnol**, v. 6, n. 1, p.141-152, 2013.

CANALE, R. P. *et al.* A bioenergetic approach to manage production and control phosphorus discharges from a salmonid hatchery. **Aquaculture**, v. 451, p.137-146, 2016. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.09.008.

CHAVEZ, F. P., RYAN, J.; LLUCH-COTA, S. E.; NIQUEN, C. M. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. **Science**. v. 299, n. 5604, p. 217.221, 2003.

DE SILVA, S. S.; TURCHINI, G. M. Towards understanding the impact of the pet food industry on world fish and seafood supplies. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**. v. 21, v. 5, p. 459-467, 2008.

DIANA, J. S. Aquaculture Production and Biodiversity **Conservation**. **Bioscience**. v. 59, p.27–38, 2009. DOI: 10.1525/bio.2009.59.1.7.

EC-JRC - JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD). **Handbook: Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context**. First Edition, Luxembourg: Publications Office of the European Union. 159p. 2010.

EC-JRC - JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION (). Recommendations based on existing environmental impact assessment models and factors for life cycle assessment in European context. **ILCD Handbook** – International Reference Life Cycle Data System, European Union. 2011.

ELER, M. N.; MILLANI, T. J. Métodos de estudo de sustentabilidade aplicados a aquicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, suplemento especial, p. 33-44, 2007.

ELLINGSEN, H.; OLAUSSEN, J. O.; UBTNE, I. B. Environmental analysis of the Norwegian fishery and aquaculture industry — A preliminar study focusing on farmed salmon. **Marine Policy**, v. 33, p. 479-488, 2009.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in action**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020.

FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2020: Transforming food systems for affordable healthy diets**. Rome, Rome, New York, Rome, New York: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Fund for Agricultural Development (IFAD), United Nations Children's Fund (UNICEF), World Food Programme (WFP) and World Health Organization (WHO), 2020.

FET, M. A.; SCHAU, E. M.; HASKINS, C. A Framework for environmental analyses of fish food production systems based on systems engineering principles. **Systems Engineering**, v. 13, n. 2, 2010.

FRISCHKNECHT, R. *et al.* **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods**. Final report Ecoinvent 2 000, Swiss Centre for LCI. Dübendorf, CH, 2003.

FRISCHKNECHT, R. *et al.* **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0**. Ecoinvent report No. 3, Swiss center for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland, 2007

FUKASE, E.; MARTIN, W. **Economic Growth, Convergence, and World Food Demand and Supply**. Policy Research Working Paper 8257. Washington D.C.: World Bank Group, 2017.

GOEDKOOPE, M. *et al.* ReCiPe 2008: a life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. **Ministerie van Volkshuisvesting**. (Report, 1). 2009

GUINEE, J. B. *et al.* **Handbook on Life Cycle Assessment, Operational guide to the ISO standards**, v. 1, 2a, 2b and 3, 2001.

GUINÉE, J. B. **Handbook on Life Cycle Assessment: operational guide to the ISO Standards**. Kluwer Academic Publishers, 2002.

HAUSCHILD, M. Z. *et al.* Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 3, p. 683-697, 2013.

HUIJBREGTS, M. A. J. *et al.* ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. **International Journal Life Cycle Assess.** 22: 138, 2017.

IBGE. **Produção Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro. v. 43, p. 1-49, 2015.

IBICT, CNI. **Desenvolvimento Sustentável e Avaliação do Ciclo de Vida**. Brasília, 2014. 33p.

IPCC. **Refinement to the 2006: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: v. 5 (Waste)**. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.

IRIBARREN D.; MOREIRA M. T.; FEIJOO G. Life Cycle Assessment of fresh and canned mussel 572 processing and consumption in Galicia (NW Spain). **Resource Conserv Recycl.** v. 55, p.106-117, 2010 DOI: 10.1016/j.resconrec.2010.08.001

ISO. **ISO 14040: 2006** - Environmental management - Life cycle assessment | Principles and framework. Geneva, Switzerland. 2006a.

MACEDO, C. F.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. Eutrofização e qualidade de água na piscicultura: Consequências e recomendações. **Boletim Instituto de Pesca**, v. 36, n. 2, p.149- 163, 2010.

MADIN, E. M. P.; MACREADIE, P. I. Incorporating carbon footprint sea food sustainability certification and eco-labels. **Marine Policy**. v. 57, p. 178-181, 2015

MEDEIROS, D. L. **Avaliação energética e ambiental do saneamento baseado em recursos para aproveitamento de urina humana na agricultura**. 210p. Tese (Doutorado), Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2019.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, v. 26, n. 1, p. 160-175, 2016.

MERINO, G.; BARANGE, M.; MULLON, C.; RODWELL, L. Impacts of global environmental change and aquaculture expansion on marine ecosystems. **Global Environmental Change**, v. 20, p. 586-596, 2010.

MONTANHINI NETO, R.; OSTRENSKY, A. Nutrient load estimation in the waste of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) reared in cages in tropical climate conditions. **Aquaculture Research**, v. 46, p.1309- 1322, 2015. DOI: 10.1111/are.12280.

MUNGKUNG, R. *et al.* Life Cycle Assessment for environmentally sustainable aquaculture management: a case study of combined aquaculture systems for carp and tilapia. **Journal of Cleaner Production**, v. 57. 2013. p. 249- 256.

PELLETIER, N. *et al.* Not All Salmon Are Created Equal: Life Cycle Assessment (LCA) of Global Salmon Farming Systems. **Environ. Sci. Technol.** v. 43, p.8730- 8736, 2009.

PELLETIER, N.; TYEDMERS, P. Life Cycle Assessment of frozen tilapia fillets from Indonesian lake based and pond-based intensive aquaculture systems. **Journal of Industrial Ecology**. v. 14, n. 3, 2010.

PEREIRA, C. R. **Um modelo de simulação de sistema aplicado à programação da produção de um frigorífico de peixe**. 129p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos. 2011.

POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. **Science**, v. 360, n. 6392, p. 987–992, 2018.

RABASSÓ, M.; HERNÁNDEZ, J.M. Bioeconomic analysis of the environmental impact of a marine fish farm. **Journal of Environmental Management**, v. 158, p.24-35, 2015. DOI:10.1016/j.jenvman. 2015.04.034.

RODRIGUES, E. R. N.; MEDEIROS, D. L.; MENDONÇA, A. A.; MARCOLIN, C. R.; ALBINATI, R. C. B.; FRANKE, C. R. Life Cycle Analysis of National Imported Fish in the State Bahia (Brazil). **Bol. Inst. Pesca**, v. 42, n. 4, p. 792- 800, 2016.

ROSS, E. *et al.* Can carbon footprint serve as an indicator of the environmental impact of meat production? **Ecological Indicators**, v. 24, p. 573-581, 2013.

SAADE, M. R. M.; SILVA, M. G.; GOMES, V. A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, e a etapa de avaliação de impactos ambientais: considerações sobre o uso de diferentes métodos e seus reflexos nos resultados finais. **Natureza on-line**. v. 12, n. 3, p. 109- 116, 2014.

SANTOS, A. A. O. **Sustentabilidade ambiental da criação de camarões de água doce e uso de aguapé no tratamento dos efluentes**. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em Aquicultura da UNESP, Jaboticabal, 2012.

SCARBOROUGH, P. *et al.* Dietary greenhouse gas emissions of meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans in the UK. **Climatic Change**, v. 125, p. 179- 192, 2014.

SCHULTER, E. P. VIEIRA FILHO, J. E. R. Evolução da Piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva da tilápia. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea**. Brasília. 42p. 2017.

SILVA, C. R. B. C. **Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de ingredientes aquícolas**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Marinhos, Aquicultura e Pescas, da Universidade do Porto, Porto, 2014.

SOUSA, R. M. R. *et al.* Productive performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed at different frequencies and periods with automatic dispenser. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 64, n. 1, p. 192-197, 2012.

SOUZA, D. M. de. **Proposta de um modelo de caracterização de impactos do uso da terra, segundo indicadores de biodiversidade, em AICV: cálculo de fatores de caracterização para ecorregiões brasileiras**, 312p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

STEVANATO, F. B. *et al.* 2007 Aproveitamento de resíduos, valor nutricional e avaliação da degradação de pescado. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 1, n. 7, p. 1-6, 2007.

THRANE, M.; NIELSON, E. H.; CHRISTENSEN, P. Cleaner production in Danish fish processing – experiences, status and possible future strategies. **Journal of Cleaner Production**, n. 17, p. 380-390, 2009.

UGAYA, C. M. L.; ALMEIDA NETO, J. A.; FIGUEIREDO, M. C. B. de. **Rede de Pesquisa de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida**. Recomendação de modelos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida para o contexto brasileiro/RAICV. Brasília, DF: Ibict, 2019. 165p.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. **Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators**. Life Cycle Initiative. v. 1. 2016.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME – UNEP. **Life Cycle Impact Assessment Programme**. Life Cycle Initiative. 2010.

VÁRQUEZ-ROWE, I. *et al.* carbon footprint of a multi-ingredient seafood product from a business-to-business perspective. **Journal of Cleaner**, v. 44, p. 200-210, 2013.

WILFART, A. *et al.* LCA and energy accounting of aquaculture systems: towards ecological intensification. **Journal of Environmental Management**, v. 121, p. 96-109, 2013.

YACOUT, D. M. M.; SOLIMAN, N. F.; YACOUT, M. M. Comparative life cycle assessment (LCA) of Tilapia in two production systems: semi-intensive and intensive. **J. Life Cycle Assess.** v. 21, p. 806-819, 2016.

CAPÍTULO 1

O peso ao abate influencia o desempenho energético e ambiental da piscicultura: produção de tilápia do Nilo em tanque-rede

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho energético e ambiental do ciclo de vida da produção de tilápia do Nilo despescada em diferentes tamanhos. O fluxo de referência foi 1 tonelada (Mg) de peixe com os tamanhos de 0,6kg, 0,9kg, 1,2kg, 1,5kg, 1,8kg e 2,0kg. O inventário de primeiro plano considerou as produções de ração e as etapas de alevinagem e produção de peixe a partir da recria e engorda em tanque-rede, enquanto o inventário de segundo plano considerou a produção dos demais insumos materiais e energéticos, transporte, infraestrutura e tratamento de resíduos. As categorias avaliadas foram a ocupação de área, consumo de água, demanda energética, aquecimento global, acidificação e eutrofização. A conversão alimentar do peixe de tamanho menor foi mais favorável comparada aquela do peixe de tamanho maior, enquanto o peixe de tamanho menor demandou mais alevinos que aqueles maiores. A carga ambiental da tilápia do Nilo apresentou uma tendência de aumento com os peixes em tamanhos maiores. A maior contribuição da ocupação de área, consumo de água, demanda energética e aquecimento global foi da produção de ração de peixe, enquanto aquela da acidificação e eutrofização foi da recria e engorda da tilápia do Nilo. A ração é um dos insumos que mais contribui para o impacto ambiental, portanto com o aumento das perdas de ração nos cenários avaliados, elevam-se as contribuições de impacto em todas as categorias analisadas. A escolha dos fornecedores de ingrediente da ração de peixe apresentou uma influência relevante na carga ambiental da tilápia do Nilo despescada. Portanto, a sustentabilidade da piscicultura deve considerar ingredientes com menor carga ambiental, conversão alimentar mais favorável e aproveitamento do efluente da produção.

Palavras-chave: Aquicultura. Piscicultura. Tilapicultura. Avaliação do Ciclo de Vida. Nexo Água-Energia-Alimento.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the energy and environmental performance of the life cycle of Nile tilapia production harvested in different sizes. The reference flow was 1ton (Mg) of fish with sizes of 0.6kg, 0.9kg, 1.2kg, 1.5kg, 1.8kg and 2.0kg. The foreground inventory considered the feed production and the stages of hatching and fish production from the rearing and fattening in cages, while the background inventory considered the production of other material and energy inputs, transport, infrastructure and waste treatment. The categories evaluated were area occupation, water consumption, energy demand, global warming, acidification and eutrophication. The feed conversion of the smaller-sized fish was more favorable compared to that of the larger-sized fish, while the smaller-sized fish demanded more fingerlings than the larger ones. The environmental burden of Nile tilapia showed a tendency to increase with fish in larger sizes. The largest contribution of area occupation, water consumption, energy demand and global warming was from fish feed production, while that of acidification and eutrophication was from the rearing and fattening of Nile tilapia. The choice of fish feed ingredient suppliers had a relevant influence on the environmental burden of harvested Nile tilapia. Therefore, the sustainability of fish farming must consider ingredients with less environmental load, more favorable feed conversion and use of production effluent.

Key-words: Aquaculture. Fish Farming. Tilapia Farming. Life Cycle Assessment. Water-Energy-Food Nexus.

1 INTRODUÇÃO

A demanda de alimento é influenciada pelo aumento populacional, padrão de consumo e perdas de alimento. Projeta-se o dobro da demanda de alimento de 2009 em 2050 (FUKASE; MARTIN, 2017). A proteína animal é um dos principais componentes na dieta humana, embora apresente as maiores contribuições nos impactos ambientais dos alimentos (POORE; NEMECEK, 2018). Dessa forma, deve-se identificar fontes de proteína animal com menor impacto ambiental.

Entre 1961 e 2017, o aumento médio anual do consumo de pescado foi 3,1%, contra 2,1% das demais fontes de proteína animal (FAO, 2020). O consumo mundial *per capita* de pescado aumentou de 9kg em 1961 para 20kg em 2017 (FAO, 2020). A produção de pescado oriunda da captura estabilizou desde a década de 1980, enquanto a aquicultura contribuiu para o aumento da produção de pescado e representou 46% da produção mundial em 2017 (FAO, 2020). No entanto, a expansão da aquicultura causa impactos ambientais como escassez hídrica, aquecimento global, acidificação e eutrofização (DIANA 2009; OTTINGER *et al.*, 2016).

A aquicultura sustentável contribui para a segurança alimentar e fornecimento de uma dieta saudável. Dessa forma, uma aquicultura competitiva e sustentável promove o aumento da eficiência na utilização dos recursos, aproveitamento de perdas (desperdícios e resíduos) e bem-estar animal (RABASSÓ; HERNÁNDEZ, 2015).

A tilápia do Nilo, peixe nativo da África e do Oriente Médio, atualmente, está distribuída em todo o mundo e tornou-se um dos peixes mais importantes para o consumo humano. Comercialmente, a tilápia é a segunda mais importante grupo de peixes capturados na natureza, depois de carpas e com grande potencial de aumentar sua produção mundial por ser uma espécie de fácil cultivo e adaptação ambiental. A tilápia é vendida principalmente como um peixe fresco para tanto para exportação como para o consumo local (PELLETIER; TYEDMERS, 2010).

Os sistemas de produção em tanques-redes são considerados sistemas superintensivos, apresentando baixo custo de investimento na fase da implantação. Proporciona alta produtividade e custo de produção elevado devido a que a alimentação dos peixes depende quase exclusivamente de rações (PELLETIER; TYEDMERS, 2010).

Os peixes confinados apresentam acesso restrito ao alimento natural disponível no ambiente (SANTOS, 2012). Assim, com manejo adequado da produção pode-se diminuir o custo de produção, promover a sustentabilidade e a viabilidade econômica.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica utilizada para compreender e avaliar os impactos ambientais potenciais de um sistema de produto (ISO - 14040, 2006a). O método da ACV é constituído de quatro fases, são elas: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação (ISO- 14044, 2006b). A ACV é utilizada na avaliação do desempenho energético e ambiental da produção de proteína animal. Entretanto, o impacto ambiental dos alimentos pode variar em 50 vezes entre os diferentes produtores de um mesmo produto (POORE; NEMECEK, 2018). Portanto, deve-se avaliar o desempenho ambiental específico dos produtos para apoiar a tomada de decisão.

O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho energético e ambiental ao longo do ciclo de vida da produção da tilápia do Nilo de diferentes tamanhos. Foram avaliadas as categorias de ocupação de área, consumo de água, demanda energética, mudança climática, acidificação e eutrofização para identificar os pontos críticos da produção de tilápia do Nilo. Ademais, a análise de sensibilidade considerou a influência da escolha dos fornecedores de ingrediente da ração de peixe no desempenho energético e ambiental da tilápia do Nilo despescada e diferentes cenários de alimentação. Este trabalho difere da literatura quanto à avaliação do desempenho energético e ambiental da tilápia do Nilo em diferentes tamanhos no contexto brasileiro, considerando a influência da fonte de produção e eficiência de uso da ração para peixes.

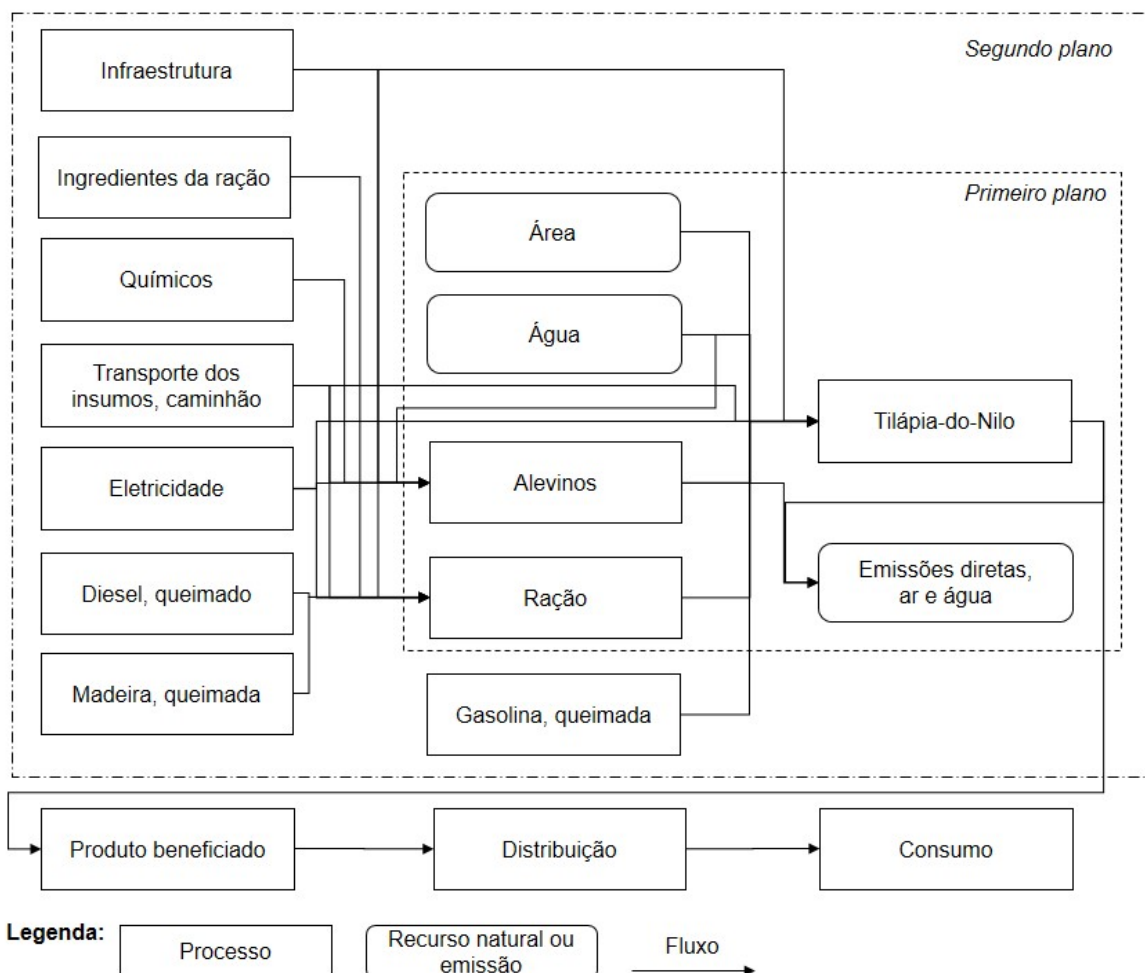
2 MÉTODOS

2.1 Definição do Escopo

As normas de ACV (ISO, 2006a; ISO, 2006b) foram utilizadas neste estudo para avaliar o desempenho energético e ambiental da tilápia do Nilo de diferentes tamanhos. O fluxo de referência foi 1 tonelada (Mg) de peixe despescado. Foram avaliados seis cenários de produção da tilápia do Nilo em diferentes tamanhos: T600g com 0,6kg; T900g com 0,9kg; T1200g com 1,2kg; T1500g com 1,5kg; T1800g com 1,8kg; T2000g com

2,0kg. O sistema de produto da tilápia do Nilo considerou as etapas de produção da ração e produção da tilápia do Nilo. A etapa de produção da tilápia do Nilo considerou os processos de alevinagem, recria dos peixes juvenis em tanque-rede, engorda dos peixes adultos em tanque-rede e despesca (Figura 6).

Figura 6 - Sistema de produto da tilápia do Nilo produzida em tanque-rede.



Fonte: Elaboração da autora.

O sistema do produto considerou a fase de operação da produção de tilápia do Nilo com extensão do berço ao portão da fazenda de piscicultura. A fase de construção e manutenção da infraestrutura foi estimada a partir de processos semelhantes àqueles deste estudo a partir base de dados *Ecoinvent*TM (MORENO-RUIZ *et al.*, 2019). Ademais, os usos de antibióticos e químicos para a limpeza na fase de operação foram desconsiderados devido a sua contribuição desprezível para as categorias avaliadas (AYER; TYEDMERS, 2009).

2.2 Inventário do Ciclo de Vida

O inventário de primeiro plano da tilápia do Nilo considerou as etapas de produção de ração e produção de peixe com os processos de alevinagem, recria dos peixes juvenis em tanque-rede, engorda dos peixes adultos em tanque-rede e despesca. Os ingredientes da ração considerada neste estudo são apresentados no inventário da produção de ração (Tabela 1).

Tabela 1 - Inventário da produção de 1 tonelada (Mg) por ração utilizada na produção da tilápia do Nilo.

Entrada	Parâmetro	Unidade	Ração por concentração de Proteína Bruta (PB)		
			PB 45%	PB 35%	PB 32%
	Fábrica de ração	p	8,6E-7	8,6E-7	8,6E-7
	Trigo, grão	kg	0	195	404
	Milho, grão	kg	322,2	166	68
	Soja				
	Óleo	kg	36,2	39	40
	Farelo	kg	158,6	366	279
	Coproduto animal				
	Farinha de víscera de ave	kg	372,8	42	42
	Farinha de pena de ave	kg	100	100	100
	Farinha de carne e osso	kg	0	80	80
	Sal comum	kg	2,0	2,0	2,0
	Ácido Propiônico, antifúngico	kg	2,0	1,0	1,0
	Suplemento vitamínico e mineral para peixe	kg	0	0	7,2
	Transporte rodoviário, caminhão ^a	Mg. km	1389	1389	1436
	Eletricidade	kWh	80	80	80
	Diesel, queimado	MJ	495	495	495
	Calor, madeira queimada	MJ	4640	4640	4640

Peça (p).^a Transporte dos ingredientes das rações por 700 km de distância, considerando uma viagem de ida e volta.

As rações utilizadas na alevinagem, recria dos peixes juvenis e engorda dos peixes adultos consideraram diferentes concentrações de proteína bruta (PB). A ração de 45% PB foi utilizada na alevinagem, enquanto as rações de 35% PB e 32% PB foram utilizadas na recria e engorda dos peixes. A quantidade de proteína bruta (PB), nitrogênio (N) e fósforo (P) da ração foi baseada na descrição do rótulo do produto. A ração 35% PB possui 0,057kg N total e 0,007kg P total por kg de ração, enquanto a ração 32% PB possui 0,051kg N total e 0,006kg P total por kg de ração. A formulação dos ingredientes da ração utilizou o software partir dos dados de % PB. As demandas de eletricidade, diesel e calor

da madeira foram obtidos a partir da comunicação pessoal com o técnico de uma fábrica de ração.

O inventário da produção de alevinos de 1g, coletado na Bahia Pesca, instituição governamental, em Salvador, no estado da Bahia, considerou a demanda energia, água e insumos na manutenção dos reprodutores, reprodução, e incubação dos alevinos a partir de Petroski (2016).

Tabela 2 - Inventário de primeiro plano (portão-a-portão) da produção de 1kg de alevino de tilápia do Nilo.

Parâmetros		Unidade	Alevinos por tamanho	
			1 g	30 g
Entrada	Água superficial, rio	m ³	3,5	0,15
	Fábrica de alevino	p	8,6E-7	8,6E-7
	Ureia	kg	0,23	-
	Ração 45 % PB	kg	3,0	1,3 ^{9C}
	Trigo, farelo	kg	1,4	-
	Cal virgem	kg	3,23	-
	Transporte rodoviário, caminhão	Mg. km	4,2	0,16
	Eletricidade	kWh	24	6,5
	Alevinos de 1 g	kg	-	1,18
Saída	Óxido nitroso, ar	kg	0,00033	0,00005
	Metano, biogênico, ar	kg	0,048	0,002
	Nitrogênio total, água superficial	kg	0,042	0,07
	Amônia	kg	0,035	0,006
	Fósforo total, água superficial	kg	0,022	0,0216
	Água, água superficial	m ³	2,8	0,12
	Matéria orgânica, água superficial	kg	1,2	0,048

Peça (p); Proteína bruta (PB). ^a Transporte da ração de 45 % PB em 1400 km de distância, considerando uma viagem de ida e volta. ^cMontanhini Neto e Ostrensky, 2015

A estimativa da demanda alimentar para juvenis de 30g foi baseada no trabalho de (Montanhini Neto e Ostrensky, 2015) . Adotou-se uma perda de 15% dos alevinos na recria (de 1g até 30g), de acordo com informações do produtor. O balanço de massa de N e P nos processos de alevinos, recria e engorda da produção de tilápia do Nilo foi baseado nos nutrientes contidos na ração, retidos na biomassa dos peixes e emitidos pelas perdas de ração e excreção dos peixes. A retenção de nutrientes na tilápia do Nilo foi estimada em 35% N e 28% P da ração ingerida em peso/peso, portanto 65% N e 72% P foram excretados no efluente (Montanhini Neto e Ostrensky, 2015) . A emissão de matéria orgânica da ração nos processos de alevinos, recria e engorda foi estimada em 18% de perda na ração para peixes e 23% na ração não digerida em p/p (Montanhini Neto e Ostrensky, 2015) . A emissão de óxido nitroso (N₂O_{EFLUENTE}) foi estimada a partir do método do IPCC (2019) (Equação 1).

$$N_2O_{EFLUENTE} = N_{EFLUENTE} \cdot EF_{N_2O} \cdot \left(\frac{44}{28}\right) \quad (1)$$

Onde a carga de nitrogênio ($N_{EFLUENTE}$) (kg N total) foi estimada a partir do N contido nas perdas de ração e excretas do peixe; e o fator de emissão (EF_{N_2O}) (kg N_2O -N/kg N) foi específico para o corpo hídrico de cada etapa de produção. O EF_{N_2O} da etapa de alevinagem foi 0,005 kg N_2O -N/kg N para descarga de N em água doce superficial (IPCC, 2019).

A emissão de metano ($CH_4_{EFLUENTE}$) foi estimada a partir do método do IPCC (2019) (Equação 2).

$$CH_4_{EFLUENTE} = TOW \cdot EF_{CH_4} \quad (2)$$

Onde a carga orgânica (TOW) (kg DQO – Demanda Bioquímica de Oxigênio) foi estimada a partir da matéria orgânica seca emitida nas perdas de ração e excretas do peixe, a qual foi convertida de Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) para DQO, considerando 1,4kg DQO/kg SSV (BULLOCK *et al.*, 1996). O fator de emissão (EF_{CH_4}) (kg CH_4 /kg DQO) foi específico para o corpo hídrico de cada etapa de produção. O EF da etapa de alevinagem foi 0,028kg CH_4 /kg DQO para descarga de matéria orgânica em ambientes aquáticos (IPCC, 2019).

O balanço de massa do N e P na etapa de alevinagem foi estimado a partir daquele da produção da tilápia do Nilo que considerou os nutrientes contidos na ração, retenção na biomassa do peixe, perdas no arraçamento e excreção destes nutrientes. A retenção de nutrientes da tilápia do Nilo foi estimada em 35% N e 28% P do alimento ingerido, portanto 65% N e 72% P foram excretados no efluente (MONTANHINI-NETO; OSTRENSKY, 2015). A emissão de matéria orgânica da ração de entrada nas etapas de alevinagem, recria e engorda foi estimada a partir da perda de 18% no arraçamento e 23% de ração não digerida (MONTANHINI-NETO; OSTRENSKY, 2015).

O inventário dos processos de recria dos peixes juvenis em tanque-rede, engorda dos peixes adultos em tanque-rede e despesca da etapa de produção de tilápia do Nilo, apresentado de forma agregada na Tabela 3, foi coletado por questionário com o técnico da produção em 2019 (comunicação pessoal). A unidade de produção de tilápia do Nilo, localizada no município de Redenção da Serra, região leste do estado de São Paulo, Brasil, produz 2700t de tilápia do Nilo por ano em média. Foram consideradas às entradas de

alevinos, ração, transporte dos insumos externos, eletricidade, combustível do transporte dos insumos internos na fazenda e às saídas como restos de ração, excretas dos peixes na forma de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, e emissões atmosféricas.

Tabela 3 - Inventário de primeiro plano (portão-a-portão) da produção de 1 tonelada (Mg) da tilápia do Nilo por cenário avaliado.

Parâmetros		Unidade	Tilápia do Nilo despesada por tamanho					
			T 600g	T 900g	T 1 200g	T 1 500g	T 1 800g	T 2 000g
Entrada	Ocupação, corpos hídricos, artificial	m ² .ano	1.6	2.9	4.3	5.6	7.0	7.8
	Água evaporada, rio	m ³	1.7	3,1	4,5	5,9	7,3	8,2
	Tanque-rede	m	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
	Alevinos de 30 g	kg	53	35	26	21	18	16
	Ração 35 % PB	kg	76,32	50	37,44	30,24	25,9	23
	Ração 32 % PB	kg	1 254	1 390	1 553	1 587	1 611	1 618
	Transporte rodoviário, caminhão	Mg. km	1 933	2 098	2 313	2 353	2 382	2 389
	Eletricidade	kWh	16	16	24	31	39	44
	Gasolina, queimada	MJ	261	261	384	503	624	703
	Saída	Óxido nitroso	kg	1.5	1.6	1.8	1.9	1.9
Metano, biogênico		kg	37	40	45	46	46	47
Nitrogênio total, água superficial		kg	50	55	61	62	63	63
Amônia		kg	35	38	43	43	44	44
Fósforo total, água superficial		kg	9.5	10	11	11	12	12
Matéria orgânica, água superficial		kg	544	599	666	680	690	693

Proteína bruta (PB). ^a Transporte da ração (soma das massas dos alevinos, ração PB 32% e ração PB 35%) por cenário avaliado em 700km de distância (ida e volta).

A ocupação de área foi estimada a partir da concentração de peixe de 80kg/m³, em tanques de 1m³/m², e o período de produção de 48 dias em T600g, 85 dias em T900g, 125 dias em T1200g, 164 dias em T1500g, 203 dias em T1800g e 229 dias em T2000g. A evaporação do lago foi considerada a partir da ocupação de área e da taxa de evaporação média de 1,05 m³/ (m² ano). Adotou-se uma perda de 5% dos alevinos na engorda (de 30g até o tamanho da despesca), conforme informação do produtor. Os peixes juvenis de 30g, cada um, foram colocados nos tanques-rede para a recria. A ração 35% PB foi usada na recria até os peixes completarem 100g, com idade de 52 dias. Em seguida, a ração 32% PB foi usada na engorda até os peixes alcançarem o tamanho da despesca (0,6kg a 2,0kg). A demanda de energia elétrica foi informada pelo escritório da piscicultura.

A estimativa da gasolina utilizada no transporte interno da fazenda considerou a rota percorrida com a embarcação no lago da barragem para o manejo e despesca da

tilápia do Nilo nos tanques-rede. A demanda de gasolina foi 8L em T600g, 11L em T900g, 12L em T1200g, 15L em T1500g, 19L em T1800g e 22L em T2000g, considerando uma massa específica de 0,745kg/L e poder calorífico de 42,5MJ/kg.

A emissão de óxido nitroso da produção de tilápia do Nilo foi estimada a partir do método do IPCC (2019) (Equação 1), considerando o EF_{N_2O} de 0,019kg N₂O-N/kg N para a descarga de N em água doce eutrofizada (IPCC 2019). A emissão de metano da produção de tilápia do Nilo foi estimada a partir do método do IPCC (2019) (Equação 2), considerando o EF_{CH_4} de 0,048 kgCH₄/kg DQO para a descarga de matéria orgânica em lago (IPCC 2019).

O inventário de segundo plano das etapas do sistema de produto da tilápia do Nilo considerou a cadeia de produção dos insumos materiais e energéticos, transporte, infraestrutura e tratamento de resíduos dos fornecedores utilizados no inventário de primeiro plano (Tabela A1, Tabela A2 e Tabela A3 do Apêndice). As bases de dados utilizadas no inventário de segundo plano foram a *Ecoinvent*TM versão 3.6 (MORENO-RUIZ *et al.*, 2019) e *Agri-footprint*[®] versão 5.0 (VAN-PAASSEN *et al.*, 2019).

2.3 Categorias Avaliadas

O inventário foi inserido no software *SimaPro* versão 9.1.1.7 para avaliar os potenciais aspectos e impactos ambientais da tilápia do Nilo. As categorias avaliadas foram a ocupação de área, consumo hídrico, demanda energética, aquecimento global, acidificação e eutrofização. As categorias, métodos e unidades dos indicadores utilizados neste estudo são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Categorias de aspecto e impacto ambiental utilizadas neste estudo.

Categoria		Unidade	Método (versão)	Fonte
Aspecto ambiental	Ocupação de área	m ² .ano	Selected LCI Results (1.04)	Frischknecht <i>et al.</i> (2007)
	Consumo de água	m ³	ReCiPe 2016 midpoint, Hierarchist (1.1)	Huijbregts <i>et al.</i> (2017)
	Demanda de Energia Acumulada	MJ	Cumulative Energy Demand (CED) (1.11)	Frischknecht <i>et al.</i> (2003)
Impacto ambiental	Aquecimento Global	kg CO ₂ eq	IPCC 2013, GWP 100 years (1.03)	IPCC (2013)
	Acidificação	kg SO ₂ eq	CML-IA baseline (3.06)	Guinée <i>et al.</i> (2001)
	Eutrofização	kg PO ₄ eq	CML-IA baseline (3.04)	Guinée <i>et al.</i> (2001)

Fonte: Elaboração da autora.

As categorias de ocupação de área, consumo hídrico, aquecimento global, acidificação e eutrofização são utilizadas na comparação do desempenho ambiental de alimentos (POORE; NEMECEK, 2018). A ocupação de área considerou as terras utilizadas na produção de insumos, incubatórios dos alevinos e área superficial do tanque-rede na lagoa para a produção da tilápia do Nilo. O consumo da água considerou o volume de água utilizada na produção de insumos (por exemplo: agricultura irrigada e manufatura), assim como aquela que evapora dos tanques-rede no corpo hídrico (AUBIN *et al.*, 2009). A demanda energética considerou a energia primária (FRISCHKNECHT *et al.*, 2004) utilizada no sistema de produto da tilápia do Nilo. O método de demanda de energia acumulada considera os insumos energéticos incorporados e eficiências de conversão de energia primária (PELLETIER; TYEDMERS, 2010). Ademais, os métodos do IPCC (AUBIN *et al.*, 2009), CML (AUBIN *et al.*, 2009; AVADI *et al.*, 2015; MUNGGKUNG *et al.*, 2013; YACULT *et al.*, 2016) e ReCiPe (AUBIN *et al.*, 2009; AVADI *et al.*, 2015) foram utilizados em ACV de aquicultura. Portanto, os métodos utilizados neste estudo consideraram aqueles mais utilizados na literatura consultada.

2.4 Análise de Sensibilidade

A primeira análise de sensibilidade foi realizada para identificar a influência de diferentes fornecedores de ingredientes da produção de ração com 32% PB nas categorias avaliadas para T600g e T2000g como segue:

- Cenário base: Foi considerado a produção brasileira de soja em grão utilizada nas cadeias produtivas de óleo e farelo de soja, milho em grão, e coprodutos de frango e bovinos utilizados na farinha de carne e ossos;

- S1: A produção brasileira de soja em grão e milho em grão foi substituída pela produção nos estados de Mato Grosso e Rio Grande do Sul, respectivamente, e a produção brasileira de gado foi substituída pela pecuária de gado de corte semi-intensiva a pasto;

- S2: A produção brasileira de soja e milho em grãos foi substituída pela produção nos estados do Paraná e Mato Grosso, respectivamente, e a produção brasileira da pecuária foi substituído pela pecuária intensiva de gado a pasto.

O transporte de mercado entre as unidades de produção e processamento de matéria-prima do cenário base foi mantido nos primeiros cenários de análise de sensibilidade. Os inventários de segundo plano usados no cenário base e nos primeiros cenários de análise de sensibilidade são apresentados no Apêndice A. Além disso, a segunda análise de sensibilidade foi realizada para identificar a influência de diferentes perdas de ração nas categorias avaliadas para T600g e T2000g como segue:

- L-18% (cenário base): Foi considerada uma perda de ração de 18%, no arraçamento (comunicação pessoal);

- L-3,8% (cenário 1): Foi considerada uma perda de ração de 3,8%, no arraçamento (Montanhini Neto e Ostrensky; 2015).

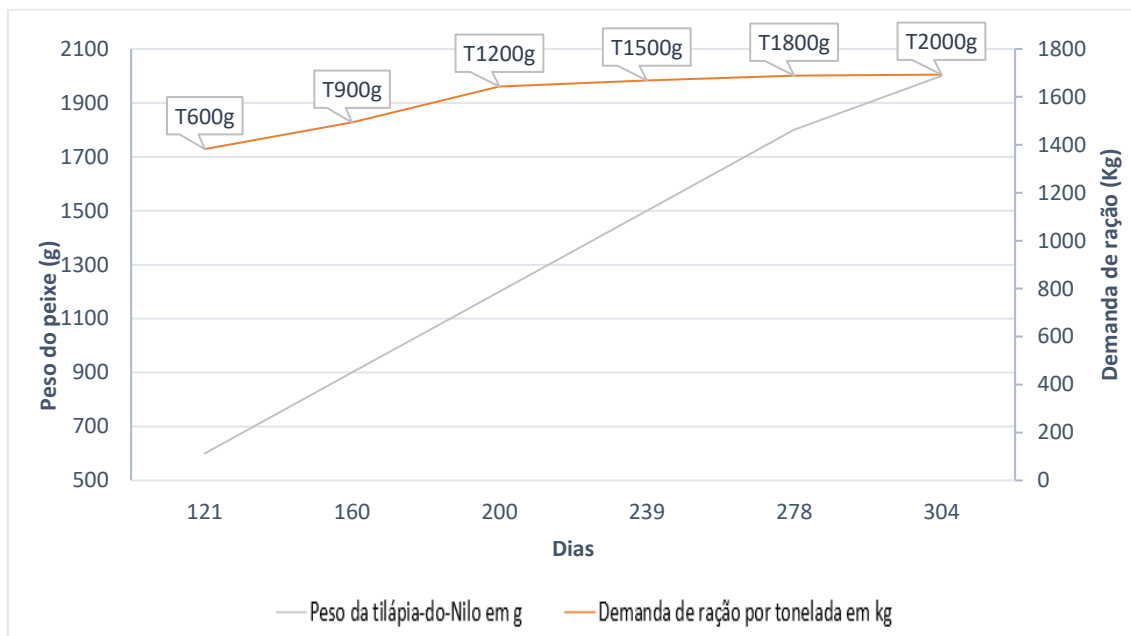
- L-0,5% (cenário 2): Foi considerada uma perda de ração de 0,5%, no arraçamento (Montanhini Neto e Ostrensky;2015).

3 RESULTADOS

3.1 Aspectos e impactos ambientais

A tilápia do Nilo de maior tamanho na despesca demandou mais área ocupada, eletricidade, ração, transporte externo e interno, água, e emitiu mais N e P comparado àquelas de menor tamanho (Tabela 2) devido a seu maior tempo nos tanques-rede na etapa de engorda. A eficiência da conversão alimentar da tilápia do Nilo considerou a relação entre o crescimento da tilápia do Nilo e consumo de ração (Figura 7).

Figura 7 - Comparação do consumo de ração e tempo de produção de 1 tonelada (Mg) de tilápia do Nilo.

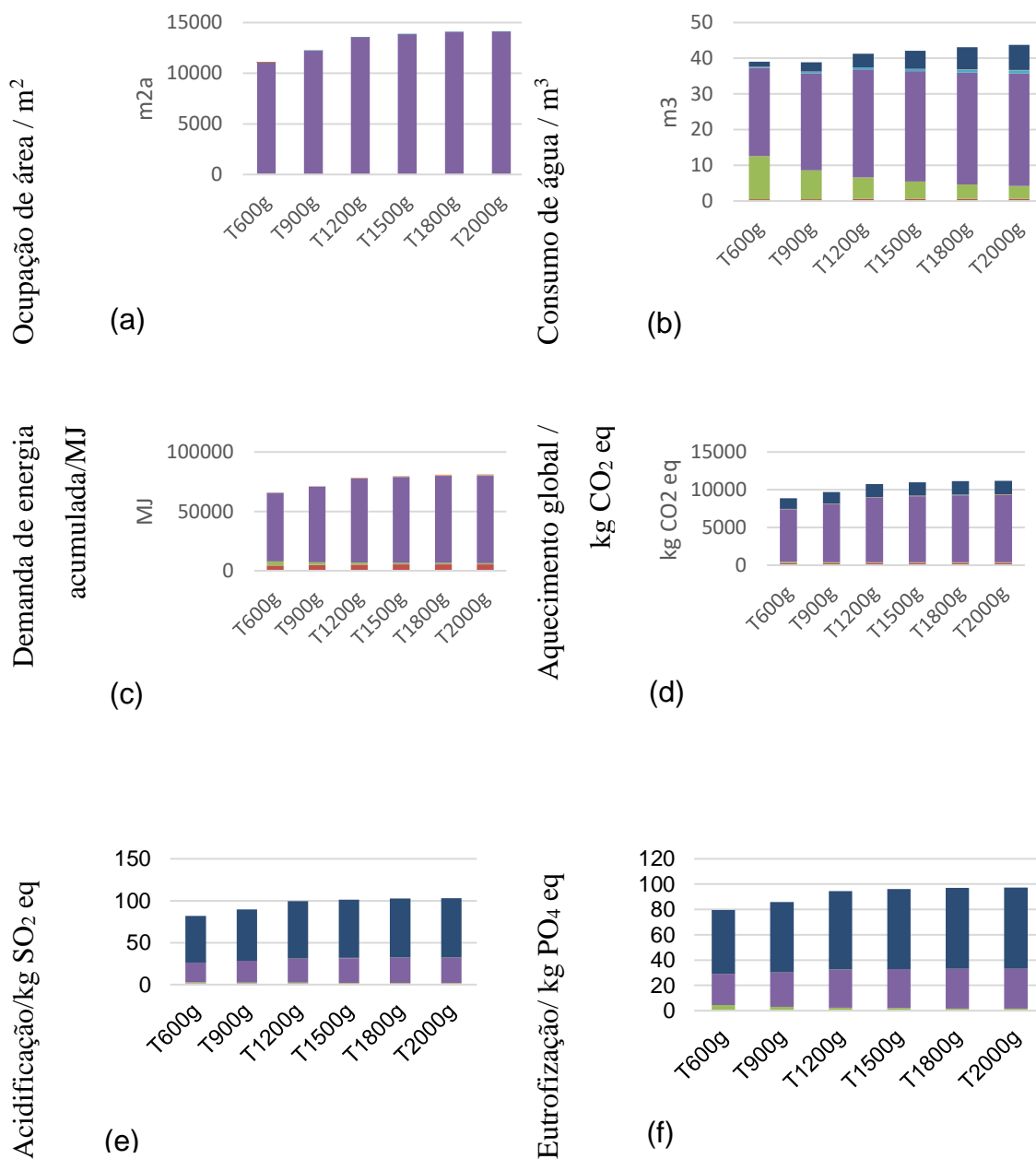


Alevinos de 1g (A 1g); Alevinos de 30g (A 30g).

Fonte: Elaboração da autora.

A eficiência da conversão alimentar da tilápia do Nilo diminuiu com o aumento do seu tamanho, totalizando 1382,3kg em T600g, 1493kg em T900g, 164 kg em T1200g, 1669kg em T1500g, 1689kg em T1800g e 1683kg em T2000g da alevinagem até a despesca, resultando numa conversão alimentar de 1,38 em T600g; 1,51 em T900g; 1,68 em T1200g; 1,71 em T1500g e 1,74 em T2000g. Entretanto, a tilápia do Nilo de maior tamanho na despesca demandou menos alevinos, dos quais os alevinos de 30 g totalizaram 1 754 unidades em T600g, 1170 unidades em T900g, 887 unidades em T1200g, 702 unidades em T1500g, 585 unidades em T1 800g e 526 unidades em T2000g. A Figura 8 apresenta o desempenho da tilápia do Nilo de diferentes tamanhos nas categorias avaliadas.

Figura 8 - Comparação e contribuição do desempenho de 1 tonelada (Mg) da tilápia do Nilo de diferentes tamanhos nas categorias de ocupação de área (a), consumo de água (b), demanda energética (c), aquecimento global (d), acidificação (e) e eutrofização (f).



Cenários avaliados por grupo de contribuição

Legenda:

- Infraestrutura
- Transporte
- Alevinos
- Tilápia, recria e engorda
- Ração
- Eletricidade
- Gasolina

Fonte: Elaboração da autora.

A ocupação de área aumentou 27% de T600g para T2000g (Figura 8a). A maior contribuição da ocupação de área foi a ração (ração de 32% PB e ração de 35% PB) com 99% nos cenários avaliados. O consumo de água apresentou o menor valor no T600g, enquanto o maior valor foi no T2000g (Figura 8b). A ração (ração de 32% PB e ração de 35% PB) da etapa de produção da tilápia do Nilo apresentou a maior contribuição no consumo de água dos cenários avaliados com 61% no T600g, 68% no T900g, 72% no T1200g e no T1500g, 71% no T1800g, e 70% no T2000g; enquanto aquele da produção de alevinos foi 33% no T600g, 23% no T900g, 16% no T1200g, 12% no T1500g, 9% no T1800g e no T2000g.

A demanda energética aumentou 23% de T600g para T2000g (Figura 8c). A maior contribuição da demanda energética foi a ração (ração de 32% PB e ração de 35% PB) com 87% no T600g, 89% no T900g, 90% no T1200g e T1500g, e 91% no T1800g e T2000g, seguida do transporte com 7% nos cenários avaliados.

O aquecimento global aumentou 27% de T600g para T2000 g (Figura 8d). A maior contribuição do aquecimento global foi a ração (ração de 32% PB e ração de 35% PB) com 78% nos cenários avaliados, seguida do metano da degradação anaeróbia da matéria orgânica emitida a partir da etapa de produção de tilápia do Nilo no ambiente aquático com 11% no T600g e 13% nos demais cenários avaliados.

A acidificação aumentou 20% de T600g para T2000g (Figura 8e). A maior contribuição da acidificação foi a amônia emitida a partir da etapa de produção da tilápia do Nilo no lago com 66% no T600g, 68% no T900g, 69% no T1200g, T1500g e T1800g, e 70% no T2000g, seguida da ração (ração de 32% PB e ração de 35% PB) com 26% no T600g e T900g e 27% nos demais cenários avaliados.

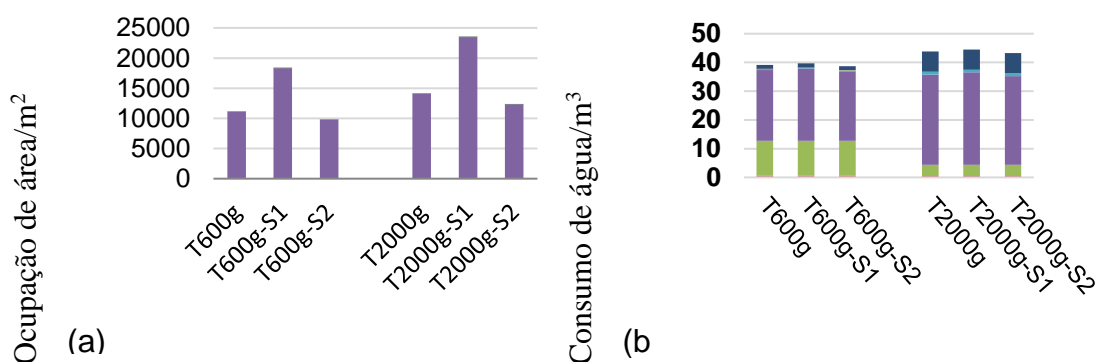
A eutrofização aumentou 24% de T600g para T2000g (Figura 8f). A maior contribuição da eutrofização foi o fósforo total emitido a partir da etapa de produção da tilápia do Nilo no lago com 37% no T600g e 38% nos demais cenários avaliados, seguido do nitrogênio total com 31% e ração (ração de 32% PB e ração de 35% PB) com 28% nos cenários avaliados. Ademais, a maior diferença de desempenho nas categorias avaliadas ocorreu do T600g até o T1200g (Figura 8), que apresentaram as maiores variações de conversão alimentar entre os cenários avaliados da tilápia do Nilo (Figura 7).

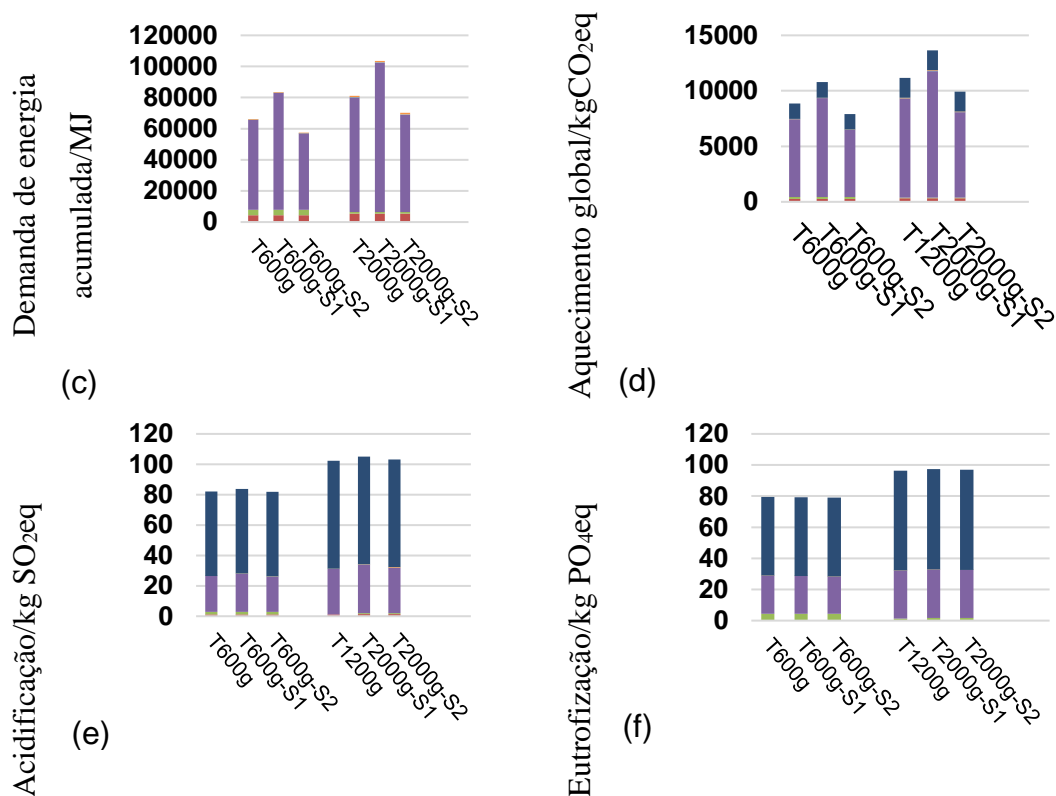
3.2 Análise de Sensibilidade

O desempenho energético e ambiental da produção de tilápia do Nilo é apresentado na primeira análise de sensibilidade para fornecedores de ingredientes alimentares (Fig. 9). A ocupação da área aumentou 66% em T600g-S1 e T2000g-S1 e reduziu 12% em T600g-S2 e T2000g-S2 em relação aos cenários base (Fig. 9 (a)). O consumo de água aumentou 1% em T600g-S1 e T2000g-S1 e reduziu 1% em T600g-S2 e T2000g-S2 em relação aos cenários base (Fig. 9 (b)). A demanda energética aumentou 26% em T600g-S1 e T2000g-S1 e reduziu 14% em T600g-S2 e T2000g-S2 em comparação com os cenários base (Fig. 9 (c)).

O aquecimento global aumentou 22% em T600g-S1 e T2000g-S1 e reduziu 11% em T600g-S2 e T2000g-S2 em comparação com os cenários base (Fig. 9 (d)). A acidificação aumentou 1% em T600g-S1 e T2000g-S1 e reduziu 1% em T600g-S2 e T2000g-S2 em relação aos cenários base (Fig. 9 (e)). Eutrofização reduziu em 1% em T600g-S1, T2000g-S1, T600g-S2 e T2000g-S2 em relação aos cenários base (Fig. 9 (f)). A substituição de fornecedores de ingredientes para rações apresentou variação de até 66% nas categorias avaliadas; assim, a seleção de fornecedores é uma estratégia para melhorar o desempenho energético e ambiental da produção de tilápia do Nilo.

Figura 9 - Desempenho energético e ambiental da produção de 1 tonelada (Mg) de tilápia do Nilo em ocupação de área (a), consumo de água (b), demanda de energia (c), aquecimento global (d), acidificação (e) e eutrofização (f) na primeira análise de sensibilidade para T600g





Cenários avaliados por grupo de contribuição.

Legenda:

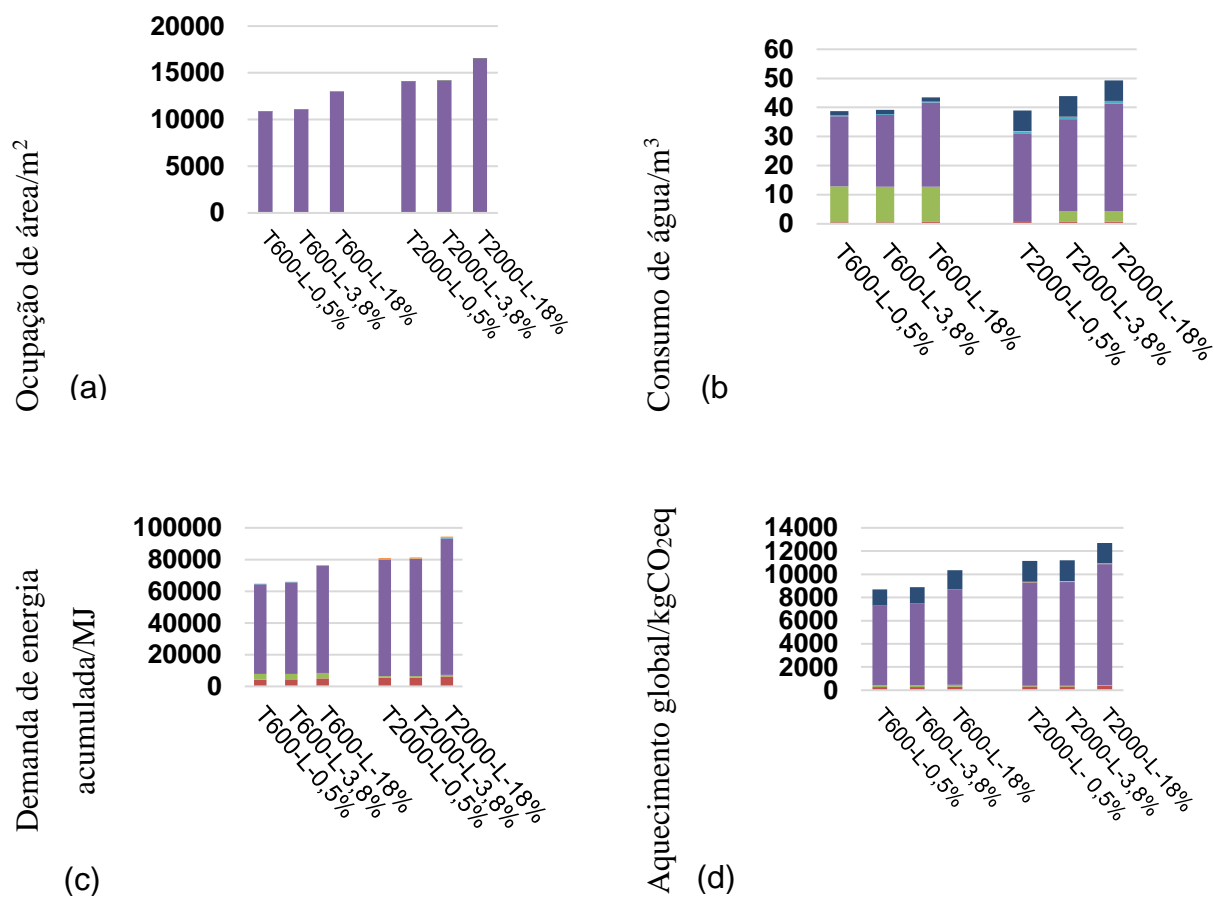


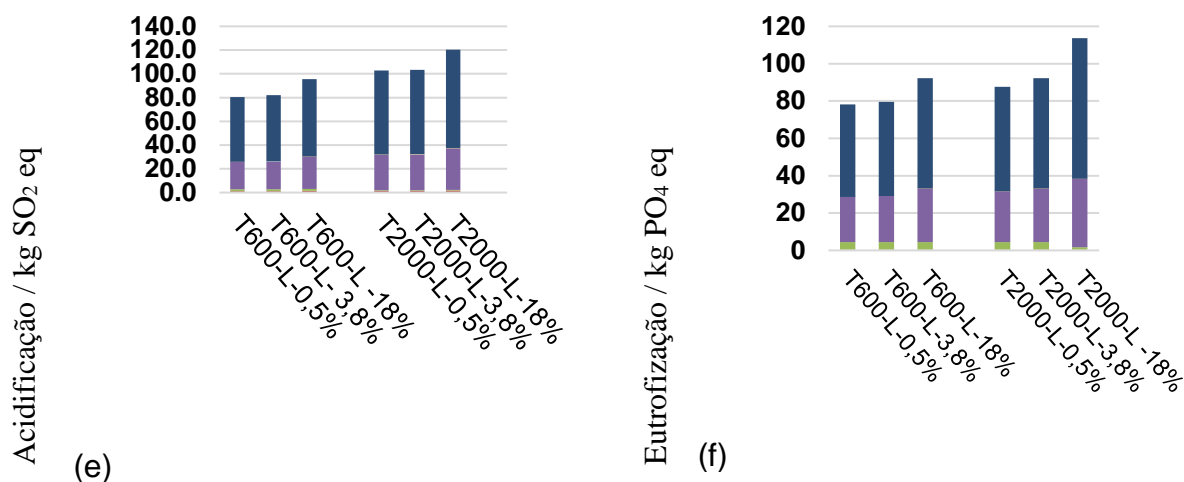
Fonte: Elaboração da autora.

O desempenho energético e ambiental da produção de tilápia do Nilo é apresentado na segunda análise de sensibilidade para perda de ração (Fig. 10). A ocupação de área reduziu 2% em T600-L-0,5% e 0,5% em T2000g-L-0,5%, enquanto aumentou 17% em T600g-L-18% e T2000g-L-18% em relação aos cenários base (Fig. 10(a)). O consumo de água diminuiu 1% no T600g-L-0,5% e 14% no T2000g-L-0,5%, enquanto aumentou 11% no T600g-L-18% e 12% no T2000g-L-18% em relação ao cenários básicos (Fig. 10(b)). A demanda de energia reduziu 2% em T600g-L-0,5% e 1% em T2000g-L-0,5%, enquanto aumentou 15% em T600g-L-18% e 16% em T2000g-L-18% em relação ao cenários de base (Fig. 10 (c)).

O aquecimento global reduziu 2% em T600g-L-0,5% e 1% em T2000g-L-0,5%, enquanto aumentou 16% em T600g-L-18% e 13% em T2000g-L-18% em relação à base cenários (Fig. 10 (d)). A acidificação reduziu 2% em T600g-L-0,5% e 1% em T2000g-L-0,5%, enquanto aumentou 16% em T600g-L-18% e T2000g-L-18% em relação aos cenários base (Fig. 10(e)). A eutrofização reduziu 2% em T600g-L-0,5% e 5% em T2000g-L-0,5%, enquanto aumentou 16% em T600g-L-18% e 23% em T2000g-L-18% em relação à base cenários (Fig. 10(f)). A ração para peixes foi um dos insumos que apresentou as maiores contribuições nas categorias avaliadas, sendo assim, o controle da perda de ração é uma estratégia para melhorar o desempenho energético e ambiental da produção de tilápia do Nilo.

Figura 10 - Desempenho energético e ambiental da produção de 1 tonelada (Mg) de tilápia do Nilo em ocupação de área (a), consumo de água (b), demanda de energia (c), aquecimento global (d), acidificação (e) e eutrofização (f) na segunda análise de sensibilidade para T600g





Cenários avaliados por grupo de contribuição.

Legenda:



Fonte: Elaboração da autora.

4 Discussão

O desempenho da tilápia do Nilo neste estudo (cenários T600g e T2000g) foi comparado com o da literatura consultada (Tabela 5). A comparação dos valores dos indicadores por categoria avaliada deve ser feita com cautela devido á diferenças no limite do sistema, suposições, inventário de primeiro e segundo plano, qualidade dos dados, método de avaliação e software. Observa-se uma diferença entre os valores dos indicadores das categorias avaliadas para os modos de produção com diferentes tipos de peixes. O aquecimento global foi a categoria mais avaliada entre os estudos da literatura consultada (Tabela 5).

Tabela 5 - Comparação do desempenho de 1 tonelada (Mg) de peixe nas categorias de ocupação de área, consumo de água, demanda energética, aquecimento global, acidificação e eutrofização deste estudo com a literatura relevante.

Estudo	Espécie de peixe	Tecnologia de produção	CA	DE	AG	AC	EU	
			m ³ /t	MJ/t	kg CO ₂ eq/t	kg SO ₂ eq/t	kg PO ₄ eq/t	
Este estudo	T600g	Tilápia do Nilo	Tanque-rede	36	61 259	9 638	90	73
	T2000g			41	75 241	12	108	91
			133					

Avadí e Vázquez-Rowe (2019)	RLA	Tilápia	Tanque escavado	4 003	68 326	3 657	-	-
	RoW	Tilápia	Tanque escavado	3 964	85 481	5 429	-	-
	RLA	Truta	Tanque-rede	15 002	30 210	1 985	-	-
	RoW	Truta	Tanque-rede	15 003	30 172	1 940	-	-
Yacout <i>et al.</i> (2016)		Tilápia	Viveiro	-	52 800	960	9,8	14
					MJ eq			
MungKung <i>et al.</i> (2013)		Carpa e tilápia	Tanque-rede (alta densidade)	877	31 000	1 900	15	122
		Carpa e tilápia	Tanque-rede (baixa densidade)	800	31 000	2 025	15	146
Pongpat e Tongpool (2013)		Tilápia	Tanque-rede	-	-	2 960	40,8	-
		Catfish	Viveiros	-	-	1 010	9,3	-
Aubin <i>et al.</i> (2009)		Robalo	Tanque-rede	48	54	3 601	25	108
		Truta	Raceway	52	78	2 753	19	65
		Pregado	Recirculação	4,8	290	6 017	48	76
d'Orbcastel <i>et al.</i> (2009)		Truta	Raceway (baixo bombeamento)	98	34	2 015	13	28

Consumo de água (CA); demanda energética (DE); aquecimento global (AG); acidificação (AC); e eutrofização (EU); Região da América Latina (RLA); Resto do mundo (RoW); ^a Inventário do EcoinventTM versão 3.6 no Simapro 9.1.1.7.

4.1. Produção da ração

A alimentação de peixes é composta por ingredientes de origem vegetal, como glúten de milho, farelo de trigo, farelo de soja e subprodutos de aves e bovinos (BERGMAN *et al.*, 2020) como fonte de proteínas, lipídios e energia para o cultivo dos peixes (CHEN *et al.*, 2020).

Nesse sentido, o desempenho energético e ambiental da ração para peixes é influenciado pela fonte dos ingredientes e pela composição da ração (PELLETIER e TYEDMERS, 2008) . Neste estudo, as tilápias-do-Nilo foram alimentadas, predominantemente, com ração com 32% de PB.

A produção de ração foi apontada como a principal causa do desempenho energético e ambiental, que apresentou a maior contribuição para ocupação de área (95%), consumo de água (61-70%), demanda de energia acumulada (87-91%), aquecimento global (87%), enquanto a produção de tilápia do Nilo apresentou a maior contribuição para acidificação (66-70%) e eutrofização (63-72%) nos cenários avaliados (de T600g a T2000g). A ração foi a principal contribuinte para o desempenho energético e ambiental da piscicultura (AUBIN *et al.*, 2009; AVADÍ *et al.*, 2015; AYER E TYEDMERS, 2009; MUNGGKUNG *et al.*, 2013; PELLETIER E TYEDMERS, 2010 ; PELLETIER *et al.*, 2009). Assim, a escolha do fornecedor de ração, conforme demonstrado na primeira análise de sensibilidade, deve ser considerada para melhorar o

desempenho energético e ambiental da piscicultura. Além disso, a composição da ração influencia na ocupação de área para produção agrícola, o consumo de água para irrigação, juntamente com as emissões que afetam a acidificação e a eutrofização (AUBIN *et al.*, 2009). Além do impacto gerado durante a produção de peixes, a alimentação de grandes quantidades de concentrados de proteína animal nas dietas aumenta o impacto ambiental (GHASEMPOUR e AHMADI, 2018).

Neste estudo, o aquecimento global foi de 9.638 kgCO₂eq para produção de tilápia do Nilo em T600g e 12.133 kgCO₂eq em T2000g, sendo a ração a principal contribuinte. Wilfart *et al.* (2013) encontraram um impacto da mudança climática de 8.585 kgCO₂eq na produção de salmão, em sistema de recirculação de água, devido, principalmente, ao uso de energia no sistema de produção (83%) e alimentação (13%). Neste trabalho, a maior contribuição para o aquecimento global é a produção de ração. Neste estudo, a emissão de excretas de peixes e a decomposição de matéria orgânica apresentaram as maiores contribuições (68%) para a acidificação, enquanto o transporte de insumos representou 10 a 17%.

Diante disso, ingredientes da ração provenientes de fontes mais limpas, racionalização no manejo alimentar na piscicultura e maior eficiência na conversão alimentar contribuem para a sustentabilidade na piscicultura. Além disso, o transporte de ingredientes da ração por longas distâncias está associado aos impactos das mudanças climáticas e da acidificação (MUNGKUNG *et al.*, 2013). Assim, para melhorar a sustentabilidade da produção, é necessário substituir o uso de farinha de peixe por insumos proteicos de origem vegetal produzidos próximo à piscicultura, a fim de reduzir o impacto na eutrofização, na demanda de energética e no aquecimento global (MUNGKUNG *et al.*, 2013). Além da estratégia alimentar, os ingredientes da ração e a distância de transporte dos insumos da piscicultura também impactam o desempenho ambiental da piscicultura.

A fonte de ingredientes da ração e a eficiência da conversão alimentar são indicadores-chave no desempenho da piscicultura. Ingredientes de origem vegetal tendem a demandar menos energia e recursos ambientais do que os de origem animal (BERGMAN *et al.*, 2020). Rações para tilápia do Nilo à base de ingredientes vegetais como farelo de soja, farelo de arroz e farelo de trigo ajudam a reduzir as cargas energéticas e ambientais, principalmente no aquecimento global e na eutrofização, mas aumentam a demanda de uso da área em relação aos ingredientes de origem animal (BERGMAN *et al.*, 2020). Uma ração altamente digestível aumenta a eficiência da conversão alimentar

com maior incorporação de nutrientes nos peixes (AUBIN *et al.*, 2009; IRIBARREN *et al.*, 2012; MUNGKUNG *et al.*, 2013) e menor carga de fezes na água (MUNGKUNG *et al.*, 2013). Nesse sentido, dietas para peixes com proporção adequada entre proteína, energia e balanço otimizado de aminoácidos essenciais, baseadas na utilização de ingredientes mais digestíveis e palatáveis que atendam às necessidades das espécies de peixes em cada fase de produção (MONTANHINI NETO e OSTRENSKY, 2015), devem ser consideradas para melhorar a eficiência da conversão alimentar e reduzir o impacto ambiental.

4.2. Produção de peixe

A produção de tilápia do Nilo em tanques-rede, neste estudo, apresentou um menor consumo de água em relação à maioria da literatura consultada, embora tenha apresentado maior acidificação e eutrofização (Tabela 5). De acordo com MUNGKUNG *et al.* (2013), a produção combinada de tilápia e carpa em tanque-rede exigiu 877 e 800 m³ de água por tonelada, cujas contribuições foram de 71% na produção de ração, 19% na produção de peixes (fluxo de água pelas gaiolas) e 10% na produção de alevinos. WILFART *et al.* (2013), estudando o cultivo de salmão em sistema de recirculação, teve um consumo de água de 2.500m³ por tonelada de peixe, cuja produção de pescado contribuiu com 95%. O baixo consumo de água nos cenários avaliados neste estudo deve-se à baixa demanda hídrica dos ingredientes da ração da agricultura predominantemente não irrigada no Brasil (SILVA *et al.*, 2019) e à baixa evaporação da água da superfície dos tanques-rede.

Segundo Abdou *et al.* (2017), a produção de dourada emitiu 3669KgCO₂eq e robalo 3182KgCO₂eq, influenciada principalmente pela produção de rações (2517 e 2463KgCO₂eq, respectivamente), com um contributo de 69% e 77%, respectivamente, e uma contribuição para a produção de alevinos de 17% e 8%, respectivamente. Neste estudo, a tilápia do Nilo em T600g emitiu 9.638 KgCO₂eq, sendo 78% da produção de ração, seguida pela produção de tilápia do Nilo com 11%. Essa grande contribuição da ração no aquecimento global se deve aos ingredientes e insumos energéticos utilizados na produção da ração. Além disso, entre as variáveis zootécnicas de maior impacto, a taxa de conversão alimentar está diretamente relacionada à excreção de resíduos sólidos e solúveis (EL-ARABY *et al.*, 2020; GULE e GEREMEW, 2022).

Segundo Abdou *et al.* (2017), a produção em tanque-rede de robalo e dourada teve um potencial médio de acidificação de 20 kgdeSO₂eq. O potencial de acidificação

foi maior para a alimentação (70% e 80% para dourada e robalo, respetivamente), seguido da produção de alevinos (20% e 10%, respetivamente). A acidificação foi de 90 KgSO₂eq em T600g e 108 kgSO₂eq em T2000g, este alto valor na acidificação é devido à baixa retenção de N e P pela tilápia do Nilo neste estudo, o que resulta em 66% de P e 65% de N emissões para o meio aquático a partir da ração ingerida.

Nos trabalhos de Abdou *et al.* (2017) , a eutrofização foi maior para a dourada (99KgPO₄eq) do que para o robalo (91KgPO₄eq), ambos produzidos em tanques-rede, a dourada teve uma maior eutrofização por ser um peixe carnívoro e requerer maior quantidade de ingredientes de origem animal na ração. A maior contribuição para a eutrofização foi na produção de peixes (90% para ambas as espécies) devido às emissões diretas de N e P no ambiente, seguida de 8% na produção de ração para ambas as espécies. Em T600g, a eutrofização por tonelada de peixe foi de 73 kgPO₄eq, sendo que a produção de pescado apresentou a maior contribuição para a eutrofização (81%) devido à emissão direta de nutrientes no ambiente, seguida pela produção de ração (12%). A tilápia do Nilo é um peixe onívoro e requer menor concentração de proteína bruta na alimentação em comparação com a espécie carnívora, o que contribuiu para a redução da carga de nutrientes emitida para o corpo d'água.

Em uma análise do desempenho ambiental da produção intensiva de *Pangasius*, em tanques, em sistema certificado (norma ASC, imposta pela União Europeia) e outro não certificado. A produção de *Pangasius* em sistema certificado controla o uso de ração e água até um máximo de 1,69 tonelada de ração e 5.000 m³ de água por tonelada de *Pangasius* (NHU *et al.*, 2016) , enquanto neste estudo a demanda de ração variou em 1,38-1,74 Mg e a demanda de água variou de 36-41 m³ por tonelada de tilápia do Nilo. No entanto, as emissões de nitrogênio e fósforo para o corpo d'água variaram em 50-63kg e 9,5-12kg, respetivamente, que estão acima dos limites estabelecidos para as certificações *Pangasius* com máximo de 27,5kg de N e 7,2kg de P por tonelada de *Pangasius* (NHU *et al.*, 2016). Segundo os referidos autores, uma estratégia utilizada para cumprir o limite de emissão de nutrientes na produção certificada de *Pangasius* é o uso de água e efluentes sedimentados na agricultura local.

4.2. Oportunidades e desafios

Os desafios mais críticos para a produção de tilápia do Nilo em tanques-rede são os impactos da acidificação e eutrofização. Embora, a produção de peixes em tanques

com sistema de recirculação de água possa reduzir esses impactos, a demanda energética e os valores indicadores de aquecimento global tendem a aumentar (BERGMAN *et al.*, 2020). A produção multitrófica é uma alternativa para reduzir os impactos da piscicultura em tanques-rede. Em ambiente marinho, é uma rotina o cultivo de moluscos e algas nas proximidades das produções de peixes (FOSSBERG *et al.*, 2018; VAN OSCH *et al.*, 2017). Por outro lado, estudos recentes indicam que as algas de água doce possuem características promissoras para a indústria de cosméticos, o que gera um potencial econômico para cultivo multitrófico delas juntamente com espécies como a tilápia (MESSYASZ *et al.*, 2015; PANKIEWICZ *et al.*, 2016).

Uma ração balanceada e fornecida em quantidade adequada para a espécie produzida reduz as perdas de ração e as emissões de nutrientes das excretas dos peixes, principalmente nitrogênio e fósforo para a água. A identificação e utilização de ingredientes com menos carga energética e ambiental contribui para a redução da eutrofização na produção de rações (PELLETIER e TYEDMERS, 2010).

O sistema de produção multitrófico é um método de produção que auxilia na melhoria do desempenho ambiental da produção de peixes em tanques-rede. Henry-Silva *et al.* (2015) identificaram a viabilidade para o cultivo multitrófico da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e do camarão amazônico (*Macrobrachium amazonicum*) em água salobra. Cunha *et al.* (2019) observaram vantagens na produção integrada de corvina e ostra devido ao aproveitamento de sobras de ração e excrementos de peixe pela ostra, o que aumenta a lucratividade e reduz o impacto ambiental. Nesse sentido, o cultivo integrado com organismos capazes de aproveitar os nutrientes residuais excretados pelos peixes é recomendado para aumentar a produtividade e rentabilidade do sistema de produção, reduzindo os impactos ambientais (HENARES *et al.*, 2020).

A aquaponia é um tipo de aquicultura integrada, onde o efluente que sai da piscicultura é utilizado para a produção de hortaliças, sem o uso do solo, podendo ser implantado até mesmo em áreas urbanas (OLIVEIRA e SANTOS, 2015). Na aquaponia, a principal entrada de nutrientes no sistema de produção é a alimentação, onde o efluente rico em nutrientes gerado na produção de peixes, contendo amônia e fezes, é direcionado para a produção vegetal. Nesse sistema, a descarga de efluentes é reduzida a quase zero. De acordo com Chen *et al.* (2020), a produção de tilápia no sistema de aquaponia apresentou produtividade equivalente à do sistema de recirculação. A aquaponia é uma tecnologia emergente que auxilia no aumento da eficiência no uso de água e nutrientes e na produtividade, porém, requer uma demanda energética maior em comparação com as

práticas convencionais (CHEN *et al.*, 2020) . Portanto, mais pesquisas devem ser realizadas para identificar o potencial de diferentes estratégias para ganhos energéticos e ambientais na produção de peixes.

5 CONCLUSÃO

A avaliação do ciclo de vida (ACV) da produção de tilápia do Nilo foi realizada para identificar o desempenho energético e ambiental de diferentes tamanhos de peixes no abate, de 0,6kg a 2,0kg cada, e as principais contribuições nas categorias avaliadas. A produção de peixes de menor tamanho apresentou vantagens na eficiência de conversão alimentar e no desempenho energético e ambiental em relação ao de maior tamanho. A maior contribuição na ocupação de área, consumo de água, demanda de energia e aquecimento global foi da produção de ração, enquanto a da acidificação e eutrofização foi a produção de pescado nos processos de recria e engorda. Nesse sentido, a escolha adequada do fornecedor de ingredientes da ração e o controle das perdas de ração, analisados neste estudo, juntamente com a maior eficiência de conversão alimentar e o uso do efluente da produção de pescado, são estratégias-chave para melhorar a ecoeficiência da produção de tilápia do Nilo.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem ao Sr. Wagner Camis, pela disponibilização dos dados da produção pesqueira. Os autores agradecem à *PRé Sustainability* pela licença do software *SimaPro*[®] para a Universidade Federal da Bahia e à Associação *ecoinvent* pela licença para o banco de dados de inventário, ambos em nome da *ACVBRASIL*. Este estudo foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – Brasil (FAPESB) – Termo N° BOL2514/2016.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDOU, K. *et al.* Environmental assessment of seabass (*Dicentrarchus labrax*) and seabream (*Sparus aurata*) farming from a life cycle perspective: A case study of a Tunisian aquaculture farm. **Aquaculture**. v. 471, p.204-212, 2017.

AUBIN, J. *et al.* Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**. v. 17. 2009, p. 354-361, 2009.

AVADI, A. *et al.* Comparative environmental performance of artisanal and commercial feed use in Peruvian freshwater aquaculture. **Aquaculture**. v. 435, p.52–66, 2015.

AVADÍ, A.; VÁZQUEZ-ROWE, I. Life Cycle Inventories of Wild Capture and Aquaculture. **Zürich: Ecoinvent Association**, 2019.

AYER, N. W.; TYEDMERS, P. H. Assessing alternative aquaculture technologies: life cycle assessment of salmonid culture systems in Canada. **Journal of Cleaner Production**. v. 17, p.362–373, 2009.

BOHNES, F. A.; LAURENT, A. LCA of aquaculture systems: methodological issues and potential improvements. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 24, n. 2, 324-337, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11367-018-1517-x>.

BULLOCK, C. *et al.* A solid chemical oxygen demand (COD) method for determining biomass in waste waters. **Water Research**, v. 30, p. 1280-1284, 1996.

CAO, L. *et al.* Life Cycle Assessment of Chinese Shrimp Farming Systems Targeted for Export and Domestic Sales. **Environ. Sci. Technol.** v. 45, p. 6531-6538, 2011.

D'ORBCASTEL, E. R.; BLANCHETON, J-P.; AUBIN, J. Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. **Aquacultural Engineering**, v. 40, p. 113-119, 2009.

DIANA J. S. Aquaculture Production and Biodiversity Conservation. **Bioscience**, v. 59:27–38, 2009. DOI: 10.1525/bio.2009.59.1.7.

EC-JRC | JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION | Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook- **Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context**. First Edition, Luxembourg: Publications Office of the European Union. 159p., 2010.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in action**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020.

FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2020: Transforming food systems for affordable healthy diets**. Rome, Rome, New York, Rome, New York: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Fund for Agricultural Development (IFAD), United Nations

Children's Fund (UNICEF), World Food Programme (WFP) and World Health Organization (WHO), 2020. FRISCHKNECHT R., JUNGBLUTH N., et.al. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report Ecoinvent 2 000, Swiss Centre for LCI. Duebendorf, CH, 2003.

FERREIRA, H. A. Q. **Produção integrada de Corvinas (*Argyrosomus regius*) e ostras (*Crassostrea gigas*) em tanques de terra**. 73p. Dissertação (Mestrado). Instituto Politécnico de Leiria. Escola Superior de Turismo e Tecnologia do Mar. Peniche, 2017.

FRISCHKNECHT R.; JUNGBLUTH N. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. **Final report Ecoinvent 2 000**, Swiss Centre for LCI. Duebendorf, CH, 2003.

FRISCHKNECHT, R. *et al.* **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods** (Version 1.1). Eco- Invent Report No. 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, p. 116, 2004

FRISCHKNECHT, R. *et al.* **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0**. Ecoinvent report, n. 3, Swiss centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland, 2007

FUKASE, E.; MARTIN, W. Economic Growth, Convergence, and World Food Demand and Supply. **Policy Research Working Paper**, v. 8257. Washington D.C.: World Bank Group, 2017.

GRONROOS, J. *et al.* Life cycle assessment of Finnish cultivated rainbow trout. **Boreal Environment Research**. v. 11, p. 401-414, 2006

GUINÉE, J. B. *et al.* **Handbook on Life Cycle Assessment, Operational guide to the ISO standards** Volume 1, 2a, 2b and 3, 2001.

GUINÉE, J. B., *et al.* **Handbook on Life Cycle Assessment**. An Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 692, 2002.

GUINEE, J. B. *et al.* **Handbook on Life Cycle Assessment, Operational guide to the ISO standards**, v. 1, 2a, 2b and 3, 2001.

HENRY-SILVA, G. G. *et al.* Integrated multi-trophic culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum*) in brackish water. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v. 67, n. 1, p.265- 273, 2015.

HUIJBREGTS, M. A. J. *et al.* ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. **Int J Life Cycle Assess.** 22: 138, 2017.

IPCC. **Refinement to the 2006**: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: v. 5 (Waste). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.

ISO. ISO 14040:2006 | Environmental management | Life cycle assessment | Principles and framework. Geneva, Switzerland. 2006a

ISO. ISO 14044:2006 | Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. Geneva, Switzerland. 2006b

MONTANHINI NETO, R.; OSTRENSKY, A. Nutrient load estimation in the waste of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* (L.)) reared in cages in tropical climate conditions. **Aquaculture Research**. v. 46, p.1309- 1322, 2015. doi: 10.1111/are. 12280.

MORENO-RUIZ, E. *et al.* **Documentation of changes implemented in Ecoinvent database v3.6**. Ecoinvent Association: Zürich, 2019.

MUNGKUNG, R. *et al.* Life Cycle Assessment for environmentally sustainable aquaculture management: a case study of combined aquaculture systems for carp and tilapia. **Journal of Cleaner Production**. v. 57, p. 249-256, 2013.

NHU, T. T. *et al.* Environmental impact of non-certified versus certified (ASC) intensive Pangasius aquaculture in Vietnam, a comparison based on a statistically supported LCA. **Environmental Pollution**. v. 219, p. 156-165, 2016. doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.006

OLIVEIRA, E. G.; SANTOS, F. J. Piscicultura e os desafios de produzir em regiões com escassez de água. **Ciência Animal**, v. 1, n. 25, 2015.

OTTINGER M, CLAUSS K, KUENZER C. Aquaculture: Relevance, distribution, impacts and spatial assessments. **A review. Ocean Coast Manag.** v. 119, p. 244–266, 2016. doi: 636 10.1016/j.ocecoaman. 2015.10.015.

PELLETIER, N.; TYEDMERS, P. Feeding farmed salmon: Is organic better? **Aquaculture**. v. 272, n. 1–4, p.399–416, 2007.

PELLETIER, N.; TYEDMERS, P. Life cycle considerations for improving sustainability assessments in seafood awareness campaigns. **Environmental Management**. v. 42, n. 5, p.918–41, 2008.

PELLETIER, N.; TYEDMERS, P. Life Cycle Assessment of Frozen Tilapia Fillets From Indonesian Lake-Based and Pond-Based Intensive Aquaculture Systems. **Journal of Industrial Ecology**. v. 14, n. 3, 2010.

PELLETIER, N. *et al.* Not All Salmon Are Created Equal: Life Cycle Assessment (LCA) of Global Salmon Farming Systems. **Environ. Sci. Technol.** v. 43, p. 8730–8736, 2009.

PETROSKI, L. P. S. Avaliação do ciclo de vida na produção de alevinos de espécies tropicais continentais. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2016.

PONGPAT, P.; TONGPOOL, P. Life Cycle Assessment of Fish Culture in Thailand: Case Study of Nile Tilapia and Striped Catfish. **International Journal of Environmental Science and Development**. v. 4, n. 5, 2013.

POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. **Science**, v. 360, n. 6392, p. 987–992, 2018.

ROSS, E. *et al.* Can carbon footprint serve as an indicator of the environmental impact of meat production? **Ecological Indicators**, v. 24, p. 573-581, 2013.

UGAYA, C. M. L.; ALMEIDA NETO, J. A.; FIGUEIREDO, M. C. B. de. Rede de Pesquisa de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida. Recomendação de modelos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida para o contexto brasileiro/RAICV. Brasília, DF: Ibict, 2019. 165 p.

UN. World Population Prospects The 2017 Revision Key Findings and Advance Tables. 704 New York, USA. 2017

VAN-PAASSEN, M.; BRACONI, N.; KULING, L.; DURLINGER, B.; GUAL, P. **Agri-footprint 5.0**, Part 2: Description of data. Gouda: Blonk Consultants, 2019.

WILFART, A. *et al.* LCA and emergy accounting of aquaculture systems: towards ecological intensification. **Journal of Environmental Management**, v. 121, p. 96- 109, 2013.

YACOUT, D. M. M., SOLIMAN, N. F., YACOUT, M. M. Comparative life cycle assessment (LCA) of Tilapia in two production systems: semi-intensive and intensive. **J Life Cycle Assessment**. v. 21, p.806–819, 2016.

7 APÊNDICE

Tabela A1 - Caracterização da qualidade do inventário de primeiro plano e fonte do inventário de segundo plano da produção de ração para a tilápia do Nilo.

Parâmetro	Incerteza básica	Pontuação pedigree	Dados de segundo plano
Fábrica de ração	1,05	2,1,1,1,1	Oil mill {GLO} market for Cut-off, S ^a
Trigo, grão	1,05	2,1,1,1,1	Wheat grain, dried, at farm/BR Mass ^b
Milho, grão ^c	1,05	2,1,1,1,1	Maize grain {BR} market for maize grain Cut-off, S ^a
Soja ^c		2,1,1,1,1	
Óleo	1,05	2,1,1,1,1	Soybean oil, refined {BR*} soybean oil refinery operation Cut-off, U ^a
Farelo	1,05	2,1,1,1,1	Soybean meal {BR} market for soybean meal Cut-off, S ^a
Coproduto animal ^c			
Farinha de víscera de ave	1,05	2,1,1,1,1	Chicken co-product, feed grade, at slaughterhouse/BR* Mass ^b
Farinha de pena de ave	1,05	2,1,1,1,1	Chicken co-product, other, at slaughterhouse/BR* Mass ^b
Farinha de carne e osso	1,05	2,1,1,1,1	Beef co-product, feed grade, at slaughterhouse/BR* Mass ^b
Sal comum	1,05	2,1,1,1,1	Sodium chloride, powder {GLO} market for Cut-off, S ^a
Ácido Propiônico, antifúngico	1,05	2,1,1,1,1	Propionic acid {RoW} production Cut-off, S ^a
Suplemento vitamínico e mineral para peixe	1,05	2,1,1,1,1	Chemical, organic {GLO} market for Cut-off, S ^a
Transporte rodoviário, caminhão	2,00	2,1,1,1,1	Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, S ^a
Eletricidade	1,05	2,1,1,1,1	Electricity, low voltage {BR} market group for electricity, low voltage Cut-off, S ^a
Diesel, queimado	1,05	2,1,1,1,1	Diesel, burned in agricultural machinery {GLO} market for diesel, burned in agricultural machinery Cut-off, S ^a
Calor, madeira queimada	1,05	2,1,1,1,1	Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW} heat production, hardwood chips from forest, at furnace 1000kW Cut-off, S ^a

Processo adaptado para o Brasil (BR*); ^a Ecoinvent versão 3.6; ^b Agrifootprint versão 5.0; ^c Fornecedores considerados na análise de sensibilidade.

Fonte: Elaboração da autora.

O inventário do fornecedor de óleo refinado dos Estados Unidos (*Soybean oil, refined {US} soybean oil refinery operation, Cut-off, U*) foi adaptado para o Brasil (BR*) a partir do fornecedor de óleo bruto (*Soybean oil, crude {BR}| soybean meal and crude oil production - Cut-off, S*), água (*Tap water {BR}| market for tap water - Cut-off, S*), eletricidade (*Electricity, medium voltage {BR}| market group for electricity, medium voltage - Cut-off, S*).

O inventário do fornecedor de coprodutos de frango da Holanda (NL) foi adaptado para o Brasil (BR*). A ração de frango (*Broiler compound feed, at processing/NL Mass*) considerou os ingredientes brasileiros (*Maize grain {BR}| market for maize grain - Cut-off, S; Wheat grain, dried, at farm/BR Mass; Soybean meal {BR}| market for soybean meal | Cut-off, S*) em farelo de soja e de canola; e Electricity, low voltage {BR}| market group for electricity, low voltage | Cut-off, S). A produção do frango (*Broiler fattening, at farm/NL Mass*) considerou os insumos brasileiros (*Broiler compound feed, at processing/BR* Mass e Electricity, low voltage {BR}| market group for electricity, low voltage - Cut-off, S*). O frigorífico do frango (*Chicken co-product, feed grade, at slaughterhouse/NL Mass e Chicken co-product, other, at slaughterhouse/NL Mass*) consideraram os insumos brasileiros (*Broiler fattening, at farm/BR* Mass e Electricity, low voltage {BR}| market group for electricity, low voltage - Cut-off, S*).

O inventário do fornecedor de coprodutos de gado da região europeia (IE) foi adaptado para o Brasil (BR*). O frigorífico de gado (*Beef co-product, feed grade, at slaughterhouse/IE Mass e Beef co-product, feed grade, at slaughterhouse/IE Mass*) considerou os insumos brasileiros (*Cattle for slaughtering, live weight {BR}| market for cattle for slaughtering, live weight - Cut-off, S e Electricity, low voltage {BR}| market group for electricity, low voltage - Cut-off, S*).

Os inventários utilizados na análise de sensibilidade a partir de diferentes fornecedores são apresentados a seguir:

- a) O inventário do mercado de soja em grão do Brasil (*Soybean {BR} - market for soybean - Cut-off, U*, excluído o transporte) da cadeia de produção do farelo de soja (*Soybean meal {BR} - market for soybean meal - Cut-off, U*) e óleo de soja (*Soybean oil, crude {BR} - soybean meal and crude oil production - Cut-off, S*) foi substituído por aquele dos fornecedores dos estados de Mato Grosso (*Soybean {BR-MT} - soybean production - Cut-off, S*) e Paraná (*Soybean {BR-PR} - soybean production - Cut-off, S*);
- b) O inventário do mercado da pecuária do Brasil (*Cattle for slaughtering, live weight {BR} market for cattle for slaughtering, live weight - Cut-off, U*, excluído o transporte) da cadeia de produção de coprodutos de gado (*Beef co-product, feed grade, at slaughterhouse/BR* Mass*) foi substituído por aquele

dos fornecedores de gado de corte a pasto, em sistema semi-intensivo (*Cattle for slaughtering, live weight {BR} - beef cattle production on pasture - Cut-off, S*) e gado de corte a pasto, em sistema intensivo (*Cattle for slaughtering, live weight {BR} - intensive beef cattle production on pasture - Cut-off, S*).

Tabela A2 - Caracterização da qualidade do inventário de primeiro plano e fonte do inventário de segundo plano da produção de alevino de tilápia do Nilo.

	Parâmetro	Incerteza básica	Pontuação pedigree	Dados de segundo plano
Entrada	Água superficial, rio	1,05	2,1,1,1,1	Water, river, BR
	Fábrica de alevino	3,00	2,1,1,1,1	Chemical factory {GLO} market for Cut-off, S
	Ureia	1,05	2,1,1,1,1	Urea, as N {GLO} market for Cut-off, S
	Ração 45 % PB	1,05	2,1,1,1,1	Tabela A1
	Trigo, farelo	1,05	2,1,1,1,1	Wheat bran {RoW} market for wheat bran Cut-off, S
	Cal virgem	1,05	2,1,1,1,1	Quicklime, milled, packed {RoW} market for quicklime, milled, packed Cut-off, S
	Transporte rodoviário, caminhão	2,00	2,1,1,1,1	Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, S
	Eletricidade	1,05	2,1,1,1,1	Electricity, low voltage {BR} market group for electricity, low voltage Cut-off, S
Saída	Alevinos de 1 g	1,05	2,1,1,1,1	-
	Óxido nitroso, ar	1,40	2,1,1,1,1	Dinitrogen monoxide
	Metano, biogênico, ar	1,20	2,1,1,1,1	Methane, biogenic
	Nitrogênio total, água superficial	1,50	2,1,1,1,1	Nitrogen, total
	Amônia	1,50	2,1,1,1,1	Ammonia
	Fósforo total, água superficial	1,50	2,1,1,1,1	Phosphorus, total
	Água, água superficial	1,05	2,1,1,1,1	Water, BR
	Matéria orgânica, água superficial	1,50	2,1,1,1,1	Organic compounds (unspecified)

Fonte: Elaboração da autora.

Tabela A3 - Caracterização da qualidade do inventário de primeiro plano e fonte do inventário de segundo plano da produção de tilápia do Nilo.

	Parâmetro	Incerteza básica	Pontuação pedigree	Dados de segundo plano
Entrada	Ocupação, corpos hídricos, artificial	1,50	4,1,1,1,1	Occupation, water bodies, artificial
	Água evaporada, rio	1,05	2,1,1,1,1	Water, river, BR
	Tanque-rede	3,00	4,1,1,1,1	Floating hexagonal metal cage {GLO} market for floating hexagonal metal cage - Cut-off, S
	Alevinos de 30 g	1,05	2,1,1,1,1	Tabela A2
	Ração 35 % PB	2,00	2,1,1,1,1	Tabela A1
	Ração 32 % PB	2,00	2,1,1,1,1	Tabela A1

	Transporte rodoviário, caminhão	2,00	2,1,1,1,1	Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} market for transport, freight, lorry, unspecified - Cut-off, S
	Eletricidade	1,05	2,1,1,1,1	Electricity, low voltage {BR} market group for electricity, low voltage - Cut-off, S
	Gasolina, queimado	1,05	2,1,1,1,1	Petrol, unleaded, burned in machinery {GLO} market for petrol, unleaded, burned in machinery - Cut-off, S
Saída	Óxido nitroso, ar	1,40	2,1,1,1,1	Dinitrogen monoxide
	Metano, biogênico, ar	1,20	2,1,1,1,1	Methane, biogenic
	Nitrogênio total, água superficial	1,50	2,1,1,1,1	Nitrogen, total; river
	Amônia	1,50	2,1,1,1,1	Ammonia
	Fósforo total, água superficial	1,50	2,1,1,1,1	Phosphorus, total; river
	Matéria orgânica, água superficial	1,50	2,1,1,1,1	Organic compounds (unspecified); river

Fonte: Elaboração da autora.

CAPÍTULO 2

Métodos de processamento da tilápia do Nilo: o desempenho energético e ambiental

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho energético e ambiental do ciclo de vida da tilápia do Nilo de 1200g beneficiada em tipo eviscerada (T1200g-E), posta (T1200g-P) e filé (T1200g-F) entregue no mercado varejista. O fluxo de referência foi 1 tonelada (Mg) de peixe beneficiado e distribuído. O sistema de produto de primeiro plano contém o inventário das etapas de produção da tilápia do Nilo em tanque-rede, beneficiamento em frigorífico e distribuição para o mercado varejista, enquanto o sistema de produto de segundo plano contém o inventário da produção dos demais insumos materiais e energéticos, transporte, infraestrutura e tratamento de resíduos. As categorias avaliadas foram a ocupação de área (OA), consumo de água (CA), demanda energética (DE), aquecimento global (AG), acidificação (AC) e eutrofização (EU). A produção de 1 Mg de peixe beneficiado demandou as seguintes quantidades de tilápia do Nilo: 1,3 Mg no T1200g-E, 2,4 Mg no T1200g-P e 3,3 Mg no T1200g-F. A carga ambiental da tilápia do Nilo beneficiada e distribuída com o tipo de corte eviscerado (T1200g-E) foi 18 000 m².ano em OA, 54 m³ em CA, 107 000 MJ em DE, 14 500kgCO₂eq em AG, 133kgSO₂eq em AC e 127PO₄³⁻eq em EU, enquanto estes valores aumentaram de 33 a 34% naquela em posta (T1200g-P) e 137 a 143% naquela em filé (T1200g-F). A etapa de produção da tilápia do Nilo apresentou a maior carga ambiental nas categorias avaliadas (97 a 99%). A contribuição da carga ambiental da etapa de distribuição foi de 0 a 84% na análise de sensibilidade da distância e modal de transporte. Ademais, a utilização de diferentes procedimentos de alocação (mássica, econômica e subdivisão de processo) modificou significativamente a carga ambiental dos produtos e coprodutos dos cenários avaliados. Dessa forma, o consumo de peixe eviscerado apresentou-se como uma estratégia para reduzir a carga ambiental da alimentação a partir da tilapicultura devido ao seu maior aproveitamento na forma de produto principal em comparação aos demais cortes avaliados.

Palavras-chave: Aquicultura. Tilápia do Nilo Beneficiada. Corte de Peixe. Avaliação do Ciclo de Vida. Nexo Água-Energia-Alimento.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the energy and environmental performance of the life cycle of 1 200 g Nile tilapia processed as eviscerated (T1200g-E), steak (T1200g-P) and fillet (T1200g-F) delivered to the retail market. The reference flow was 1 ton (Mg) of processed and distributed fish. The foreground product system contains the inventory of the Nile tilapia production stages in a net cage, processing in a slaughterhouse and distribution to the retail market, while the background product system contains the production inventory of the other material inputs and energy, transport, infrastructure and waste treatment. The categories evaluated were area occupation (AO), water consumption (WC), energy demand (ED), global warming (GW), acidification (AC) and eutrophication (EU). The production of 1 Mg of processed fish required the following quantities of Nile tilapia: 1.3 Mg in T1200g-E, 2.4 Mg in T1200g-P and 3.3 Mg in T1200g-F. The environmental load of Nile tilapia processed and distributed with the type of eviscerated cut (T1200g-E) was 18 000 m²year in AO, 54 m³ in WC, 107 000 MJ in ED, 14 500 kg CO₂eq in GW, 133 kg SO₂eq in AC and 127 PO₄3-eq in EU, while these values increased from 33 to 34% in steak (T1200g-P) and 137 to 143% in fillet (T1200g-F). The Nile tilapia production stage presented the highest environmental burden in the evaluated categories (97 to 99%). The contribution of the environmental load of the distribution stage was 0 to 84% in the sensitivity analysis of distance and transport mode. Furthermore, the use of different allocation procedures (mass, economic and process subdivision) significantly modified the environmental burden of products and co-products of the evaluated scenarios. Thus, the consumption of eviscerated fish was presented as a strategy to reduce the environmental burden of food from tilapia farming due to its greater use in the form of main product compared to the other evaluated cuts.

Key-words: Aquaculture. Processed Nile Tilapia. Fish Cutting. Life Cycle Assessment. Water-Energy-Food Nexus.

1 INTRODUÇÃO

O aumento médio anual do consumo mundial de proteína animal oriunda do pescado foi de 3,1% entre 1961 e 2017, enquanto o das demais fontes de proteína foi de 2,1% (FAO, 2020). O consumo mundial *per capita* de pescado aumentou de 9kg em 1961 para 20kg em 2017 (FAO, 2020). A produção de pescado oriunda da captura estabilizou desde a década de 1980, enquanto a aquicultura contribuiu para o aumento da produção de pescado e representou 46% da produção mundial em 2017 (FAO, 2020). No entanto, a expansão da aquicultura causa impactos ambientais como a escassez hídrica, aquecimento global, acidificação e eutrofização (DIANA, 2009).

A cadeia de produção do pescado perpassa pelos segmentos de transformação e de distribuição, a qual é composta pelas indústrias de pescado, entrepostos, feiras livres, supermercados, peixarias e ambulantes antes de chegar ao consumidor final. O principal produto oriundo da produção de tilápia é o filé, o qual representa uma parcela de produção maior que aquela da tilápia eviscerada, em posta, produtos semiprontos, dentre outros cortes (SOUZA *et al.*, 2000). O beneficiamento da tilápia despescada aumenta a validade do produto final para o consumo e o seu valor de mercado (SCHULTER; VIEIRA FILHO, 2017). Entretanto, o desempenho ambiental do beneficiamento do peixe deve ser avaliado para identificar os pontos críticos e oportunidades de melhoria.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica utilizada para compreender e avaliar os aspectos e impactos ambientais potenciais de um sistema de produto (ISO-14040, 2006a). A ACV é utilizada na avaliação do desempenho energético e ambiental da produção de proteína animal. Entretanto, o impacto ambiental dos alimentos pode variar em até 50 vezes entre os diferentes produtores de um mesmo produto (POORE; NEMECEK, 2018). Portanto, o desempenho ambiental dos produtos deve ser avaliado de forma específica para apoiar a tomada de decisão.

A maioria dos estudos de ACV sobre a produção de peixes considera a cadeia de produção até o portão da fazenda da piscicultura, deixando uma lacuna sobre o desempenho ambiental dos produtos até o mercado varejista. Os inventários das etapas de pós-cultivo como transporte, beneficiamento e distribuição são escassos (ABDOU *et al.*, 2017). O transporte pode ser um dos principais contribuintes no impacto ambiental

dos produtos de pescado (WINTHER *et al.*, 2009), que depende da distância e modal utilizado, assim como o beneficiamento (IRIBARREN *et al.*, 2010).

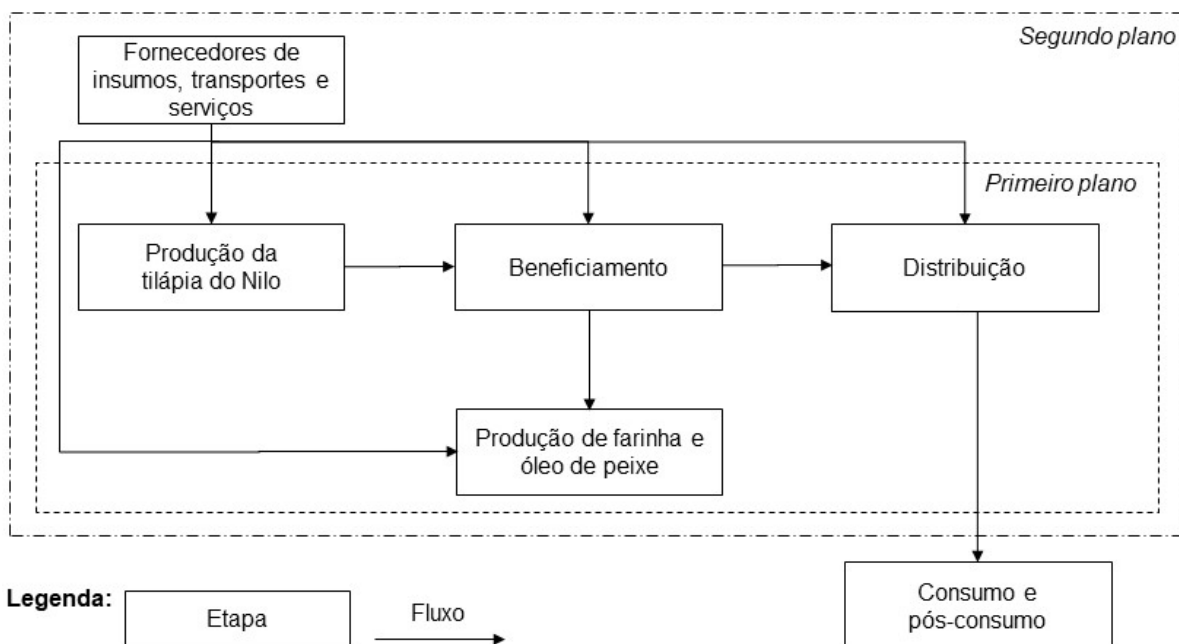
O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho energético e ambiental do ciclo de vida da tilápia do Nilo beneficiada em corte do tipo eviscerada, posta e filé e distribuída para o mercado varejista. Os coprodutos do beneficiamento foram considerados para a produção de farinha e óleo de peixe. A análise de sensibilidade foi considerada para o transporte (distância e modal) na etapa de distribuição e procedimento de alocação dos produtos e coprodutos na etapa de beneficiamento. Dessa forma, a avaliação do desempenho energético e ambiental dos produtos da tilápia do Nilo apoiou a identificação dos pontos críticos nas categorias avaliadas e proposição de melhorias ambientais.

2 MÉTODOS

2.1 Definição do Escopo

As normas de ACV (ISO, 2006a; ISO, 2006b) foram utilizadas neste estudo para avaliar o desempenho energético e ambiental dos diferentes cortes da tilápia do Nilo de 1200g por peixe despescado a ser beneficiado e distribuído. Os cortes de tilápia do Nilo avaliados neste estudo apresentam diferenças na composição do produto. Desta forma, foi utilizada uma unidade declarada em massa de produto distribuído para apoiar a tomada de decisão do consumidor, ao invés de uma unidade funcional. O fluxo de referência foi definido em 1 tonelada (Mg) de peixe beneficiado e distribuído em cortes do tipo eviscerado (T1200g-E), posta (T1200g-P) e filé (T1200g-F). A extensão do sistema de produto foi da fazenda de piscicultura ao portão do estabelecimento comercial, na qual foram consideradas as etapas de produção, beneficiamento e distribuição da tilápia do Nilo, assim como a etapa de produção de farinha e óleo de peixe (Figura).

Figura 11 - Sistema de produto da tilápia do Nilo beneficiada e distribuída para o mercado varejista.



Fonte: Elaboração da autora.

2.2 Inventário de Ciclo de Vida

Os dados de inventário das etapas de produção e beneficiamento da tilápia do Nilo foram coletados por meio de questionário com o técnico da produção em 2019 (comunicação pessoal), enquanto aqueles da etapa de distribuição até o mercado varejista foram estimados para representar o transporte dos peixes beneficiados e congelados. A unidade de produção e beneficiamento da tilápia do Nilo está localizada no município de Redenção da Serra, região leste do estado de São Paulo, Brasil. A etapa de produção da tilápia do Nilo contém o inventário dos processos de alevinagem, recria dos peixes juvenis e engorda em tanque-rede (Tabela 6), o qual foi obtido a partir do capítulo 1. A capacidade de produção de tilápia do Nilo despescada é de 2 700Mg por ano em média.

Tabela 6 - Inventário de primeiro plano da produção de 1 tonelada (Mg) de tilápia do Nilo despescada.

	Parâmetro	Unidade	Tilápia do Nilo despescada
Entrada	Ocupação, corpos hídricos, artificial	m ² .ano	4,3
	Água evaporada, rio	m ³	3,9
	Tanque-rede	m	0,017
	Alevinos de 30g	kg	26
	Ração, 35% PB	kg	72
	Ração, 32% PB	kg	1 553
	Transporte rodoviário, caminhão	Mg. km	2 313
	Eletricidade	kWh	24
Gasolina, queimada	MJ	384	
Saída	Tilápia do Nilo despescada	Mg	1,0
	Óxido nitroso, ar	kg	18
	Metano, biogênico, ar	kg	45
	Nitrogênio total, água superficial	kg	61
	Nitrogênio amoniacal, água superficial	kg	43
	Fósforo total, água superficial	kg	11
	Matéria orgânica, água superficial	kg	666

Proteína Bruta (PB).

Fonte: Elaboração da autora.

A ocupação de área foi estimada a partir da densidade de peixe de 80kg/m³, em tanques de 1 m³/m², e o período de produção de 125 dias para a produção de T1200g. A evaporação do lago foi considerada a partir da ocupação de área e da taxa de evaporação média de 0,9m³/ (m² ano). Adotou-se uma perda de 5% dos alevinos na engorda (de 30g até o tamanho da despesca), conforme informação do produtor. Os peixes juvenis, de 30g cada um, foram colocados nos tanques-rede para a recria. A ração 35% de PB foi usada na recria até os peixes completarem 100g, com idade de 52 dias. Em seguida, a ração 32% de PB foi usada na engorda até os peixes alcançarem o tamanho da despesca. A estimativa da gasolina utilizada no transporte interno da fazenda considerou a rota percorrida com a embarcação no lago da barragem para o manejo e despesca da tilápia do Nilo nos tanques-rede. A demanda de gasolina foi 12 L para o T1200g, considerando uma massa específica de 0,745kg/L e poder calorífico de 42,5 MJ/kg.

A emissão de óxido nitroso da produção de tilápia do Nilo foi estimada a partir do método do IPCC (2019) (Equação 1), considerando o EF_{N₂O} de 0,019 kg N₂O-N/kg N para a descarga de N em água doce eutrofizada (IPCC 2019). A emissão de metano da produção de tilápia do Nilo foi estimada a partir do método do IPCC (2019) (Equação 2),

considerando o EF_{CH_4} de 0,048 kg CH_4 /kg DQO para a descarga de matéria orgânica em lago (IPCC 2019).

O inventário de segundo plano das etapas do sistema de produto da tilápia do Nilo considerou a cadeia de produção dos insumos materiais e energéticos, transporte, infraestrutura e tratamento de resíduos dos fornecedores utilizados no inventário de primeiro plano (Tabela A1, Tabela A2 e Tabela A3 do Apêndice). As bases de dados utilizadas no inventário de segundo plano foram a *Ecoinvent*TM, versão 3.6 (MORENO-RUIZ *et al.*, 2019) e *Agri-footprint*[®], versão 5.0 (VAN-PAASSEN *et al.*, 2019).

O inventário da etapa de beneficiamento da tilápia do Nilo representa os processos de recepção dos peixes vivos, depuração, insensibilização, sangria, classificação, lavagem, corte e congelamento para produzir os cortes do tipo eviscerado, posta e filé (Tabela 7).

Tabela 7 - Inventário de primeiro plano do beneficiamento e distribuição de 1 tonelada (Mg) de tilápia do Nilo por tipo de corte.

	Parâmetro	Unidade	Tilápia do Nilo beneficiada			
			Eviscerada	Posta	Filé	
Beneficiamento	Entrada	Infraestrutura	p	1,14E-6	2,12E-6	2,63E-6
		Eletricidade	kWh	0,12	0,22	0,31
		Água potável	m ³	2,8	5,3	7,2
	Saída	Tilápia do Nilo despesada	Mg	1,3	2,4	3,3
		Transporte rodoviário, caminhonete	Mg. km	10	10	10
		Gelo ¹	Mg	1,3	2,4	3,3
		Tilápia do Nilo beneficiada	Mg	1,0	1,0	1,0
Distribuição	Entrada	Coprodutos da tilápia do Nilo	Mg	0,31	1,4	2,3
		Água residual, tratamento	m ³	3,4	5,6	7,3
		Tilápia do Nilo beneficiada	Mg	1,0	1,0	1,0
Distribuição	Saída	Transporte rodoviário, caminhão refrigerado	Mg. km	500	500	500
		Eletricidade	kWh	459	459	459
		Freezer	p	9,1E-4	9,1E-4	9,1E-4
		Tilápia beneficiada e distribuída	Mg	1,0	1,0	1,0

Cenários de tilápia do Nilo (12 000g cada na despesca) beneficiada e distribuída por tipo de corte: eviscerada (T1200g-E); posta (T1200g-P); e filé (T1200g-F). Peça (p). A distância do transporte refrigerado foi 250km que resultou em uma distância percorrida (ida e volta) de 500km.¹ Foi considerado 1 m³ de água potável e 5 kWh por tonelada de gelo.

Fonte: Elaboração da autora.

O rendimento do corte da tilápia do Nilo em filé depende das variáveis de peso, composição corporal, sexo, características anatômicas (relação cabeça: tronco), método de filetagem, destreza do operador e nível de mecanização. O rendimento de filé em relação ao peso bruto do peixe (o termo ‘peso’ neste artigo é referente a unidade mássica) varia de 28% a 33%, com uma média de 31%, enquanto as demais partes do peixe representam 36% em cabeça e vísceras, 8% em pele, 22% em ossos e 3% de fezes (PEREIRA, 2011). Dessa forma, foi considerado um aproveitamento mássico de 76% para o corte eviscerado (peixe inteiro com pele e escamas), 41% em posta e 33% em filé (SOUZA *et al.*, 2000) para o produto principal, enquanto a massa de peixe remanescente foi considerada como coproduto. Os coprodutos do beneficiamento da tilápia do Nilo foram utilizados para a produção de farinha e óleo de peixe, os quais são considerados ingredientes nobres para a fabricação de ração de peixe, suínos, cães e gatos. Neste sentido, o procedimento de alocação de subdivisão de processo (critério de corte) foi utilizado para atribuir toda a carga ambiental para o produto principal. Ademais, as quantidades de infraestrutura, eletricidade, água, gelo e água residual foram estimadas de forma proporcional à quantidade de tilápia do Nilo despescada a ser beneficiada.

O transporte rodoviário dos peixes despescados foi da piscicultura até o frigorífico, enquanto o transporte refrigerado foi do frigorífico até o mercado varejista. Dessa forma, a etapa de distribuição dos cortes da tilápia do Nilo (produto final) ao mercado varejista contém o inventário do transporte refrigerado dos cortes de tilápia do Nilo, infraestrutura do freezer de armazenamento do produto e eletricidade do freezer (Tabela 2). A embalagem foi desconsiderada neste estudo devido a que sua contribuição é desprezível nos impactos ambientais do produto final (PELLETIER; TYEDMERS, 2010).

O aproveitamento dos coprodutos do beneficiamento dos peixes foi destinado para a produção de farinha e óleo de peixe. Nesta etapa, o fluxo de referência foi 1Mg de coproduto de tilápia do Nilo processado na fábrica para produzir dois produtos: farinha de peixe e óleo de peixe. O inventário da produção de farinha de peixe e óleo de peixe (Tabela 8) foi obtido através de questionário técnico com o produtor.

A produção de farinha de peixe e óleo de peixe utilizam processos unitários em comum (principalmente da produção do peixe até a filtração) antes da separação entre as fases sólida e a líquida, a qual resulta na produção de farinha e óleo de peixe,

respectivamente. Dessa forma, o procedimento de alocação por subdivisão de processo foi desconsiderado de acordo com Freon *et al.* (2017). Cada tonelada de coproduto do beneficiamento que é processada nesta etapa é convertida em 0,13Mg de farinha de peixe e 0,09Mg de óleo de peixe. Portanto, foi considerado um procedimento de alocação por particionamento de carga ambiental a partir do critério mássico que resultou em um fator de alocação mássica de 59 % para a farinha de peixe e 41 % para o óleo de peixe.

Tabela 8 - Inventário de primeiro plano da produção de farinha de peixe e óleo de peixe a partir de 1Mg de coprodutos da tilápia do Nilo beneficiada.

	Fluxos	Unidade	Farinha de peixe	Óleo de peixe
Entrada	Infraestrutura	p	0,63	0,63
	Eletricidade	kWh	0,05	0,05
	Água de poço	m ³	0,16	0,16
	Coprodutos da tilápia do Nilo beneficiada	Mg	1,0	1,0
	Transporte	Mg. km	9,6	9,6
	Antioxidante	Mg	0,001	0,001
	Calor, madeira queimada	MJ	5 234	5 234
	Saída	Água evaporada	m ³	0,74
Farinha de peixe		Mg	0,13	-
Óleo de peixe		Mg	-	0,09
Água residual, tratamento		m ³	0,31	0,31

Peça (p). A distância do transporte refrigerado foi 22km que resultou em uma distância percorrida (ida e volta) de 44km.

Fonte: Elaboração da autora.

Os dados da fase de operação do sistema de produto de primeiro plano da produção da tilápia do Nilo beneficiada e distribuída foram inventariados a partir de dados do produtor, os quais foram complementados com dados da literatura, enquanto aqueles das fases de construção e manutenção da infraestrutura foram inventariados a partir de processos semelhantes da base de dados EcoinventTM. Os dados dos fornecedores do sistema de produto de segundo plano foram inventariados a partir da base de dados EcoinventTM para a cadeia de produção dos insumos materiais e energéticos, transporte, infraestrutura e tratamento de materiais residuais (Tabela A1, Tabela A2 e Tabela A3 do Apêndice). A bases de dados utilizada no inventário de segundo plano foi a EcoinventTM, versão 3.6 (MORENO-RUIZ *et al.*, 2019).

2.3 Categorias Avaliadas

O inventário de primeiro plano foi inserido no software SimaPro, versão 9.1.1.7, para avaliar os potenciais aspectos e impactos ambientais da tilápia do Nilo beneficiada e distribuída. As categorias avaliadas foram a ocupação de área, consumo de água,

demanda energética, aquecimento global, acidificação e eutrofização. Os métodos e unidades dos indicadores das categorias ambientais avaliadas neste estudo são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Categorias de aspecto e impacto ambiental utilizadas no estudo.

Categoria	Unidade	Método (versão)	Fonte	
Aspecto ambiental	Ocupação de área	m ² .ano	Selected LCI Results (1.04)	Frischknecht <i>et al.</i> (2007)
	Consumo de água	m ³	ReCiPe 2016 midpoint, Hierarchist (1.1)	Huijbregts <i>et al.</i> (2017)
	Demanda energética	MJ	Cumulative Energy Demand (CED) (1.11)	Frischknecht <i>et al.</i> (2003)
Impacto ambiental	Aquecimento Global	kg CO ₂ eq	IPCC 2013, GWP 100 years (1.03)	IPCC (2013)
	Acidificação	kg SO ₂ eq	CML-IA baseline (3.06)	Guinée <i>et al.</i> (2001)
	Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	CML-IA baseline (3.06)	Guinée <i>et al.</i> (2001)

Fonte: Elaboração da autora.

As categorias de ocupação de área, consumo de água, aquecimento global, acidificação e eutrofização são utilizadas na comparação do desempenho ambiental de alimentos (POORE; NEMECEK, 2018). As áreas utilizadas no fornecimento de insumos e serviços, incubatórios dos alevinos, superfície do tanque-rede na lagoa de produção da tilápia do Nilo, frigorífico, fábrica de farinha e óleo de peixe, e mercado varejista, são consideradas na ocupação de área. O volume de água evaporado no fornecimento de insumos e serviços (por exemplo: agricultura irrigada e manufatura), tanques-rede no corpo hídrico, frigorífico e fábrica de farinha e óleo de peixe são considerados no consumo da água. A energia primária utilizada e incorporada no fornecimento dos insumos e serviços, considerando as eficiências de conversão de energia, foram consideradas no método de demanda de energia acumulada (FRISCHKNECHT *et al.*, 2004). Ademais, os métodos de avaliação de impacto do IPCC (AUBIN *et al.*, 2009), CML (AUBIN *et al.*, 2009; AVADI *et al.*, 2015; MUNGKUNG *et al.*, 2013; YACULT *et al.*, 2016) e ReCiPe (AUBIN *et al.*, 2009; AVADI *et al.*, 2015) foram utilizados para avaliar o aquecimento global, acidificação e eutrofização em ACV de aquicultura. Portanto, os métodos de avaliação ambiental considerados neste estudo são aqueles mais utilizados na literatura consultada.

2.4 Análise De Sensibilidade

A primeira análise de sensibilidade foi definida para a etapa de distribuição do filé de tilápia do Nilo (T1200g-F) para considerar diferentes distâncias e modais de transporte. Dessa forma, foram avaliadas as seguintes distâncias e modais de transporte da etapa distribuição do T1200-F: transporte rodoviário de 250km (T1200g-F-TR-250km) (cenário base), transporte rodoviário de 2500km (T1200g-F-TR-2500km), transporte marítimo de 10000km (T1200g-F-TM-10000-km), transporte marítimo de 20000km (T1200g-F-TM-20000km), transporte aéreo de 8000km (T1200g-F-TA-8000 km), transporte aéreo de 16000km (T1200g-F-TA-16000 km). Foi considerado um transporte rodoviário adicional de 50km nos cenários com transporte marítimo e aéreo. Ademais, a distância percorrida foi o dobro da distância do transporte para considerar a viagem de ida e volta.

A segunda análise de sensibilidade foi definida para identificar a influência do procedimento de alocação mássica, alocação econômica e critério de corte (subdivisão de processo) no desempenho energético e ambiental dos cenários avaliados. Os fatores de alocação foram aplicados nos inventários das etapas de beneficiamento e produção de farinha e óleo de peixe para distribuir as cargas ambientais entre os produtos de cada etapa. Alocação de massa é usado quando o valor econômico dos produtos tem efeito menor. Este é tipicamente o caso em relação à produção de farinha de peixe e óleo. A extração de peixe, farinha e óleo depende do teor de gordura do peixe utilizado. Em geral, são extraídos 200g de farinha de peixe e 120g de óleo de peixe a partir de 1kg peixe inteiro (ELLINSESEN *et al.*, 2009).

Os fatores de alocação dos produtos e coprodutos, respectivamente, da etapa de beneficiamento foram: 76% e 24% em T1200-E, 41% e 59% em T1200-P, e 33% e 67% em T1200-F na AM; 100% e 0% em T1200-E, 99% e 1% em T1200-P, e 99% e 1% em T1200-F na AE; e 100% e 0% em T1200-E, T1200-P e T1200-F no CC; enquanto os fatores de alocação da etapa de produção de farinha e óleo de peixe, respectivamente, foram: 76% e 24% para o T1200-E, 41% e 59% para T1200-P e 33% e 67% para AM, 59% e 41% na AM; e 32% e 68% na AE.

A carga ambiental foi alocada aos produtos (produto principal e coprodutos) em função da massa na alocação mássica e do preço na alocação econômica, enquanto toda

a carga ambiental foi alocada para o produto principal no CC, de modo que os coprodutos foram isentados de carga ambiental.

3 RESULTADOS

O desempenho energético e ambiental da tilápia do Nilo beneficiada e distribuída em cortes do tipo eviscerada (T1200g-E), posta (T1200g-P), filé (T1200g-F) são apresentados na Figura 11.

A ocupação de área aumentou 142% de T1200g-E para T1200g-F (Figura 11a). A maior contribuição da ocupação de área foi a produção da tilápia do Nilo com 99% nos cenários avaliados. O consumo de água apresentou um aumento de 143% de T1200g-E para T1200g-F (Figura 11c). A produção da tilápia do Nilo apresentou a maior contribuição no consumo de água, com 99% nos cenários avaliados. A demanda energética aumentou 137% de T1200g-E para T1200g-F (Figura 11g). A maior contribuição da demanda energética foi a produção da tilápia do Nilo, com 99% para o T1200g-F e 97% para T1200g-P e T1200g-E; seguida da distribuição com 1% para o T1200g-F e 3% para T1200g-P e T1200g-E.

O aquecimento global aumentou 140% de T1200g-E para T1200g-F (Figura 11e). A maior contribuição do aquecimento global foi a produção da tilápia do Nilo, com 99% para o T1200g-F e T1200g-P e 98% para o T1200g-E; seguida da distribuição com 1% no T1200g-F e T1200g-P e 2% no T1200g-E. A acidificação aumentou 141% de T1200g-E para T1200g-F (Figura 11i). A maior contribuição da acidificação foi a produção da tilápia do Nilo com 99% para os cenários avaliados; seguida da distribuição com 1% para o T1200g-P e o T1200g-E. A eutrofização aumentou 142% de T1200g-E para T1200g-F (Figura 11l). A maior contribuição da eutrofização foi a produção da tilápia do Nilo, com 99% nos cenários avaliados.

Figura 11 - Comparação e contribuição do desempenho de 1 tonelada (Mg) da tilápia do Nilo beneficiada e distribuída em diferentes cortes nas categorias de ocupação de área, consumo de água, aquecimento global, demanda energética, acidificação e eutrofização.

Etapa Produção da tilápia do Nilo, beneficiamento

:

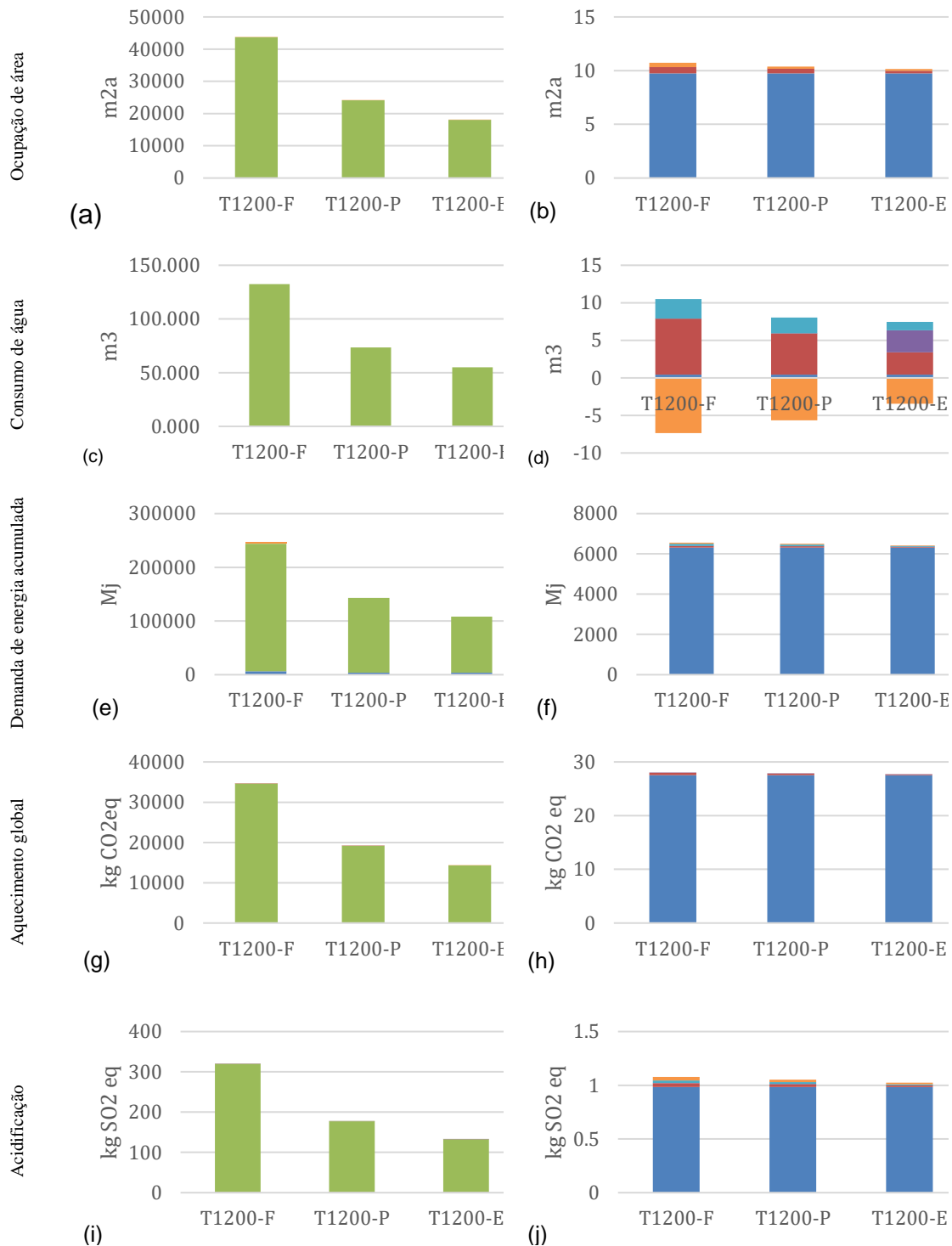
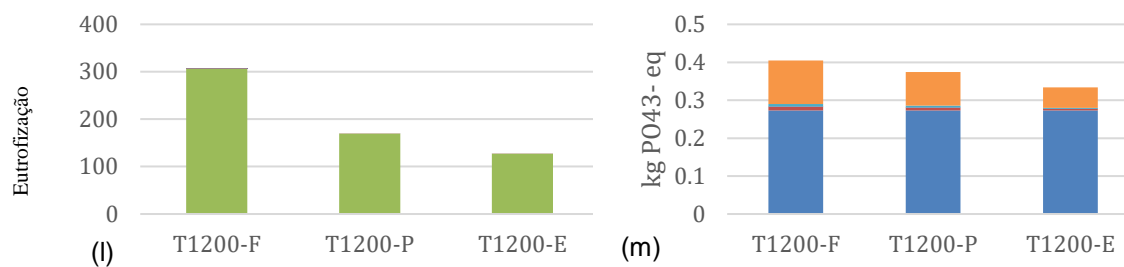


Figura 11 - Continuação...



Cenários avaliados por grupo de contribuição

■ Produção ■ Beneficiamento ■ Distribuição

Legenda:

■ Transporte ■ Água ■ Tilápia ■ Eletricidade ■ Gelo ■ Tto esgoto

Fonte: Elaboração da autora.

A comparação da etapa de beneficiamento da tilápia do Nilo em diferentes cortes (eviscerada, posta e filé) e análise de contribuição dos processos desta etapa foram apresentadas para identificar os pontos críticos de desempenho energético e ambiental. A ocupação de área aumentou 4% de T1200g-E para T1200g-F e a maior contribuição desta categoria foi o transporte, com 88% (Figura 11b). O consumo de água aumentou 284% de T1200g-E para T1200g-F (Figura 11d). A maior contribuição do consumo de água do beneficiamento foi a água utilizada no processo; porém, a água que retorna para o corpo hídrico a partir do esgoto do frigorífico é contabilizada como um crédito, sendo assim, o maior contribuinte para esta categoria foi o consumo de água no beneficiamento, com 71% para T1200g-F, 68% para T1200g-P e 65% para T1200g-E; 23% para T1200g-F, 24% para T1200g-P e 23% para T1200g-E. A demanda energética aumentou 2% de T1200g-E para T1200g-F (Figura 11h). A maior contribuição da demanda energética do beneficiamento foi o transporte da tilápia do Nilo, com 95% para o T1200g-F, 85% para T1200g-P e 97% para T1200g-E, seguida do gelo, com 2% para o T1200g-F e T1200g-E e 1,6% para T1200g-P.

O aquecimento global aumentou 2% de T1200g-E para T1200g-F (Figura 11f). As maiores contribuições do aquecimento global foram de 95% para o transporte em T1200g-F, 96% para T1200g-P e 97% para o T1200g-E, seguidas do consumo da água e tratamento de esgoto, com 2% para o T1200g-F e 1% para o T1200g-P e o T1200g-E. A acidificação aumentou 3% de T1200g-E para T1200g-F (Figura 11j). As maiores contribuições da acidificação foram o transporte, com 92% para o T1200g-F, 95% para o

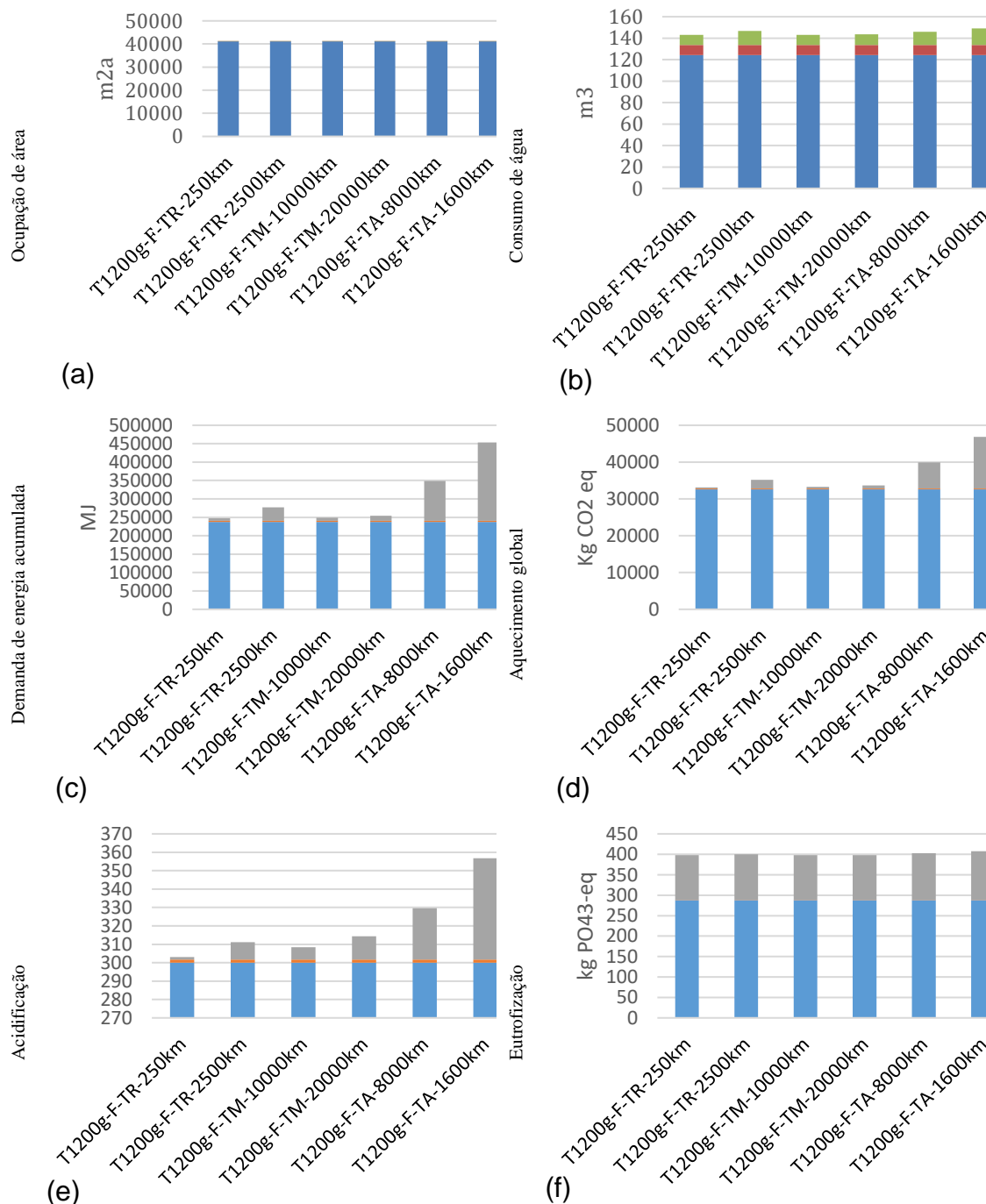
T1200g-P e 96% para o T1200g-E, seguidas pelo tratamento de esgoto, com 3% para o T1200g-F e 2% para o T1200g-P e T1200g-E. A eutrofização aumentou 21% de T1200g-E para T1200g-F (Figura 11m). As maiores contribuições da eutrofização foram o transporte, com 62% para o T1200g-F, 67% para o T1200g-P e 75% para o T1200g-E, seguido do tratamento de esgoto, com 29%, 25% e 17% para o T1200g-F, T1200g-P e T1200g-E, respectivamente.

3.1 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade na etapa de distribuição foi considerada para diferentes distâncias e modais de transporte.

Cenários da análise de sensibilidade: transporte rodoviário de 250km (T1200g-F-TR -250km) (cenário base), transporte rodoviário de 2 500km (T1200g-F-TR-2 500km), transporte marítimo de 10 000km (T1 200g-F-TM-10 000km), transporte marítimo de 20 000km (T12 000g-F-TM-20000km), transporte aéreo de 8 000km (T1200g-F-TA-8000km), transporte aéreo de 16 000km (T1200g-F-TA-16000km). Foi considerado um transporte rodoviário adicional de 50km nos cenários com transporte marítimo e aéreo, conforme a figura 12.

Figura 12 - Comparação e contribuição do desempenho de 1 tonelada (Mg) da tilápia do Nilo beneficiada e distribuída em filé (T1200g-F) com a análise de sensibilidade da etapa de distribuição em diferentes distâncias e modais de transporte nas categorias de ocupação de área (a), consumo de água (b), demanda energética (c), aquecimento global (d), acidificação (e) e eutrofização (f).



Cenários avaliados por grupo de contribuição

Legenda:

■ Produção ■ Beneficiamento ■ Distribuição

Fonte: Elaboração da autora.

A ocupação de área do cenário base foi mantida em comparação àquela dos cenários de análise de sensibilidade (Figura 12a). O consumo de água do cenário base aumentou 3% no T1200g-F-TR-2500km e 4% no T1200g-F-TA-16000km (Figura 12b). A demanda energética do cenário base aumentou 12% no T1200g-F-TR-2500km, 41% no T1200g-F-TA-8000km e 84% no cenário T1200g-F-TA-16000km (Figura 12c). O aquecimento global do cenário base aumentou 6% no T1200g-F-TR-2500km, 20% no T1200g-F-TA-8000km e 41% no T1200g-F-TA-16000km (Figura 12d). A acidificação do cenário base aumentou 3% no T1200g-F-TR-2500km, 2% no T1200g-F-TM-10000km, 4% no T1200g-F-TM-20000km, 9% no T1200g-F-TA-8000km e 18% no T1200g-F-TA-16000km (Figura 12e). A eutrofização do cenário base foi mantida no T1200g-F-TM-10000km e T1200g-F-TM-20000km, enquanto aumentou 1% no T1200g-F-TR-2500km e T1200g-F-TA-8000km, e 2% no T1200g-F-TA-16000km (Figura 12f). Dessa forma, os valores das categorias de demanda energética e aquecimento global apresentaram os maiores aumentos na análise de sensibilidade do transporte na etapa de distribuição do T1200g-F.

A análise de sensibilidade da influência do procedimento de alocação mássica, alocação econômica e critério de corte no desempenho energético e ambiental dos cenários avaliados é apresentada na Tabela 10. A carga ambiental dos cortes de tilápia do Nilo, beneficiada e distribuída, foi maior com o procedimento de alocação de critério de corte (cenário base), no qual foi alocado toda a carga ambiental para o produto principal, seguida da alocação econômica e alocação mássica. Entretanto, a carga ambiental da farinha e óleo de peixe foi menor com o procedimento de alocação de critério de corte, no qual os coprodutos foram isentados de carga ambiental, seguido da alocação econômica e alocação mássica. Ademais, a carga ambiental da farinha de peixe diminuiu com a mudança da alocação mássica para a alocação econômica devido ao preço unitário do óleo ser 3 vezes aquele da farinha. Dessa forma, observa-se uma influência significativa do procedimento de alocação no desempenho energético e ambiental dos produtos nos cenários avaliados.

Tabela 10 - Análise de sensibilidade do desempenho energético e ambiental de 1 tonelada (Mg) de tilápia do Nilo beneficiada e distribuída em diferentes cortes, 1 Mg de farinha de peixe e 1 Mg de óleo de peixe com os procedimentos de alocação de critério de corte (subdivisão de processo) (CC), alocação econômica (AE) e alocação mássica (AM).

		OA			CA / m ³			DE			AG			AC			EU		
		/ m ² .ano						/ MJ			/ kg CO ₂ eq			/ kg SO ₂ eq			/ kg PO ₄ ³⁻ eq		
Procedimento de alocação do produto principal	CC,	17 895			110			105 650			14 306			186			126		
	T1200-E	33 135			203			194 121			26 412			344			232		
	CC,	41 158			253			240 704			32 784			428			289		
	T1200-P	17 874			58			102 996			14 178			132			181		
	CC,	32 972			102			190 003			26 155			243			334		
	T1200-F	40 965			127			236 061			32 495			302			416		
	AE,	13 600			43			80 294			10 873			100			96		
	T1200-E	13 617			42			79 590			10 829			100			95		
	AE,	13 614			42			79 432			10 818			99			95		
	T1200-F																		
Procedimento de alocação do coproduto do beneficiamento da tilápia do Nilo	AM,	66 355	14 766	4 632	199	37	6,2	40 195	97 235	37 411	6 103	1 217	258	456	78	4,1	434	7 292	1,4
	T1200-F ¹ , Farinha	66 605	14 822	4 650	200	38	6,2	403 308	97 601	37 551	6 126	1 221	259	458	79	4,1	435	73	1,4
	AM,	17 608	3 206	377	17 608	3 361	377	17 608	3 206	377	17 608	3 206	377	17 608	3 206	377	17 608	3 206	377
	T1200-F ¹ , Óleo	54 047	9 841	1 158	54 047	9 842	1158	54 047	9 842	1 158	54 047	9 842	941	54 047	9 842	1 158	54 047	9 842	1 158

Ocupação de área (AO); Consumo de água (CA); demanda energética (DE); aquecimento global (AG); acidificação (AC); e eutrofização (EU). ¹ A etapa de distribuição foi desconsiderada.

Fonte: Elaboração da autora.

4 DISCUSSÃO

Neste estudo, durante a etapa de beneficiamento, foi considerado um aproveitamento de 76% para o peixe eviscerado inteiro com pele e escamas; aproveitamento de cortes do peixe em posta de 41% e filé de 33%. Por outro lado, Pelletier e Tyedmers (2010) consideraram o rendimento do filé de 37%. A alta carga ambiental do filé de tilápia nas categorias analisadas foi devida principalmente ao baixo aproveitamento do peixe inteiro para o beneficiamento em filé. O processamento de peixe em filés gera mais perdas, em comparação com peixes eviscerados. Dessa forma, a indústria de beneficiamento de peixe gera uma considerável quantidade de resíduos e não disponibiliza de tecnologia adequada para transformar resíduos em produtos de maior valor agregado, na qual apenas a metade dos coprodutos de peixe é aproveitada (STEVANATO *et al.*, 2007; RODRIGUES *et al.*, 2016).

A etapa de produção da tilápia do Nilo apresentou a maior contribuição nas categorias avaliadas (Figura 12). Os principais contribuintes do desempenho energético e ambiental da produção da tilápia do Nilo, assim como proposições para a melhoria de desempenho nas categorias avaliadas (a exemplo da utilização de ingredientes de fontes mais limpas na produção da ração e eficientização no processo de arraçoamento da tilápia do Nilo), foram apresentados no capítulo primeiro.

De acordo com Pelletier e Tyedmers (2010) os impactos ambientais da produção e distribuição de peixes beneficiados foram maiores na etapa de produção e menores nas etapas beneficiamento e distribuição ao consumidor final, o que converge aos resultados deste trabalho. Ademais, Thrane (2006) afirma que a aquicultura é a etapa do ciclo de vida com o maior impacto em comparação com as do beneficiamento e distribuição.

A demanda energética do ciclo de vida de filé de tilápia congelada, produzida em viveiros escavados, na Indonésia, foi de 26 000MJ por tonelada, do berço até o portão da fábrica, na qual as etapas de aquicultura e beneficiamento contribuíram com 70% e 23%, respectivamente, sendo que, na etapa de aquicultura, a ração foi responsável por 92% do impacto ambiental nesta categoria (PELLETIER; TYEDMERS, 2010), enquanto que neste trabalho, as etapas de produção da tilápia do Nilo e o beneficiamento foi 240 740MJ por tonelada de filé de tilápia, as etapas de aquicultura e beneficiamento contribuíram com 98% e 2%, respectivamente. Farmery *et al.* (2015) afirmam que o armazenamento e processamento de camarão juntos representaram 37,41MJ/Kg de camarão. A etapa de processamento representou a maior parcela

do consumo de água, 76% ou 16L/kg de camarão, enquanto a etapa de pesca contribuiu com apenas 10% do consumo de água. Neste trabalho, o processamento representou uma parcela de 9L/kg de filé de tilápia, sendo que a etapa do beneficiamento representou apenas 6,4% do consumo de água, enquanto a produção da tilápia do Nilo representou 93,6%.

No processo de beneficiamento do peixe, um dos pontos mais críticos que geram impacto ambiental é a limpeza do frigorífico, que constituiu cerca de 40% do consumo total de água. Uma solução é a remoção física de resíduos de peixe com o uso de raspadores e ar comprimido; assim como a pré-imersão de pisos e equipamentos de beneficiamento para aumentar tempo de contato com agentes de limpeza (THRANE *et al.*, 2009). Na etapa de distribuição da tilápia do Nilo beneficiada, podemos observar na análise de sensibilidade que o maior impacto ambiental foi o transporte aéreo a longas distâncias, seguido pelo transporte rodoviário, sendo o marítimo o menos impactante, o qual foi relatado em estudos como o de Pelletier e Tyedmers (2007).

Farmery *et al.* (2015) relatam que o potencial de aquecimento global para a distribuição do camarão foi inferior a 4% ou 0,3kgCO₂e/kg camarão, para uma viagem de 2 800km de caminhão refrigerado, ou uma viagem de 1 700km em transporte aéreo seguido de 1 500km em caminhão refrigerado. O impacto de aquecimento global, para o transporte, de camarões tigre da Austrália exportados para o Japão foi de 13,6kgCO₂e/kg camarão por via aérea ou 0,33kg CO₂e/kg de camarão por frete marítimo. Em contrapartida, a 1kg camarão vendido na Austrália foi 0,019kgCO₂e/kg camarão para transporte de 100km ou 0,77kgCO₂e/kg camarão para transporte de 4 000km por refrigerado caminhão para o varejo. Ademais, Rodrigues *et al.* (2016) sugerem a utilização de meios de transporte de alta carga para reduzir o aquecimento global na etapa de distribuição do pescado.

As taxas de conversão de coprodutos de peixe em farinha e óleo de peixe variam (especialmente a taxa de óleo) de acordo com a condição ambiental e o escore corporal do peixe. Freon *et al.* (2017) estimaram a conversão dos coprodutos de peixe em 4,2:1 e 21:1 para a produção de farinha e óleo de peixe, respectivamente, enquanto neste estudo foi considerado uma conversão de 7,6:1 e 11:1 para a produção de farinha e óleo de peixe, respectivamente.

No trabalho de Freon *et al.* (2017), a demanda energética foi estimada a partir das principais fontes de energia, combustíveis fósseis e gás natural, para as indústrias, a exemplo dos combustíveis fósseis como carvão mineral usado, principalmente, para aquecimento no cozimento de matéria-prima, secagem de farinha de peixe, planta de evaporação, enquanto o

uso de eletricidade é baixo, entre 4,7% a 1,7% para a demanda energética, pois o método CED considera que 100% da madeira cortada em floresta tropical não é renovável (essa proporção é discutível). Segundo os autores, a maior parte dos impactos ambientais nas categorias de eutrofização, ocupação de área e o consumo de água tem aumento de 10 a 20% pelo consumo de energia fóssil (FREON *et al.*, 2017). Ademais, os resultados das três abordagens de alocação para o relativo impactos de farinha de peixe e óleo de peixe são contrastantes (2,5 vezes entre os dois valores extremos; devido à diferença em proporções correspondentes de fatores de alocação (expressos em % para farinha de peixe e óleo de peixe): 34:66 ao usar o critério de energia bruta conteúdo, 50:50 com o valor econômico (valor médio 2008 e 2012) e 84:16 com a massa. Alocação em massa, que no final resulta na mesma carga ambiental de farinha de peixe e óleo de peixe, quando expressa por unidade funcional, parece ser menos realista, porque a produção de óleo de peixe requer a captura e processamento de cinco vezes mais peixes do que a farinha de peixe. O fator de alocação da produção de farinha e óleo de peixe, respectivamente, foram 34% e 66% para a alocação energética a partir do conteúdo de energia bruta e 84% e 16% para a alocação mássica (FREON *et al.*, 2017), enquanto neste estudo foram 59% e 41% para a alocação mássica.

5 CONCLUSÃO

A tilápia do Nilo eviscerada distribuída teve a menor carga ambiental nas categorias avaliadas em comparação com aquela em posta, enquanto aquela em filé teve a maior carga ambiental. Ademais, a etapa de produção da tilápia do Nilo apresentou a maior contribuição nas categorias avaliadas.

Na análise de sensibilidade, para os diferentes tipos de transporte, na fase de distribuição, foi constatado que a ocupação de área do cenário base foi mantida, em comparação àquela dos cenários de análise de sensibilidade; enquanto o transporte aéreo teve maior impacto nas categorias de consumo de água, demanda de energia acumulada, aquecimento global, acidificação e eutrofização. Dessa forma, a produção e o consumo de tilápia do Nilo eviscerada e distribuída por transporte rodoviário ou marítimo são estratégias para reduzir a carga ambiental da alimentação a partir da tilapicultura. Ademais, as etapas de consumo e pós-consumo devem ser avaliadas para identificar o desempenho energético e ambiental dos diferentes cortes de tilápia do Nilo.

A maioria das contribuições das categorias de impacto consideradas neste estudo ocorre na produção de ração. Dessa forma, as oportunidades de melhoria ambiental estão na identificação e implementação de padrões de fornecimento de ração a partir de fontes limpas para reduzir a carga ambiental da tilapicultura. O incentivo da produção de espécies de peixes nativas de locais mais próximos do mercado consumidor, a partir de políticas públicas, contribui para reduzir a carga ambiental da etapa de distribuição.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à *PRé Sustainability* pela licença do software *SimaPro*[®] para a Universidade Federal da Bahia e à Associação *ecoinvent* pela licença para o banco de dados de inventário, ambos em nome da *ACVBRASIL*. Este estudo foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – Brasil (FAPESB) – Termo N° BOL2514/2016.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ACV neste estudo permitiu identificar qual o tamanho da tilápia do Nilo ao abate e o corte desta que mais colaboram para a geração dos impactos ambientais, possibilitando adoções de ações e tomadas decisão para melhoria ambiental, além de permitir a identificação dos insumos de maior impacto ambiental.

A eficiência da conversão alimentar reduziu com o aumento do tamanho da tilápia do Nilo, resultando numa conversão alimentar de 1,38 em T600g; 1,51 em T900g; 1,68 em T1200g; 1,71 em T1500g e 1,74 em T2000g. O cenário com maior massa teve maior impacto em todas as categorias analisadas. A ração foi o principal contribuidor das categorias de demanda energética, consumo de água e ocupação de área, enquanto a criação de peixe apresentou a maior contribuição da eutrofização, acidificação e aquecimento global.

Diante disso podemos concluir que, para uma piscicultura mais sustentável, a criação de peixes menores, como de 600 g a 900 g, é uma estratégia para reduzir o impacto ambiental da tilapicultura.

O desempenho energético e ambiental do ciclo de vida da tilápia do Nilo beneficiada e distribuída em cortes do tipo eviscerada, posta e filé foi avaliado nas categorias de ocupação de área, consumo de água, demanda energética, aquecimento global, acidificação e eutrofização para identificar os pontos críticos e propor melhorias ambientais. A tilápia do Nilo eviscerada distribuída teve a menor carga ambiental nas categorias avaliadas em comparação com aquela em posta, enquanto aquela em filé teve a maior carga ambiental. Ademais, a etapa de produção da tilápia do Nilo apresentou a maior contribuição em todas as categorias avaliadas.

Na análise de sensibilidade para os diferentes tipos de transporte, na fase de distribuição, foi constatado que a ocupação de área do cenário base foi mantida em comparação àquela dos cenários de análise de sensibilidade. O transporte aéreo teve maior impacto nas categorias de consumo de água, demanda de energia acumulada, aquecimento global, acidificação e eutrofização.

A produção e o consumo de tilápia do Nilo eviscerada e distribuída por transporte rodoviário ou marítimo são estratégias para reduzir a carga ambiental da alimentação a partir

da tilapicultura. As etapas de consumo e pós-consumo devem ser avaliadas para identificar o desempenho energético e ambiental dos diferentes cortes de tilápia do Nilo.

A maioria das contribuições para uso de recursos para as categorias de impacto consideradas neste estudo, como a ocupação de área, consumo de água, demanda de energia acumulada, aquecimento global, acidificação e eutrofização ocorrem mais na produção de ração. Dessa forma, as oportunidades de melhoria ambiental estão na identificação e implementação de padrões de fornecimento de ração a partir de fontes limpas para reduzir a carga ambiental da tilapicultura no incentivo da produção de espécies de peixes nativas de locais mais próximos aos mercados consumidores, a partir de políticas públicas, contribui para reduzir a carga ambiental da etapa de distribuição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDOU K.; AUBIN J.; ROMDHANE M. S. Environmental assessment of seabass (*Dicentrarchus labrax*) and seabream (*Sparus aurata*) farming from a life cycle perspective: A case study of a Tunisian aquaculture farm. **Aquaculture**. v. 471, p.204–212, 2017. doi: 444 10.1016/j.aquaculture.2017.01.019.
- AUBIN, J.; VAN DER WEF, H. M. G. Pisciculture et environnement: apports de l'analyse du cycle de vie. **Cah Agric**. v. 18, n. 2-3, p. 220- 226, 2009.
- AVADI, A. *et al.* Comparative environmental performance of artisanal and commercial feed use in Peruvian freshwater aquaculture. **Aquaculture**. v. 435, p.52–66, 2015.
- DIANA, J. S. Aquaculture Production and Biodiversity **Conservation**. **Bioscience**. v. 59, p.27–38, 2009. doi: 10.1525/bio.2009.59.1.7.
- ECOINVENT ASSOCIATION. Documentation of changes implemented in Ecoinvent database v3.6. Ecoinvent Association: Zürich, 2019.
- EC-JRC - JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION (2010) - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook- **Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context**. First Edition, Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2010, 159 p.
- FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in action**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020.
- FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2020: Transforming food systems for affordable healthy diets**. Rome, Rome, New York, Rome, New York: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Fund for Agricultural Development (IFAD), United Nations Children's Fund (UNICEF), World Food Programme (WFP) and World Health Organization (WHO), 2020.
- FRISCHKNECHT R., JUNGBLUTH N., *et al.* Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report Ecoinvent 2 000, Swiss Centre for LCI. Dübendorf, CH, 2003. www.Ecoinvent.ch
- FARMERY, A. *et al.* Life cycle assessment of wild capture prawns: expanding sustainability considerations in the Australian Northern Prawn Fishery. **J. Clean. Prod.** v. 87, p.96–104, 2015.
- FRÉON, P. *et al.* Life cycle assessment of three Peruvian fishmeal plants: Toward a cleaner production. **Journal of Cleaner Production**. v. 145, p. 50 a 63, 2017.
- FRISCHKNECHT, R. *et al.* **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods**. Final report Ecoinvent 2 000, Swiss Centre for LCI. Dübendorf, CH, 2003.
- FRISCHKNECHT, R. *et al.* **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods** (Version 1.1). Eco- Invent Report No. 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2004, p. 116.

GUINÉE, J. B. *et al.* **Handbook on Life Cycle Assessment**. An Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 2002, p. 692.

GUINEE, J. B. *et al.* **Handbook on Life Cycle Assessment, Operational guide to the ISO standards**, v. 1, 2a, 2b and 3, 2001.

IPCC. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 5 (Waste). Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.

IRIBARREN D., MOREIRA M. T., FEIJOO G. Life Cycle Assessment of fresh and canned mussel 572 processing and consumption in Galicia (NW Spain). **Resour Conserv Recycl.** v. 55, p.106–117, 2010. doi: 10.1016/j.resconrec.2010.08.001

ISO (2006a) ISO 14040:2006 | Environmental management | **Life cycle assessment | Principles and framework**. Geneva, Switzerland.

ISO (2006b) ISO 14044:2006 | Environmental management – **Life cycle assessment – Requirements and guidelines**. Geneva, Switzerland.

MORENO-RUIZ, E.; VALSASINA, L.; FITZGERALD, D.; BRUNNER, F.; SYMEONIDIS, A.; BOURGAULT, G.; WERNET, G. **Documentation of changes implemented in Ecoinvent database v3.6**. Ecoinvent Association: Zürich, 2019.

MUNGKUNG, R., AUBIN, H., PRIHADI, T. H., SLEMBROUCK, J., van der WERF, H. M.G, LEGENDRE, M. Life Cycle Assessment for environmentally sustainable aquaculture management: a case study of combined aquaculture systems for carp and tilápia. **Journal of Cleaner Production.** v. 57, p. 249 | 256, 2013.

PELLETIER, N. E TYEDMERS, P. Life Cycle Assessment of Frozen Tilapia Fillets From Indonesian Lake-Based and Pond-Based Intensive Aquaculture Systems. **Journal of Industrial Ecology.** v. 14, n. 3, 2010.

PEREIRA, C. R. Um modelo de simulação de sistema aplicado à programação da produção de um frigorífico de peixe. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, São Carlos. 2011. 129p.

PETROSKI, L. P. S.; MEDEIROS, D. L.; VIDAL, L. V. O. O peso ao abate influencia o desempenho energético e ambiental da piscicultura: produção de tilápia do Nilo em tanque-rede (**em preparação**).

POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food’s environmental impacts through producers and consumers. **Science**, v. 360, n. 6392, p. 987–992, 2018.

RODRIGUES, E. *et al.* Life cycle analysis to evaluate the productive chain of fish consumed in the Bahia state (Brazil). **Bol. Inst. Pesca, São Paulo**, v. 42, n. 4, p.791-799, 2016 Doi: 10.20950/1678- 2305.2016v42n4p791

SCHULTER, E. P.; VIEIRA FILHO, J. E. R. **Evolução da Piscicultura no Brasil: diagnóstico e desenvolvimento da cadeia produtiva da tilápia**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – Ipea. Brasília. 42p. 2017.

SOUZA, M. L. R.; MARANHÃO, T. C. F. Rendimento de carcaça, filé e subprodutos da filetagem da tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L), em função do peso corporal. **Acta Scientiarum. Maringá**, v. 23, n. 4, p. 897-901, 2001.

STEVANATO, F.B. *et al.* Aproveitamento de resíduos, valor nutricional e avaliação da degradação de pescado. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 1, n. 7, p. 1-6, 2007.

THÉVENOT, A. *et al.* Mealworm meal for animal feed: Environmental assessment and sensitivity analysis to guide future prospects. **Journal of Cleaner Production**. v. 170, p. 1260-1267, 2018.

THRANE, M.; NIELSON, E. H.; CHRISTENSEN, P. Cleaner production in Danish fish processing – experiences, status and possible future strategies. **Journal of Cleaner Production**. v. 17, p. 380-390, 2009.

THRANE, M. LCA of danish fish products e new methods and insights. **Int. J. Life Cycle Assess.** v. 11, p. 66-74, 2006.

UN. **World Population Prospects The 2017 Revision Key Findings and Advance Tables**. 704, New York, USA.

WINTHER, U.; ZIEGLER F.; HOGNES, E. S. Carbon footprint and energy use of Norwegian 713 seafood products. **SINTEF Fisheries and Aquaculture**. v. 713, 2009.

YACOUT, D. M. M.; SOLIMAN, N. F.; YACOUT, M. M. Comparative life cycle assessment (LCA) of Tilapia in two production systems: semi-intensive and intensive. **J Life Cycle Assessment**. v. 21, p. 806-819, 2016.

7.1 APÊNDICE A - TABELAS DE CARACTERIZAÇÕES DOS INVENTÁRIOS

Tabela A4 - Caracterização da qualidade do inventário de primeiro plano e fonte do inventário de segundo plano da produção de tilápia do Nilo.

	Parâmetro	Incerteza básica	Pontuação pedigree	Dados de segundo plano
Entrada	Ocupação, corpos hídricos, artificial	1,50	4,1,1,1,1	Occupation, water bodies, artificial
	Água evaporada, rio	1,05	2,1,1,1,1	Water, river, BR
	Tanque-rede	3,00	4,1,1,1,2	Floating hexagonal metal cage {GLO} market for floating hexagonal metal cage Cut-off, S
	Alevinos de 30 g	1,05	2,1,1,1,1	Petroski, Medeiros e Vidal (em preparação)
	Ração, 35 % PB	1,05	2,1,1,1,1	Petroski, Medeiros e Vidal (em preparação)
	Ração, 32 % PB	1,05	2,1,1,1,1	Petroski, Medeiros e Vidal (em preparação)
	Transporte rodoviário, caminhão	2,00	2,1,1,1,1	Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} market for transport, freight, lorry, unspecified Cut-off, S
	Eletricidade	1,05	2,1,1,1,1	Electricity, low voltage {BR} market group for electricity, low voltage Cut-off, S
	Gasolina, queimado	1,05	2,1,1,1,1	Petrol, unleaded, burned in machinery {GLO} market for petrol, unleaded, burned in machinery Cut-off, S
	Saída	Óxido nitroso, ar	1,40	2,1,1,1,1
Metano, biogênico, ar		1,20	2,1,1,1,1	Methane, biogenic
Nitrogênio total, água superficial		1,50	2,1,1,1,1	Nitrogen, total; river
Amônia, água superficial		1,50	2,1,1,1,1	Ammonia
Fósforo total, água superficial		1,50	2,1,1,1,1	Phosphorus, total; river
Matéria orgânica, água superficial		1,50	2,1,1,1,1	Organic compounds (unspecified); river

Proteína Bruta (PB).

Fonte: Elaboração da autora.

Tabela A5 - Caracterização da qualidade do inventário de primeiro plano e fonte do inventário de segundo plano do beneficiamento e distribuição da tilápia do Nilo por tipo de corte.

	Parâmetro	Incerteza básica	Pontuação pedigree	Dados de segundo plano
Beneficiamento	Entrada	Infraestrutura	3,00	5,1,1,1,4 <i>Chemical factory, organics {GLO} - market for - Cut-off, S</i>
		Eletricidade	1,05	2,1,1,1,1 <i>Electricity, low voltage {BR} - market group for electricity, low voltage - Cut-off, S</i>
		Água potável	1,05	2,1,1,1,1 <i>Tap water {BR} - market for tap water - Cut-off, S</i>
		Tilápia do Nilo despescada	1,05	1,1,1,1,1 <i>Tabela A1</i>
		Transporte rodoviário, caminhonete	2,00	2,1,1,1,1 <i>Transport, freight, light commercial vehicle {RoW} - market for transport, freight, light commercial vehicle - Cut-off, S</i>
		Gelo	1,05	2,1,1,1,1 <i>Tap water {BR} - market for tap water - Cut-off, S; Electricity, low voltage {BR} - market group for electricity, low voltage - Cut-off, S</i>
	Saída	Água residual, tratamento	1,05	2,1,1,1,1 <i>Wastewater, average {RoW} - treatment of, capacity 1E9l/year - Cut-off, S</i>
Distribuição	Entrada	Transporte rodoviário, caminhão refrigerado	2,00	2,1,1,1,1 <i>Transport, freight, lorry with refrigeration machine, freezing {GLO} - market for - Cut-off, S</i>
		Eletricidade	1,05	2,1,1,1,1 <i>Electricity, low voltage {BR} - market group for electricity, low voltage - Cut-off, S</i>
		Freezer	3,00	4,1,1,1,2 <i>Fish freezing plant {RoW} - fish freezing plant construction and maintenance - Cut-off, S</i>

Fonte: Elaboração da autora.

Tabela A6 - Caracterização da qualidade do inventário de primeiro plano e fonte do inventário de segundo plano da produção de farinha e óleo de peixe.

	Fluxos	Incerteza Básica	Pontuação Pedigree	Dados de segundo plano
Entrada	Infraestrutura	3,00	4,2,1,1,2	<i>Fishmeal plant {GLO} - market for fishmeal plant - Cut-off, S</i>
	Eletricidade	1,05	2,1,1,1,1	<i>Electricity, low voltage {BR} - market group for electricity, low voltage - Cut-off, S</i>
	Água	1,05	2,1,1,1,1	<i>Water, well, BR</i>
	Coprodutos de tilápia	1,05	2,1,1,1,1	<i>Tabela A2</i>
	Transporte	2,00	2,1,1,1,1	<i>Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} - market for transport, freight, lorry, unspecified - Cut-off, S</i>
	Antioxidante	1,05	2,1,1,1,1	<i>Chemical, organic {GLO} - market for - Cut-off, S</i>
	Calor	1,05	2,1,1,1,1	<i>Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW}- heat production, hardwood chips from forest, at furnace 1000kW - Cut-off, S</i>
Saída	Água evaporada	1,05	2,1,1,1,1	<i>Water/m³</i>
	Água residual, tratamento	1,05	2,1,1,1,1	<i>Wastewater, average {RoW} - treatment of, capacity 1E9l/year - Cut-off, S</i>

Fonte: Elaboração da autora.

